

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

**VLIV SKYMARATONU NA VARIABILITU SRDEČNÍ FREKVENCE V PRŮBĚHU
36 HODINOVÉHO ZOTAVENÍ**

Diplomová práce

(diplomová)

Autor: Michaela Mertová

Vedoucí: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Olomouc 2016

Jméno a příjmení autora: Michaela Mertová
Název diplomové práce: Vliv skymaratonu na variabilitu srdeční frekvence v průběhu 36 hodinového zotavení
Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii
Vedoucí: PhDr. Michal Botek, Ph.D.
Rok obhajoby diplomové práce: 2016

Abstrakt:

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit aktivitu autonomního nervového systému (ANS) v průběhu zotavení po dlouhodobé vytrvalostní zátěži. Reakci ANS jsme hodnotili u skupiny 13 vytrvalostních běžců, účastníků mistrovství ČR ve skymaratonu ($36,85 \pm 8,67$ let). Ve studii byly dále sledovány změny aktivity ANS vyvolané předstartovním psychickým stavem (předstartovní nervozitou) a jak vybrané somatické a fyziologické ukazatele ovlivnily dosažený čas v závodech. Aktivita ANS byla měřena v průběhu 14 dní před závodem, v délce 30 min. bezprostředně po dokončení závodu a v 10. a 36. hodině zotavení. Závod úspěšně dokončilo 11 běžců v průměrném čase $337,89 \pm 37,58$ minuty, s průměrnou srdeční frekvencí $156,64 \pm 6,7$ tepů min⁻¹, což se rovná $85,4 \pm 3,47\%$ jejich maximální srdeční frekvence.

Z naměřených hodnot vyplývá pokles aktivity ANS bezprostředně po závodech, byla prokázána inhibice vagové aktivity v důsledku poklesu ukazatelů LnHF a RMSSD a relativního nárůstu aktivity sympatiku definovaná poměrem LF/HF vyjadřujícím sympatovagovou rovnováhu. K návratu aktivity vagu na původní úroveň došlo v 36. hodině zotavení. Vzestup celkového spektrálního výkonu nad předzátěžovou úroveň je možné považovat za projev superkompenzace autonomní aktivity jako výsledek dokonalého zotavení organismu.

Klíčová slova:

autonomní nervový systém, parasympatikus, předzávodní nervozita, skyrunning, sympatikus, vytrvalost

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovnických služeb.

Author's first name and surname: Michaela Mertová
Title of the thesis: Skymarathon influence on the heart rate variability during 36 hours recovery period
Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology
Supervisor: PhDr. Michal Botek, Ph.D.
Year of presentation: 2016

Abstract:

The objective of the thesis was to assess the activity of the autonomous nervous system (ANS) during the period of recovery after a long-term endurance load. The ANS reaction was assessed in a group of 13 long-distance runners, participants of the Skymarathon Czech Republic Championship (aged 36.85 ± 8.67). In addition, the ANS activity changes caused by the pre-start psychic condition (pre-start anxiety) and the influence of selected somatic/physiologic indicators on the resulting race time were also monitored. The ANS activity was measured during the 14-days period before the race, during the 30-minutes period immediately after the finish and in the 10th/36th hour of recovery. The race was completed by 11 runners with average time 337.89 ± 37.58 minutes and average heart frequency 156.64 ± 6.7 min⁻¹, which equals to 85.4 ± 3.47 % of their maximum heart frequency.

The results indicate a decrease in the ANS activity immediately after the race; inhibition of the vagal activity due to a decrease in the LnHF and RMSSD indicators and a relative increase in the sympathetic activity, defined by the LF/HF ratio expressing the sympathovagal balance, was also shown. In the 10th hour of the recovery a slight ANS reactivation in all given indicators occurred. The vagus only returned to its original level in the 36th hour of the recovery. The increase of total spectral performance above the pre-load level may be considered an expression of autonomous activity supercompensation, resulting in absolute body recovery.

Keywords:

autonomic nervous system, endurance, parasympathetic, pre-race anxiety, skyrunning, sympathetic

I consent to this thesis paper being lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením vedoucího PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne

.....

Děkuji PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za jeho vedení a odborný dohled.

OBSAH

1 Úvod	8
2 SYNTÉZA POZNATKŮ	10
2.1 Determinanty sportovního výkonu ve skyrunningu	10
2.1.1 Sportovní výkon, sportovní výkonnost.....	10
2.1.2 Vytrvalost	10
2.1.3 Základní a speciální vytrvalost	11
2.1.4 Determinanty vytrvalosti	12
2.1.4.1 Maximální aerobní výkon	12
2.1.4.2 Aerobní kapacita	14
2.1.5 Specifika výkonu ve skyrunningu	15
2.1.5.1 Nadmořská výška	15
2.1.5.2 Profil trati	16
2.2 Trénink ve skyrunningu	17
2.2.1 Obecné principy	17
2.2.2 Periodizace tréninku	17
2.2.2.1 Přípravné období	18
2.2.2.2 Závodní období	20
2.3 Únava	20
2.3.1 Fyziologická únava	21
2.3.2 Patologická únava.....	21
2.4 Zotavení.....	23
2.5 Psychologické faktory	24
2.6 Adaptační změny	26
2.6.1 Adaptační změny na úrovni transportního systému	26
2.6.2 Adaptační změny na úrovni nervosvalového systému	27
2.6.3 Adaptační změny na úrovni neurohumorálního systému	28
2.7 Autonomní nervový systém	28
2.8 Srdeční činnost	29
2.9 Variabilita srdeční frekvence	31
2.9.1 Vnitřní faktory variability srdeční frekvence	32
2.9.2 Vnější faktory variability srdeční frekvence	32

2.9.3 Metody analýzy variability srdeční frekvence	33
2.10 Využití VSF ve sportu	35
2.11 Změny VSF v době zotavení	37
3 CÍLE PRÁCE	39
4 METODIKA PRÁCE	40
4.1 Charakteristika souboru.....	40
4.2 Metodologie sběru dat.....	40
4.2.1 Časové vymezení.....	40
4.2.2 Vstupní vyšetření.....	41
4.2.2.1 Analýza tělesného složení.....	41
4.2.2.2 Zátěžový test do vita maxima	41
4.2.3 Hodnocení aktivity ANS	42
4.2.4 Parametry závodu	42
4.2.5 Statistické zpracování	43
4.3 Postup měření	43
5 VÝSLEDKY	45
5.1 Výsledky dosažené v závodě	45
5.2 Hodnocení aktivity autonomního nervového systému	45
5.2.1 Variabilita srdeční frekvence v průběhu akutní fáze zotavení (do 30 min.).....	45
5.2.2 Variabilita srdeční frekvence v dlouhodobém zotavení (10 – 36 hod.).....	45
5.2.3 Vyjádření k hypotézám	47
5.3 Výsledky korelační analýzy dosaženého výkonu a vybraných somatických a fyziologických parametrů	48
5.4 Hodnocení předstartovního stavu	49
6 DISKUZE	50
6.1 Výsledky dosažené v závodě	50
6.2 Analýza aktivity autonomního nervového systému	50
6.3 Antropometrické a kondiční předpoklady dosaženého výsledku	53
6.4 Analýza předstartovního stavu	55
7 ZÁVĚRY.....	57
8 SHRUTÍ.....	58
8 SUMMARY	60
9 REFERENČNÍ SEZNAM.....	62
10 PŘÍLOHY.....	68

1 ÚVOD

Jedním ze sportů, u kterého můžeme v posledních letech sledovat zvýšenou popularitu, je bezesporu vytrvalostní běh. A to zejména v extrémních formách jako je maraton nebo ultramaraton. A přestože u nás nemáme vysoké hory, velkou popularitu u nás získávají horské běhy a různé terenní běhy a v posledních letech zejména tzv. skyrunning.

Skyrunning jako extrémní sport je poměrně nová běžecká disciplína. Vznikla v polovině 90. let minulého století. Podporu v České republice získala na jaře 2013 založením České asociace skyrunningu (CZSA). Skyrunning představuje horský běh, kde se překonává nadmořská výška minimálně 2 000 m, stoupání dosahuje alespoň 30 % a náročnost nepřesahuje II. stupeň horolezecké klasifikace obtížnosti. Délky jednotlivých závodů se liší, nejkratší se pohybují kolem 20 km, nejdelší přesahují stovky km (Roi et al., 2015). Jedná se tedy o extrémní vytrvalostní výkon.

“Polib nebo zabij. Polib slávu anebo zemři při snaze ji dosáhnout. Prohra je smrt, výhra znamená dýchat. Zápas je to, co dělá vítězství a vítěze. Kolikrát jsi plakal vztekem a bolestí? Kolikrát jsi ztratil paměť, svůj hlas a nemohl udělat správné rozhodnutí, protože jsi byl totálně unavený? A v téhle situaci, kolikrát jsi myslel na to: Zkus to znovu! Ještě několik hodin! Ještě jeden vrchol! Bolest neexistuje, je jenom ve tvé hlavě. Kontroluj ji, vymaž ji, znič ji a pokračuj! Nech trpět své odpůrce, zabij je. Jsem sobec, anebo ne? Sport je sobecký, protože sportovec musí být sobecký, aby byl schopen bojovat a trpět, milovat osamělost a peklo. Zastavit, kašlat, mrznout, necítit nohy, mít žaludek na vodě, zvracet, mít bolest hlavy, být v šoku, krev teče po tvém těle... Máš něco lepšího, co bys mi nabídl?” (Jornet, 2014, 9). Slova předního španělského běžce Killiana Jorneta vystihují tento současný trend v oblasti trávení volného času. Část populace hledá nové výzvy, příležitosti pro splnění svých snů. V posledních letech dochází k nárůstu zájmu o nevšední zážitky, často v podobě různých forem adrenalinových sportů. Skyrunning představuje pro organismus zátěž, reakce záleží na velkém množství faktorů. Nerespektování principů řízení sportovní výkonnosti, nerespektování stavu organismu případně špatný odhad schopností jednotlivce nebo podcenění vnějších podmínek může vést k různým zraněním a přetížení organismu.

Jedním z faktorů hodnocení stavu organismu a sportovní výkonnosti je úroveň autonomního nervového systému (ANS). Sportovci disponující vysokou aktivitou ANS lépe reagují na tréninkové zatížení, dochází u nich k rychlejší adaptaci organismu na zatížení (Le Meur et al., 2013). Dlouhodobý vytrvalostní trénink vede k adaptačním změnám na úrovni kardiovaskulárního systému v podobě poklesu srdeční frekvence (SF), dechové frekvence,

zvyšováním systolického objemu (Havlíčková et al., 1994). Tyto adaptační změny vedou k vyšší aktivitě parasympatiku na ANS (Kouidi et al., 2002). Zatížení, zejména vyšší intensity přesahující 60% maxima, nebo déletrvajícím zatížením, vede k poklesu celkové aktivity ANS a přetrvává i určitou dobu po skončení zátěže. Vliv dlouhodobé vytrvalostní zátěže na aktivitu ANS byl hodnocen např. v cyklistice (Steward et al., 2014), v silničním běhu (Botek et al., 2011) nebo v běhu na lyžích (Mourot et al., 2015).

Cílem práce je analyzovat odpověď organismu na výkon v podobě skymaratonu na základě hodnocení úrovně aktivity autonomního nervového systému několika českých vytrvalců, účastníků mistrovství České republiky ve skymaratonu.

2 SYNTÉZA POZNATKŮ

2.1 Determinanty sportovního výkonu ve skyrunningu

2.1.1 Sportovní výkon, sportovní výkonnost

Činnost v každém sportovním odvětví a tedy i v bězích je reprezentována aktuální možností sportovce, nazýváme ji sportovním výkonem. Výsledek činnosti je hodnocen podle různých kritérií a pravidel dané sportovní specializace. Snahou sportovců na každé výkonnostní úrovni je dosáhnout maximálně možného výkonu odpovídajícího jeho aktuální výkonnosti. Na jeho konečné podobě se podílejí různé faktory:

- somatické faktory (vrozené dispozice)
- kondiční faktory (pohybové schopnosti)
- technické faktory (pohybové dovednosti)
- taktické faktory
- psychické faktory

(Dovalil et. al., 2008).

Sportovní výkon je nutné chápat jako výsledek mnoholetého působení nejrůznějších vlivů. Optimální skladba jednotlivých složek (faktorů) je zásadní pro dosažení maximálního výkonu. Znalost struktury sportovního výkonu v různých sportech na různé úrovni je stěžejní a je základem sportovního tréninku. (Dovalil et. al., 2008).

2.1.2 Vytrvalost

Zejména vytrvalost, variabilita, přizpůsobivost terénu a taky mentální odolnost jsou podle Anny Strakové, přední české skyběžkyně, pro běžce, kteří se věnují běhání v horách, klíčové (Straková, 2013).

Vytrvalost je jednou z kondičních schopností a tvoří klíčovou úlohu ve všech sportovních odvětvích. Podmiňuje, společně se silou, zvládnutí specifických dovedností. Dnes existuje řada definic, například autoři Perič a Dovalil definují vytrvalost takto: „Za vytrvalost je všeobecně považována pohybová schopnost člověka k dlouhotrvající tělesné činnosti: soubor předpokladů provádět cvičení s určitou nižší než maximální intenzitou co nejdéle, nebo po stanovenou potřebnou dobu co největší možnou intenzitou“ (Perič & Dovalil, 2010, 29). Jiná definice říká, že „Vytrvalost jako kondiční pohybová schopnost je spojována s dlouhodobým prováděním pohybové činnosti odpovídající intenzity a se schopností odolávat únavě.“ (Lehnert et al.,

2014). Vytrvalost je tedy možné obecně chápat jako schopnost dlouhodobě odolávat únavě. Její úroveň je ovlivňována velkou řadou faktorů jako např.:

- Genetické a somatické předpoklady.
- Poměr pomalých a rychlých svalových vláken.
- Výkonnost a účinnost systémů zabezpečujících transport a výměnu O₂ a CO₂.
- Schopnost regulace a přizpůsobení metabolismu.
- Efektivní souhra agonistů a antagonistů.
- Ekonomika techniky prováděné pohybové činnosti.
- Volní vlastnosti a schopnost překonávat vznikající únavu.

(Lehnert et al., 2014; Perič & Dovalil, 2010; Noaks, 2001).

Vytrvalost či vytrvalostní schopnost se podle určitých kritérií dělí do několika podskupin.

2.1.3 Základní a speciální vytrvalost

Základní (obecná) vytrvalost je schopnost provádět dlouhotrvající pohybovou činnost v aerobním režimu. Je relativně nespecifická, není zaměřená na zvyšování výkonnosti v konkrétní disciplíně, vytváří rozhodující základ pro speciální vytrvalost, vyrovnávání se s vysokým tréninkovým i soutěžním zatížením u všech sportovních disciplín a rychlé zotavování. Speciální vytrvalost je schopnost odolávat specifickému zatížení určenému požadavky dané specializace. Speciální vytrvalost je podmíněna především úrovní celkové (globální) vytrvalosti, aerobní kapacity organismu, úrovní dalších pohybových schopností a kvalitou specifické nervosvalové koordinace (Lehnert et al., 2014). Pro potřeby výkonu ve skyrunningu jsou velmi důležité obě zmíněné formy vytrvalosti.

Podle způsobu uvolňování energie můžeme dělit vytrvalost na aerobní a anaerobní. Pokud je vytrvalost spojena s jinou pohybovou schopností můžeme hovořit např. o silové vytrvalosti, rychlostní vytrvalosti a pod. (Perič & Dovalil, 2010). Výzkumy z poslední doby dokazují, že při pohybové činnosti nedochází k výhradnímu zapojení jednotlivých energetických systémů, ale vždy k jejich kombinaci. K dělení tak dochází podle převažujícího zapojení (Noaks, 2001; Lehnert et al., 2014). V dalším textu se budu věnovat, vzhledem k zaměření práce, na dlouhodobou vytrvalost s převažujícím aerobním uvolňováním energie.

2.1.4 Determinanty vytrvalosti

Úroveň vytrvalostních schopností je determinována celou řadou faktorů a jejich znalost je klíčová pro stanovení správného tréninku. Mezi hlavní faktory patří (Lehnert et al., 2014; Noakes, 2001):

- Genetické a somatické předpoklady – genetické faktory se významnou měrou podílí na naší výkonnosti a ochotě k větší fyzické aktivitě. Jejich vliv je podle nejnovějších studií daleko vyšší, než se původně předpokládalo, ostatní faktory se tak stávají druhořadými (Vančura & Radvanský, 2007).
- Poměr pomalých a rychlých svalových vláken – typ svalových vláken je určen geneticky. Vytrvalostní znaky na rozdíl od rychlostních a silových lze do značné míry ovlivnit správným tréninkem (Pastucha et al., 2014). U elitních vytrvalců se uvádí zastoupení pomalých oxidativních vláken až na úrovni 80 % (Lehnert et. al, 2014).
- Výkonnost a účinnost systémů zabezpečujících transport a výměnu O₂ a CO₂ – nejsledovanějším parametrem výkonnosti transportních systémů vyjadřujícím kromě vytrvalostní zdatnosti i obecnou zdatnost jsou podle Pastuchy et al. (2014) aerobní kapacita a maximální aerobní výkon (VO₂max).
- Zásoby energetických zdrojů, schopnost zdroje a regulační plasticita metabolických dějů - úroveň aerobního a anaerobního prahu.
- Ekonomika pohybu – spojena s úrovní spotřeby energie při dané rychlosti pohybu.

Kromě těchto faktorů jsou důležité i další, jako jsou např. volní vlastnosti, schopnost překonávat vznikající únavu a schopnost pohybové činnosti v diskonfortu, automatizace pohybových dovedností apod.

Cílem rozvoje vytrvalosti je podle Lehnert et al. (2010, 2014) dosažení fyziologických adaptačních změn umožňující další zatěžování organismu, tedy o zvyšování tzv. aerobního výkonu, výkonu probíhajícímu v podmínkách za přístupu kyslíku. Čím větší množství kyslíku má sportovec k dispozici pro získání energie, tím déle může podávat kvalitní výkon a odolávat únavě. Rozvoj vytrvalosti je tedy zaměřen na dosažení vysoké výkonnosti aerobního systému hodnocený ukazateli VO₂max a aerobní kapacita, v případě běhu můžeme hovořit dále o dalším ukazateli tzv. „*running economy*“ (Noaks, 2001).

2.1.4.1 Maximální aerobní výkon

Maximální aerobní výkon definuje Lehnert et al. (2014) takto: „Maximální aerobní výkon (VO₂max) představuje nejvyšší možnou individuální spotřebu kyslíku při práci velkých

svalových skupin ve stanoveném časovém intervalu“ a zároveň uvádí, že na úrovni této kapacity lze pracovat pouze omezenou dobu (u elitních vytrvalců můžeme hovořit o jednotkách minut, cca 10 – 15 min.). Intenzita zatížení, kterou uvádíme v procentech maximálního aerobního výkonu, negativně koreluje s délkou trvání pohybové aktivity.

Maximální aerobní výkon se udává se v mililitrech spotřebovaného kyslíku za 1 minutu na kilogram tělesné hmotnosti ($\text{ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$). Jde podle Lehnerta et al. (2010) o jeden z důležitých ukazatelů vytrvalostní výkonnosti, ale jedná se spíše o ukazatel maximálního potenciálu aerobní produkce energie a regeneračních schopností sportovce. Průměrná hodnota VO_2max se udává kolem $45 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$, resp. $35 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ u žen. Podle Neumanna et al. (2005) předpokládají špičkové světové výkony hodnotu přes $78 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ u mužů resp. přes $68 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ u žen.

Absolutní hodnota VO_2max se v čase mění a je podle Noakes (2010) závislá na:

- Věku - od 25. roku dochází ke snížení přibližně o 9 % u netrénovaných osob, resp. 5 % u trénovaných osob za 10 let. Pokles hodnoty VO_2max reflektuje morfologické funkční změny, ke kterým dochází díky věku, jako je nižší kontraktibilita, flexibilita a výkonnost srdce a kosterního svalstva. S přibývajícím věkem dochází rovněž k poklesu svalové hmoty a častou příčinou jsou i onemocnění koronárních cév (Fleg & Lakatha, 1988; Rosen et al., 1998).
- Pohlaví - ženy mají obecně nižší hodnoty VO_2max . Jsou obvykle menší a mají menší celkový objem krve (Havlíčková et al., 1994).
- Trénovanosti - pravidelným tréninkem může dojít ke zlepšení hodnoty VO_2max o 5 – 15 %, podle Noakese (2001) je hodnota VO_2max určena spíše genetickými vlastnostmi než tréninkem. Jedinci, kteří mají menší genetické dispozice tak mohou vykazovat téměř nulovou schopnost zvýšení VO_2max dosažených prostřednictvím tréninku. Maximální výše VO_2max je často považována spíše za předpoklad schopnosti dosáhnout špičkové vytrvalecké úrovně (Rivera et al., 1997).
- Nadmořské výšce - díky nadmořské výšce dochází vzhledem k nižšímu parciálnímu tlaku kyslíku k poklesu VO_2max o přibližně 10 % s každými 1 000 m, a to už od nadmořské výšky 1 200 m.n.m. (Fleg & Lakatha, 1988; Rosen et al., 1998).
- Typu zátěže – Kouidi et al. (2002) uvádí, že hodnota VO_2max je závislá na typu zátěže. Vytrvalostní sportovci vykazují významně vyšší hodnoty VO_2max oproti rychlostně či silově trénujícím sportovcům. Tuto skutečnost dokládá podle Havlíčkové et al. (1994) tzv. Fickova rovnice, závislost hodnoty VO_2max na SF, tepovém objemu a rozdílu v saturaci kyslíkem v tepelné a žilní krvi. Na celkovém

výsledku se podílí z 20 % arterio-venózní difference kyslíku a ze zbývajících 80 % je ovlivněn minutovým srdečním výdejem (součin SF a tepového objemu). Dlouhodobý vytrvalostní trénink vede podle Bensona a Connollyho (2012) ke snížení maximální a klidové SF, hypertrofii srdečního svalu, tím je srdce schopno vypuzovat do krevního oběhu větší množství krve, a dále roste množství kapilár, což napomáhá transportu krve a plynů (O_2 , CO_2). Tím dochází v konečném důsledku k růstu VO_{2max} .

Dosažená hodnota VO_{2max} pouze predikuje výslednou schopnost s ohledem na vytrvalostní výkon. Podle Lehnerta et al. (2014) je pro reálnou vytrvalostní výkonnost důležitá rovněž ekonomika pohybu a úroveň anaerobního prahu (ANP). Další důležitou funkci ukazatele VO_{2max} potom můžeme podle Lehnert et al. (2014) nalézt v hodnocení zotavovacích procesů. Sportovec s vyšší hodnotou VO_{2max} může lépe odolávat nastupující únavě a dochází u něj k rychlejšímu zotavení než sportovec s nižším VO_{2max} .

2.1.4.2 Aerobní kapacita

„Aerobní kapacita je schopnost jedince vykonávat pohybovou činnost za dominantního zapojení oxidativního energetického metabolismu bez výraznějšího zapojení anaerobních (bez přístupu kyslíku) energetických procesů.“ (Lehnert et al., 2010, 72). Hodnotí se podle Lehnerta et al. (2010) spotřebou kyslíku na úrovni anaerobního prahu vztaženou na kilogram hmotnosti nebo % VO_{2max} . ANP je potom podle Lehnerta et al. (2010) definován jako okamžik, kdy výrazně stoupá podíl krytí energetických potřeb z anaerobních metabolických procesů a dochází k nerovnováze mezi produkcí a odbouráváním laktátu. Tělo se již s tímto vedlejším produktem metabolismu není schopné vyrovnávat a nastupuje zakyselení organismu a únava. Vedle anaerobního prahu se ještě udává hodnota aerobního prahu (AEP), kdy je podle Lehnert et al. (2010) potřebná energie doplňována prostřednictvím kombinace aerobního a anaerobního metabolismu a začíná se postupně zvyšovat hladina laktátu. Intenzita zatížení na úrovni ANP je podle Lehnert et al. (2010) charakterizována rovnováhou mezi tvorbou a štěpením laktátu, tzv. setrvalý stav. Hodnoty AEP, ANP a procento VO_{2max} jsou podle Lehnert et al. (2010) hlavním vodítkem pro stanovení velikosti zatížení a volby tréninkové metody.

Jak již bylo řečeno, rozhodujícím ukazatelem vysoké výkonnosti aerobního systému není maximální spotřeba kyslíku, ale anaerobní práh. VO_{2max} je však podmiňující faktor anaerobního prahu. Tato skutečnost je podle některých autorů např. Noakes (2001) označována jako tzv. efektivita běhu (*running economy*). Running economy je možné definovat energetickou náročností při dané submaximální rychlosti, vyjádřenou jako submaximální

spotřeba kyslíku (VO₂) při dané rychlosti běhu. Jedná se o souhrn všech fyziologických a biomechanických předpokladů působících ve vzájemné souhře (Barnes & Kilding, 2015).

Efektivita běhu vychází z mnoha faktorů. K nejdůležitějším patří:

- Styl běhu.
- Schopnost využívat odrazové síly a tím šetřit energii – pružnost šlach umožňuje zpětný ráz, čímž je tělo schopno ušetřit až 30 % energie (Bosco et al., 1986).
- Délka kroku a jeho frekvence.
- Technika a typ aktivity (běh do kopce, z kopce apod.).
- Únava, se zvyšující se únavou dochází k poklesu kontraktibilní kapacity svalu, které nejsou schopny kompenzovat postupné snižování výkonu zapojením dalších vláken (Komi & Nicol, 2000).

2.1.5.3 Specifika výkonu ve skyrunningu

Pro výkon ve skyrunningu jsou důležité i další faktory vyplývající z jeho specifikace. Skyrunning se, jak již bylo uvedeno, vyznačuje třemi základními znaky:

- Délka závodu minimálně přesahující 20 km, maximálně se délky mohou pohybovat ve stovkách kilometrů a časově přesahovat dny.
- Vysoká nadmořská výška, ve které se závody uskutečňují, resp. minimální hranice pro závody světové úrovně přesahuje 2 000 m.n.m. s velkým pozitivním a negativním převýšením.
- Terén se střídáním úseků běhaných do kopce a z kopce.

2.1.5.3.1 Nadmořská výška

Nadmořská výška má významný vliv na lidský organizmus a výkonnost sportovce. S vyšší nadmořskou výškou dochází k poklesu barometrického tlaku a parciálního tlaku kyslíku. Změny se začínají projevovat již od výšky 1 500 m.n.m. (Wilmore & Costill, 1994). V lidském organizmu dochází k poklesu parciálního tlaku kyslíku v plicních sklípcích a tím i v tepenné krvi. Nejvýznamnější je pokles množství kyslíku v periferním objemu, čímž je dána menší možnost sycení jednotlivých tkání kyslíkem. Vazba kyslíku na hemoglobin v krvi je ovlivňována parciálním tlakem kyslíku v alveolárním vzduchu, tj. při výměně plynů z krve do vzduchu a zpět. Na snížený parciální tlak kyslíku odpovídá organizmus zvýšením činnosti nervstva, což se projevuje vzájemným zvýšením činnosti dýchacího, krvetvorného a oběhového ústrojí, zejména vzestupem minutové plicní ventilace a zvýšením minutového objemu srdečního (Wilmore & Costill, 1994).

Uvedené změny jsou zásadní zejména pro vytrvalostní výkony. Dochází k poklesu $VO_2\max$. Z tohoto důvodu není pro výbornou výkonnost běžců, kteří se pohybují v nadmořských výškách, prediktibilním ukazatelem $VO_2\max$. Pro jejich výborný sportovní výkon bude spíše důležitá schopnost organismu transportovat kyslík napříč plicní membránou při běhu do kopce a zejména lepší práce s dechem v podobě schopnosti dýchat více do hloubky s vyšší frekvencí bez následné hyperventilace (Noaks, 2001).

Pro vytrvalostní výkon ve vysokých nadmořských výškách existují dvě základní doporučení. Závod absolvovat co nejdříve po příjezdu, uvádí se do 24 h. Vliv nadmořské výšky a nežádoucí příznaky se začínají projevovat přibližně po uplynutí 24 h. Druhé doporučení směřuje k aklimatizaci na nadmořskou výšku, které by nemělo být kratší než dva týdny, ale optimální doba je 4 – 6 týdnů (Wilmore & Costill, 1994).

S další velkou otázkou je spojen trénink ve vysoké nadmořské výšce a jeho efekt na vytrvalostní výkon. Pobyt ve výšce (2 000 – 3 000 m.n.m.) sebou přináší určité adaptační (resp. aklimatizační) projevy. Jedná se např. o zvýšení počtu červených krvinek, lepší prokrvenost tkání apod. Těchto efektů je možné využít po návratu do nadmořské výšky, kde atleti běžně trénují a závodí. Výsledný efekt na sportovní výkon je v posledních studiích realizovaných na toto téma velmi diskutován.

2.1.5.3.2 Profil trati

Další z pravidel skyrunningu se týká profilu trati. Závod musí obsahovat výběhy i seběhy kopců, často v náročném terénu, velmi technické. Různé terény vyžadují přizpůsobení běhu a kladou různé nároky na pohybový aparát i energetické zdroje. Při výběhu kopců můžeme hovořit o převažující koncentrické kontrakci svalů, zejména kvadricepsu a lýtkových svalů. Při seběžích je oproti tomu dominantní excentrická kontrakce (Chavanelle et al., 2014). Běh z kopce, excentrická kontrakce, klade nižší nároky na přísun kyslíku a spotřebu energetických zdrojů, adenosintrifosfátu (ATP) (Friden, 1984). Klade ale zvýšené nároky na pohybový aparát, na svaly a šlachy. Při běhu z kopce je síla, která působí na kvadriceps a lýtkový sval, rovna až trojnásobku váhy sportovce. U obou svalů dochází k výraznému zkrácení při každém došlapu. Nároky na rychlou kontrakci vedou k rychlejšímu vyčerpání kontraktibilních bílkovin a rychlejšímu nástupu únavy v pracujícím svalu. Je to jeden z důvodů bolestivosti svalů po závodě s velkým množstvím seběhů. Lidské svaly nejsou uzpůsobeny takto vysokému zatěžování a proto je riziko zranění velmi vysoké a to nejen v průběhu závodu, ale přetrvává i po jeho skončení (Friden, 1984). Zvýšená hladina kreatinkinázy byla v uvedených svalech

naměřena v intervalu 24 – 48 hodin po skončení zátěže a přetrvává po dobu 3 – 6 dní (Lieber & Fridén, 1999).

2.2 Trénink ve skyrunningu

2.2.1 Obecné principy

Při nastavování správného tréninkového zatížení tak, aby bylo dosaženo optimální sportovní formy, je třeba pracovat s měřitelnými veličinami při respektování základních principů sportovního tréninku. Měřitelné veličiny umožní stanovit velikost zatížení. Jsou to podle Lehnerta et al. (2010) intenzita (síla) zatěžovaného podnětu měřená fyziologickými parametry jako např. SF, koncentrace laktátu apod. Objem zatížení představující souhrnné množství zátěžových podnětů vyjádřené metrickými jednotkami (kilometry, hodiny). Frekvence zatížení v podobě časového intervalu mezi jednotlivými zátěžovými podněty nebo v podobě počtu tréninkových jednotek. Druh zátěže vyjadřuje podobnost s finální sportovní činností. Respektování principů umožní správný rozvoj a načasování sportovní formy. K základním principům patří podle Lehnerta et al. (2014) princip všestranné a specializované přípravy, princip kontinuity zatížení a zotavení, princip postupného zvyšování zatížení do maxima, princip vlnitého průběhu zatěžování, princip cykličnosti, princip variability. V novém pojetí potom hovoří o dalších jako o principu specifčnosti, principu individualizace a principu variability.

2.2.2 Periodizace ve skyrunningu

Ve skyrunningu jsou důležitými faktory pro dosažení dobrého výsledku výborná obecná vytrvalost (aerobní) a dále specifická vytrvalost. Běh v horách je specifický v mnoha směrech. Dlouhé výběhy, kde se uplatní silová vytrvalost, střídají seběhy, kde je třeba rychlostní vytrvalost. Pohyb v náročném terénu často vyžaduje výborné koordinační schopnosti a silný střed těla. Důležité je vše dobře naplánovat, periodizovat trénink, to znamená trénovat správně a ve správném čase.

Závodní sezóna ve skyrunningu začíná pro většinu elitních závodníků v březnu a obvykle končí v říjnu. Je tedy poměrně dlouhá a je důležité si správně nastavit cíle, které chce závodník primárně dosáhnout. Tradiční pojetí periodizace tréninku, které vychází obvykle z ročního cyklu (makrocyklu) a rozděluje trénink do tří bloků (mezocyklů) ve formě přípravného období, hlavního / závodního období a přechodného období zahrnujícího v sobě jednotlivé

mikrocykly (týdny) a tréninkové jednotky již neodráží současné potřeby, které se podle Issurina (2010) vyznačují následujícími trendy:

- Nárůstem celkového počtu soutěží vyžadujících vyšší nároky na dlouhodobou výkonnost.
- Sport se stává stále více obchodním artiklem, což s sebou přináší vyšší finanční motivaci jednotlivých sportovců.
- Užší spoluprací světových trenérů a sdílením informací směřujících k posílení vzdělávání a vyšší kvalitě a úrovni atletických výkonů.
- Vyšší komercializace sportovního prostředí s sebou přináší i zvýšenou snahu o nelegální podporu a zároveň na druhé straně vede k prevenci těchto škodlivých vlivů ve sportu.
- Rozvojem sportovní medicíny a využitím výsledků lékařských výzkumů a metod v přípravě sportovců jako např. monitorování SF, laktátu, využití analýzy variability srdeční frekvence apod.

Podle Issurina (2010) je typickým znakem současné přípravy špičkových sportovců snaha o účast na více vrcholných soutěžích a udržení vynikajících výsledků v celé sezóně, oproti dvěma maximálně třem soutěžím při tradičním pojetí. Všechny tyto trendy vedou k rozvoji nového pojetí tzv. blokové přípravy, které prochází celou řadou změn. Příprava sportovce je postavena z jednotlivých bloků směřujících k dosažení jednotlivých cílů, vrcholů tréninku. V souvislosti s blokovou přípravou se hovoří o dvou základních přínosech. V tradičním modelu dochází k nárůstu základních kondičních schopností v přípravném období a v průběhu soutěžního období často k jejich významnému poklesu. Princip blokové přípravy vede podle Issurina (2010) ke kumulativnímu tréninkovému efektu v podobě cíleného vytrvalostního tréninku zvyšujícího fyziologickou adaptaci organismu na zatížení a umožňující sportovci udržet si základní kondici s minimálními výkyvy v průběhu celé soutěže. Druhým efektem je tzv. zbytkový tréninkový efekt, postavený na teorii přetrvávající zvýšené úrovně nabytých schopností a dovedností i určitou dobu po skončení tréninku. Výsledkem je potom udržení vynikajících výsledků sportovce po delší časové období.

2.2.2.1 Přípravné období

Zimní období, přibližně od prosince do konce února, využívají skyběžci zejména k rozvoji obecné vytrvalosti a budování aerobního základu. K tomu jsou využívány hlavně souvislé kontinuální běhy v nízké intenzitě, v rozsahu 70 – 75 %, kdy je zajištěno stabilní uvolňování energie.

„Pro mě je vytrvalostní fáze dlouhá tak 3 měsíce, v této fázi běhám volně, relaxovaně, jak v kopcích tak na rovině. V průběhu běhu samozřejmě rychlost měním, ale hlavním záměrem je vybudování kvalitního běžeckého základu pro celou sezónu, a na to slouží dlouhé volné běhy. Chodím také do posilovny a věnuji se strečinku. Síla a flexibilita vás mohou posunout ještě o kousek dál.“, říká Jonatan Wyatt, přední světový skyběžec (Jonatan Wyatt, 2013). Kromě běhu se využívají další cyklické sporty, jako běh na lyžích, plavání. Poslední dobou se hodně běžců v zimním období zaměřuje na skialpinismus. Například jeden ze současně nejlepších světových běžců, vítěz několika posledních ročníků světového poháru ve skyrunningu, Kilian Jornet, uvádí na svých webových stránkách: „V zimních obdobích, od listopadu do května, jezdím jenom na skialpech v horách, 2 tréninkové jednotky za den, 30-35 hodin za týden v objemové přípravě, 20 hodin v běžném týdnu a 15 hodin v závodním období. Přibližně 500 hodin tréninku a 250 000 – 300 000 metrů pozitivního stoupání.“ V českých podmínkách je to s lyžováním a horskými terény pro skialpy trochu složitější. Je tedy nutné najít určité náhrady např. výběhy schodů, běžecký pás, kde si nastavíme sklon simulující prudké stoupání, dlouhé volné běhy v náročnějším terénu.

Po skončení přípravné fáze by měla následovat fáze budování specifické vytrvalosti. V této části se zařazují různé metody přerušovaného zatížení. Vyznačují se střídáním relativně krátkých fází zatížení a odpočinkových intervalů, které umožňují neúplné obnovení energetických rezerv (neúplného intervalu zotavení). Jsou především zaměřeny na rozvoj speciálních druhů vytrvalosti (rychlostní, krátkodobé a střednědobé, lokální, statické i dynamické), resp. vytrvalosti aerobní a anaerobní (Lehnert et al., 2014).

Intervalové běhy jsou praktikovány ve formě výběhu nebo naopak seběhů kopců nebo v těžkém terénu ve vysoké intenzitě zatížení cca 80 – 95 % SF max v době trvání 4 - 8 min, s intervaly odpočinku cca 2 - 3 min, resp. s poklesem SF na úroveň cca 65 % maximální SF. Nebo opakované metody s intervaly plného odpočinku. Hlavním cílem je zvýšit úroveň ANP a získat jistotu pohybu ve specifickém horském terénu.

Důležité je vybrat si jeden až dva klíčové závody a specifický trénink směřovat k nim, tedy trénovat na konkrétní závod. Pokud je to ultra, je dobré navýšit objem, pokud se závod poběží nahoru/dolů, je nutné naučit se běhat i seběhy, pokud kratší běh jenom do kopce, je vhodné zařadit více intenzivnějších kratších běhů intenzivněji do kopce apod. Anna Straková (2013) doporučuje pro dlouhý horský skyběh anebo ultra v horách například následující 3 těžké tréninkové jednotky, které je možné zařadit v jednom týdnu:

- Tempový běh vyšší intenzity v kopcovitém terénu nahoru/dolů 2 – 2,5 hodiny, anebo stupňovaný běh 2 – 2,5 hodiny, nebo fartlek 2 hodiny.

- Opakované výběhy kopce 5 – 20 minut ve vyšší intenzitě, anebo opakované výběhy i seběhy kopce 15 - 20 minut rychle.
- Dlouhý volný běh v těžkém terénu, kopcích 3 – 5 hodin, může být prokládán v těžkých pasážích i chůzí.

2.2.2.2 Závodní období

S blížícím se cílovým závodem nastává čas zaměřit se na něj a vyladit formu. Dochází ke snížení objemu, ale pokračuje se v rychlých intervalových trénincích ve vysoké intenzitě.

Po absolvování závodu by měla následovat regenerační fáze. Bohužel tato fáze je často podceňována, úplně vynechána nebo zkrácena na délku, která neumožní plnou obnovu sil a závodník se tak vystavuje nebezpečí zranění nebo chronické únavy a poklesu formy. Tato skutečnost vyplývá z tlaku, který je vyvíjen zejména na špičkové sportovce, kdy jsou z různých důvodů, finančních nebo důvodů vyplývajících ze sponzorských smluv, tlačeni k účasti na velkém množství závodů.

V závodní sezoně se již obvykle nazařazuje přípravná fáze, budování obecné vytrvalosti. Rozvíjející bloky jsou zaměřeny na rozvoj specifické vytrvalosti. Jejich zaměření opět odpovídá závodům, na který se běžec připravuje. Před samotným závodem je zařazen krátký vyladovací blok, po skončení regenerační. Cyklus se opakuje až do skončení sezony, kdy většina běžců zařadí různé dlouhé období odpočinku s úplným vyloučením sportovního zatížení nebo zařadí neběžecké činnosti v nízké intenzitě (plavání, cyklistika apod.).

2.3 Únava

Při déletrvajících zátěžích se začne projevovat únava, která je vnímána centrálním nervovým systémem (CNS). Jedná se o normální projev organismu, který se brání poškození v důsledku jeho zatížení. Rozumíme jí stav snížené výkonnosti na základě předchozí aktivity a jedná se o subjektivní pocit a neschopnost pokračovat v pohybové aktivitě. Míru únavy nelze objektivně zhodnotit. Projevuje se změnami ve vnitřním prostředí organismu, např. podle Periče & Dovalila (2010):

- Nerovnováhou v energetickém metabolismu, vyčerpáním zdrojů energie, hromaděním jejich metabolitů.
- Acidobazickou nerovnováhou, rozvojem metabolické acidózy.
- Nerovnováhou v hospodaření s ionty: přesuny K, Mg, Cl a dalších.
- Celkovou ztrátou vody, snížením objemu plazmy.
- Hromaděním tepla.

- Hromaděním a destrukčním účinkem kyslíkových volných radikálů.

Změny vnitřního prostředí vedou k subjektivnímu vnímání únavy a nakonec k ukončení fyzické aktivity i při obrovské motivaci k výkonu. Po ukončení fyzické zátěže dochází k postupné obnově všech funkcí a zotavení (Vančura & Radvanský, 2007; Pastucha et al., 2014).

Únavu lze podle Lehnerta et al. (2014) dělit z několika aspektů. Podle dynamiky je možné únavu dělit na fyziologickou a patologickou. S fyziologickou únavou se setkáme jako s průvodním jevem každé činnosti, je pro ni charakteristická určitá dynamika. Základním rysem je její nástup, kulminace a postupné vymizení v rámci zotavení. Je důležitá pro řízení sportovního tréninku. Naproti tomu s patologickou únavou se setkáme v důsledku opakovaného a dlouhodobého překračování adaptační schopnosti organismu, které má za následek trvalejší pokles výkonnosti a sportovní formy. Může mít podobu přepětí (krátkodobé) nebo přetížení, resp. stav přetrénování. Podle počtu zapojených svalových skupin můžeme únavu dělit na lokální a globální, u které je zapojeno více jak 2/3 svalových skupin, dále na periferní svalovou únavu a centrální únavu. Podle vnímání na subjektivní a objektivní. Subjektivní předchází objektivní. Míra vnímání únavy a její snesitelnosti se u každého jedince liší.

2.3.1 Fyziologická únava

Fyziologická únava je podle Máčka, Mackové a Radvanského (2003) žádoucí, je bezprostřední reakcí organismu na tréninkový podnět. Odezní v řádu několika hodin, maximálně dní, a vede k následné adaptaci. Velký stupeň únavy hodnotíme jako vyčerpání. Jde o stav, který může nastat po zátěži trvající déle, než je organismus schopen zvládnout. Déle trvající zátěží dochází k vyčerpání energetických substrátů a kumulaci katabolitů ve svalové buňce. Další přístup ATP je postupně zajišťován anaerobní cestou, dochází k poklesu enzymické činnosti a nárůstu laktátu, což má za následek porušení acidobazické a iontové rovnováhy (Radvanský & Vančura, 2007).

2.3.2 Patologická únava

Patologická únava je oproti tomu nežádoucí. Vzniká podle Máčka a Vávry (1980) při opakované pohybové činnosti, kdy přestávky nejsou dostatečné k tomu, aby nastalo plné zotavení. Rozeznáváme dvě formy patologické únavy, akutní a chronickou. Lehčí stupeň akutní únavy označujeme jako přepětí (*overreaching*). Může vzniknout při přecenění sil, když se sportovec snaží podat výkon, na který není připraven, je oslaben nemocí nebo psychickým stavem, jako např. strachem, případně dopingem. Mezi subjektivní příznaky přepětí patří např.

pocit velké slabosti, závratě, pocit na zvracení, výpadky zorného pole, bolesti hlavy, poruchy pohybu. K objektivním příznakům řadíme bledost obličeje, promodrávání rtů, zapadlé oční bulvy, pocení, zvracení, dušnost, vzestup SF. Dehydratace, ke které často dochází při extrémních závodech, tento stav může zhoršit (Pilný, 2007).

Těžší stupeň je označován jako schvácení, kdy se sportovec dostává do ohrožení života. Kromě příznaků, které jsou uvedeny výše, zde dochází k poškození mozkové kůry, vyčerpání nadledvinek, což ovlivňuje krevní tlak a hospodaření s minerály, a organismus se dostává do šoku (Pilný, 2007).

Chronická forma je označována podle Máčka et al. (2003) jako přetrénování (syndrom přetrénování). Představuje velmi obávanou komplikaci, která může zničit dlouholeté úsilí sportovce o vrcholový výkon. Je důsledkem opakujícího se nevhodného dávkování zátěže a vznikem nerovnováhy mezi tréninkem, závody a regenerací.

Se syndromem přetrénování je spojována řada příznaků a projevů. Podle Máčka et al. (2003) jich v současné době bylo popsáno přibližně devadesát. Tím je samozřejmě ztížena diagnóza a je většinou nutné postupovat vylučovacím způsobem. Mezi nejčastější se uvádí:

- Pokles výkonnosti a ztráta sportovní formy.
- Nechuť k trénování, jídlu, pokles libida.
- Změny v chování sportovce projevující se střídáním nálad, apatií, agresivitou apod.
- Zvýšená náchylnost k onemocnění, přetrvávající zvýšená tělesná teplota.
- Zvýšení ranní SF.
- Pocit únavy.
- Snížení tělesné hmotnosti.

Podle některých autorů je tento pohled poněkud zkreslený. Např. Foster (1998) uvádí nutnost součinnosti více faktorů, které jsou zodpovědné za vznik syndromu přetrénování jako např. stres z cestování, rodinných vztahů, zaměstnání, nedostatek spánku apod.

Při syndromu přetrénování dochází také podle Neumanna et al. (2005) k narušení rovnováhy autonomního nervového systému (ANS), nerovnováze mezi parasympatickou a sympatickou větví ANS. Rozlišují tzv. sympatikotonní (stimulující) a parasympatikotonní (tlumivé) přetrénování. Sympatikotonní je méně časté. Podle Neumann et al. (2005) se projevuje zvýšenou aktivitou, ale se stagnací výkonnostního rozvoje. Vyrůstá SF a hodnota laktátu nad očekávanou úroveň. Tuto formu je možné podle Neumanna et al. (2005) překonat vyváženým aerobním tréninkem. Parasympatikotonní přetrénování je častější, rozvíjí se postupně a je těžké jej rozeznat. Vzniká podle Máčka et al. (2003) zejména v důsledku aerobního zatížení. Provází jej zvýšená únava, apatie a snížení SF. Dochází k hormonálním

poruchám především na úrovni hypotalamus – hypofýza – kůra nadledvin. Sportovci postižení syndromem přetrénování vykazují podle Máčka et al. (2003) většinou nižší koncentraci adrenalinu a noradrenalinu po vyčerpávající zátěži. Dále klesá hodnota adrenokortikotropního hormonu (ACTH), růstového hormonu (HGH) a kortizolu zejména po intenzivním sportovním výkonu.

Nejúčinnější prevencí přetrénování je respektování potřeby zotavení organismu po zatížení a včasné podchycení vznikajících příznaků.

2.4 Zotavení

Zotavení je možné definovat jako “přirozený biologicko-anabolický proces, při kterém dochází k postupnému návratu klidových funkcí organismu, obnově energetických substrátů, které byly v průběhu zatížení redukovány, a proteosyntéze.” (Lehnert et al. 2014, 5/4). Cílem zotavení je odstranění únavy. Ale nejedná se pouze o samotné uklidnění a návrat k původnímu stavu. Podstatou sportovního tréninku je zvýšení výkonnosti. Zatěžování a následné zotavení by tak mělo podle Dovalil et al. (2008) přispět k novému stavu, který se od liší od výchozího (proces superkompenzace).

Na průběhu a rychlosti zotavení se podílí řada faktorů. Je sem možné zařadit podle Lehnerta et al. (2014) např. pohlaví, věk, genetické predispozice, trénovanost, psychologické faktory, schopnost odstraňování katabolitů a vnější reprezentované typem pohybové aktivity, dostupností suplementů apod. Průběh zotavení není podle Lehnerta et al. (2014) lineární. Zotavení probíhá v několika fázích. Jako základní je možné rozlišovat fázi rychlou a pomalou.

Během rychlé (první) fáze se obnovují zásoby kyslíku v krvi a svalovém myoglobinu prostřednictvím začátku splácení kyslíkového dluhu, obnově ATP a kreatinfosfátu (CP). Dochází k významnému snižování SF související s rychlostí pozátěžové reaktivity aktivity parasymptiku (Lehnert et al., 2014). V pomalé fázi dochází k metabolizaci laktátu na glykogen, vyrovnání kyslíkového dluhu, ke změnám variability srdeční frekvence. Obnova jednotlivých fyziologických funkcí je závislá na typu a době zátěže.

Tabulka 1. Časový průběh regenerace po sportovním zatížení (podle Neumann et al., 2005).

Proces zotavení	Doba potřebná k zotavení
Úplné doplnění CP ve svalech	4 – 6 min.
Návrat SF a krevního tlaku k výchozím hodnotám	20 min.
Normalizace hypoglykémie	20 – 30 min.
Normalizace kyselosti vnitřního prostředí	30 min.

Znovuobnova syntézy aminokyselin v zatěžovaných svaích	60 min.
Změna katabolického na anabolický metabolismus	90 min.
První fáze regenerace unavených svalů	2 hod.
Vyrovnnání tekutin v organizmu, normalizace hematokritu	6 – 24 hod.
Znovuobnovení jaterního glykogenu	24 hod.
Doplnění svalového glykogenu v intenzivně zatěžovaných svaích	2 – 7 dní
Znovuobnovení snížené imunity organizmu	3 – 4 dní
Doplnění tukových zásobníků ve svaích	3 – 5 dní
Regenerace funkčně porušených kontraktibilních bílkovin a podpěrných struktur v zatěžovaných svalových vláknech	3 – 10 dní
Výstavba struktury narušených mitochondrií	7 – 14 dní
Psychický odpočinek, znovuobnovení závodní výkonnosti ve vytrvalostních sportech	1 – 3 týdny
Plná regenerace po extrémně vytrvalostních výkonech (maraton, ultramaraton, dlouhý triatlon apod.)	4 – 6 týdnů

Někteří autoři uvádějí časy plné regenerace po vytrvalostních výkonech podstatně delší. Např. podle Noakse (2001) by měli vytrvalostní běžci absolvovat vytrvalostní závody podle jednotlivých vzdáleností s periodicitou:

- Závody do 8 km – 1x týdně.
- Závody od 8 do 16 km – 1x za dva týdny.
- Půlmaraton – měsíčně, max. 5 závodů za rok

U ultramaratonu (tratě s délkou přes 42 km) je velmi striktní a uvádí roční přestávku, s tím, že např. pokud chce ultramaratonec běžet trať dlouhou více jak 80 km na maximum své výkonnosti, měla by být přestávka mezi jednotlivými závody až dva roky. Praxe většiny elitních běžců je ale z různých důvodů rozdílná. Často se setkáváme i s několika odběhlými ultramaratony v průběhu jednoho nebo dvou měsíců. Např. jeden z předních světových skyrunningových běžců, Killian Jornet, vítěz World Skyrunning Series 2014 a vítěz World Skyrunning Championship 2014, absolvoval v průběhu období květen – říjen 2014 14 závodů v rozpětí od 22 do 160 km, kde 6 závodů přesahovalo maratonskou vzdálenost, 42,2 km (blog Killian Jornet).

2.5 Psychologické faktory

Významnou složkou sportovního výkonu jsou rovněž psychologické faktory. Jejich vliv je zkoumán zejména v poslední době, kdy jsou výkony světové špičky ve většině sportovních odvětví velmi vyrovnané a závod tak často rozhoduje právě skutečnost, jak sportovec zvládne soutěž po psychické stránce. Daniel Orálek, přední český ultramaratonec,

uvádí ve své knize, že více jak padesát procent úspěchu v ultramaratonu je právě v hlavě. Sportovec si musí srovnat, proč daný sport dělá, jaká je jeho motivace (Brabec & Orálek, 2014).

Aktuální psychické stavy, které můžeme najít ve sportu, jsou (Hátlová et al., 2009):

- Předstartovní stavy se dostávají, když si sportovec uvědomí svou účast ve významné soutěži.
- Soutěžní stavy se objevují v době bezprostředního odjezdu na sportoviště. Trvají do zahájení soutěže, ale též mohou přetrvávat v celém průběhu soutěžení. Výraznější jsou u nováčků a labilních sportovců.
- Posoutěžní stavy jsou vyvolány subjektivním hodnocením průběhu a výsledku soutěže a trvají několik hodin. Postupně odeznívají a výjimečně přetrvávají do druhého dne.

Pro sportovní výkon je důležitý zejména předzávodní stav, psychické naladění na závod, soutěž. Vytrvalostní běžci se musí při závodě potýkat nejen se soupeři, ale i s trátí, počasím a dalšími neznámými. Je pro ně proto často typickým předstartovním stavem stav úzkosti, nejistoty (anxiety). Předzávodní stav nejistoty je možné definovat jako funkci zátěžového procesu. Vysoká úroveň úzkosti je spojena s vysokou úrovní fyziologického vzrušení (nadměrná aktivace, motivace). Pokud dojde k nerovnováze mezi potenciálně stresující situací a jejím individuálním vnímáním, výsledkem bude stresová reakce (Silva & Hardy, 1986).

Stav nervozity u maratonských běžců má významný vliv na jejich výkon, resp. výsledné umístění. Podle Silva & Hardy (1986) negativně koreluje s osobností sportovce. Podle studie realizované u maratonských běžců, účastníků olympijských her, mají běžci s nižší úrovní předstartovní nejistoty tendenci inklinovat k introvertnímu chování a lepší výkonnosti. Byl rovněž prokázán negativní vztah mezi předstartovní nejistotou a technickými dovednostmi a koordinací (D'Ascenzi et al., 2014).

Obecně lze vyslovit předpoklad, že se stoupající úzkostí roste celková aktivita sportovce, a to je z hlediska výkonnosti pozitivní jev. Přesáhne-li však vzestup úzkosti určitou individuální hranici, změní se stoupající aktivita v neurotickou reakci a to se odráží ve výkonnosti člověka negativně (Hátlová et al., 2009).

Je známo, že různými stresory je ovlivňována autonomní regulace, resp. ANS. Stresorem je rovněž předstartovní nervozita. Předstartovní nervozita a úzkost vede k inhibici vagové aktivity a posílení aktivity sympatiku, které ovlivňují srdeční činnost a dochází tak k růstu SF. Předstartovní nervozita hraje významný vliv zejména při anaerobních sportech oproti aerobním zaměřeným spíše na dlouhodobý výkon a je patrnější v individuálních sportech (Mateo et al., 2012; Ascenzi et al., 2014; Blásquez et al., 2009).

2.6 Adaptační změny

Znalost uvedených faktorů je nezbytná pro správné a adekvátní nastavení tréninku a zatěžování tak, aby docházelo ke zvýšení sportovní výkonnosti a schopnosti podávat dlouhodobě maximální sportovní výkon při nízkém riziku zranění nebo přetrénování. Ke stabilnímu rozvoji vytrvalosti dochází správným výběrem tréninkových prostředků a metod. Ty by měly zajistit rozvoj všech kondičních schopností, funkčních systémů a v neposlední řadě dbát na rozvoj správné techniky. Tréninkové zatížení představuje pro organismus vnější podnět, který vyvolává různé vnitřní zatížení jednotlivých tělesných orgánů. Je-li zatížení dostatečně veliké, dochází podle Neumann et al. (2005) k narušení vnitřní rovnováhy a organismus se unaví. Únava vede k vyčerpání zdrojů a mobilizaci výkonnostních rezerv, organismus se tak dostává do stresové situace a zvyšuje se jeho vnitřní výkon. Organismus se postupně přizpůsobuje zatížení. Zvyšování výkonnosti nelze ale chápat jako nekonečný proces. Existuje geneticky podmíněná hranice adaptace organismu na tréninkové zatěžování, tzv. adaptační strop. Pásmo mezi touto hranicí a základní tělesnou výkonností lze podle Lehnerta et al. (2010) označit jako adaptační rezervu. Pokud se tréninkové zatížení bude pohybovat v tomto pásmu při současném přihlédnutí k aktuálnímu stavu sportovce, projeví se zvolené zatěžování zvýšením sportovní výkonnosti a aktuální sportovní formou. Jednou ze základních otázek modelu superkompensace zůstává podle Lehnerta et al. (2014) určení přesného načasování zahájení nového zatížení, tak aby došlo k procesu adaptace (nikoliv maladaptace).

Adaptace organismu na tréninkové zatěžování probíhá postupně. Adaptace se projevuje podle Pastuchy et al. (2014) strukturálními, funkčními a metabolickými změnami. Můžeme je rozdělit do několika kategorií.

2.6.1 Adaptační změny na úrovni transportního systému

Vytrvalostní trénink vede k lepší ekonomice dechových funkcí charakterizované nižší frekvencí dýchání s vyšším dechovým objemem, nižší minutovou ventilací, lepší mechanikou dýchání s vyšší pohyblivostí bránice ke zlepšení plicní difúze díky většímu množství aktivních alveolů, snížením mrtvého prostoru a nižší dechové frekvenci, zvětšení vitální kapacity plic, zlepšení arteriovenózní diference a k rychlejšímu nástupu setrvalého stavu s minimálním nebo téměř nulovým projevem mrtvého bodu (Pastucha et al., 2014; Havlíčková et al., 1994). Znakem kardiovaskulární adaptace je hypertrofie srdečního svalu (levé komory), snížení klidové SF, růstu systolického objemu srdečního, dále roste množství kapilár, dochází ke zlepšení prokrvení svalové tkáně a lepší vaskularizaci. Podle Havlíčkové et al. (1994) se

vytrvalostním tréninkem dále zvyšuje objem krve (o 5 - 15 % oproti běžné populaci) a krevní plazmy. Oběhová adaptace projevující se úsporností (ekonomizací) je vyvolána přeladěním organismu na stranu vagu (Pastucha et al. 2014).

Tabulka 2. Srovnání některých dechových a oběhových ukazatelů u netrénovaných a trénovaných osob v klidu a při maximální zátěži (upraveno podle Pastucha et al., 2014).

Sledovaný ukazatel	Netrénovaný		Trénovaný	
	Klid	Max. zátěž	Klid	Max. zátěž
Dechový objem / V_T (ml)	500	2 700	800	4 000
Dechová frekvence / DF (min.^{-1})	14 – 16	50 – 70	10 – 12	40 – 70
Vitální kapacita / VC (l)	5		6 – 8	
Minutová ventilace / V_E (l.min^{-1})	7 – 10	100 – 120	7 – 10	150 – 220
Kyslíkový dluh (l)		5 – 7		15 – 17
VO_2 ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	3	40 – 45	3 – 4	60 – 90
Srdeční frekvence / SF (min^{-1})	70	cca 195	40 – 60	cca 195
Systolický tepový objem (ml)	60 – 80	100 – 120	80 – 120	130 – 200
Minutový výdej (l.min^{-1})	5	25	5	35 – 40

2.6.2 Adaptační změny na úrovni nervosvalového systému

K rychlejšímu projevu adaptace dochází u nervosvalového systému. Specifické zacílení tréninku se podle Lehnerta et al. (2014) v daleko širším měřítku projeví právě v adaptaci svalových vláken, než je tomu v případě jiných systémů. Funkční změny svalových vláken přispívají ke zlepšené ekonomice pohybu a pozitivně ovlivňují i hodnotu maximální spotřeby kyslíku. Vytrvalostním tréninkem jsou stresována především pomalá oxidativní vlákna. Ke specifickým projevům adaptace svalového vlákna na vytrvalostní typ zatížení se řadí:

- Zvýšená kapilarizace (zvýšení extrakce kyslíku).
- Zvýšení počtu a plochy mitochondrií.
- Zvýšení aktivity aerobních enzymů.

- Snížený průřez svalových vláken – relativní snížení kontaktní plochy mezi povrchem vlákna a kapilární sítí, která vede ke snížení difuzní vzdálenosti kyslíku mezi kapilárou a mitochondrií.
- Zvýšení koncentrace myoglobinu.
- Zvýšení zastoupení intramuskulárního tuku.

Kromě uvedených pozitivních změn se mohou ale podle Pastucha et al. (2014) objevit i negativa, zejména při neadekvátním navyšování zátěže a nerespektování tréninkových zásad. Negativa souvisí např. s

- Přetěžováním kloubů, svalových úponů a vazů s vývojem degenerativních změn.
- Změnou kostní struktury při nesymetrickém zatěžování.
- Hypermobilitou.
- Osteoporózou u žen (souvisí s ženskou sportovní triádou – nízké procento tuku, amenorea, osteoporóza).

2.6.3 Adaptační změny na úrovni neurohumorálního systému

Pohybová aktivita narušuje homeostázu. Adaptace na úrovni neurohumorální regulace směřuje k poklesu stresového působení zátěže (Máček & Radvanský, 2011). Klíčovou úlohu při regulaci vnitřního prostředí má ANS řízený vyššími oddíly CNS. Dlouhotrvající zátěž vede podle Havlíčkové et al. (1994) k posunu vegetativní rovnováhy na stranu parasymptiku „vagotonii“, poklesu koncentrace katecholaminů, které jsou zodpovědné za aktivaci sympatiku. Převaha parasymptiku má za následek rychlejší zotavení po tělesném zatížení a vyšší odolnost vůči stresu a únavě. Při mírné až střední zátěži se reakce organismu řídí změnami v tonu obou větví ANS (parasymptiku i sympatiku), při intenzivní zátěži potom zejména stoupající aktivitou sympatiku „poplachová reakce organismu“ realizovaná prostřednictvím produkci katecholaminů (Máček et al., 2011).

2.7 Autonomní nervový systém

ANS zodpovídá, jak již bylo uvedeno výše, za řízení vnitřního prostředí a zachování homeostázy. Jedná se o složitý systém, který koordinuje činnost orgánů, systémů a celého těla v zájmu zachování homeostázy organismu (Rokyta et al., 2000; Ernst, 2014). Řízení není zpravidla ovlivnitelné vůlí. Dělí se na část periferní a centrální. Autonomní nervová vlákna lze rozdělit podle Přidalové a Riegerové (2009) na sympatická a parasympatická. Dělení vychází z rozdílného mediátoru, kterými jsou ovlivňována. Hovoříme o adrenergní (mediátorem je

noradrenalin) a cholinergní (mediátorem je acetylcholin). Činnost sympatiku a parasympatiku je podle Rokyty et al. (2000) řízena z CNS páteřní míchou, mozkovým kmenem, kde je sympatikus a parasympatikus koordinován jádry retikulární formace prodloužené míchy, Varolova mostu a středního mozku, hypotalamem a mozkovou kůrou. Těla pregangliových neuronů sympatiku se nachází v postranních rozích šedé hmoty míšni v oblasti hrudních a bederních segmentů. Axony těchto neuronů opouští míchu v odpovídajících segmentech, proto je sympatikus označován jako systém torakolumbální. Pregangliová vlákna parasympatiku opouštějí CNS prostřednictvím některých hlavových nervů a předních rohů míšních v oblasti sakrálních segmentů. Parasympatikus je proto označován jako systém kraniosakrální.

Integrační funkci tvoří hypotalamus, který je zodpovědný za regulaci pěti základních fyziologických funkcí pro zajištění homeostázy v organismu (Ernst, 2014):

- Kontrola krevního tlaku prostřednictvím regulačních mechanismů (regulaci solí pomocí pitného režimu a chuti, udržování osmolality, vazokontrakce apod.).
- Regulace tělesné teploty.
- Kontrola metabolismu a řízení energetických zdrojů.
- Kontrola reprodukčních funkcí.
- Řízení stresových reakcí.

Sympatikus a parasympatikus působí obvykle protichůdně. Sympatikus má aktivující účinek, parasympatikus tlumící (Ernst, 2014). Např. sympatikus urychluje srdeční činnost, parasympatikus ji zpomaluje. Sympatikus ovlivňuje zúžení cév a urychluje průtok krve, parasympatikus jejich rozšíření. Protichůdné ovlivňování vnitřního prostředí prostřednictvím sympatiku a parasympatiku je podle Přidalové a Riegerové (2009) vyvažováno, aby výsledná činnost odpovídala potřebám organismu. Např. při zátěži převládá tonus sympatiku, v klidu vliv parasympatiku.

Nejnovější studie ukazují, že přestože oba systémy působí obvykle v protikladu, jejich účinky působí často ve shodě, aby byla dodržena vnitřní rovnováha organismu. Jedná se zejména o reakce na různé stresové zatížení jako např. „diving reflex“ při ponoření hlavy do ledové vody nebo stres způsobený pohybovou aktivitou (Ernst, 2014; Tulppo et al. 2005).

2.8 Srdeční činnost

Mezi hlavními determinantami vytrvalostního sportovního výkonu hraje primární roli aerobní výkon a aerobní kapacita. Její hodnota je závislá zejména na adaptaci kardiiovaskulárního systému na pravidelnou zátěž, systému, který je zodpovědný za dostatečné

zásobení všech tkání krví v daných fyziologických parametrech. Hnací jednotkou celého kardiovaskulárního systému je srdce.

Činnost srdce je výsledkem pravidelného střídání kontrakce srdečního svalu (systola) a následného ochabování (diastola). Pravidelné střídání systoly a diastoly je zajištěno prostřednictvím vzruchové aktivity, kterou si vytváří srdce samo v tzv. převodním systému srdečním (srdeční automacie). Jeho součástí je zejména sinoatriální uzel, kde dochází ke spontánní elektrické aktivitě, nejrychlejší depolarizaci a následnému šíření vzruchů. Sinoatriální uzel je považován za přirozeného udavatele rytmu řídicího frekvenci srdečních stahů (Mourek, 2005; Rokyta et al., 2000). Srdeční činnost je řízena prostřednictvím ANS a humorální regulací (Mourek, 2005). Z CNS přicházejí nervy sympatiku k srdci jako nn. cardiaci přes příslušná ganglia. Působí na zrychlení SF a sílu srdeční kontrakce a urychlují vedení vzruchů srdečním systémem převodním. Parasympatikus, jehož účinek je přesně opačný, zpomaluje SF, zeslabuje srdeční kontrakce a zpomaluje vedení vzruchů srdečním systémem převodním. Je představován rr. cardiaci nn. vaggi a má zachováno lokalizační schéma. Pravostranné větve inervují pravou předsíň a především sinoatriální uzel, levostranné větve atrioventrikulární uzlík. „Nervová regulace kardiovaskulárního systému se tedy zabezpečuje zejména souhrou sympatických a parasympatických vlivů, přičemž základním principem fungování tohoto systému je koncepce sympatiko – parasympatické rovnováhy.“ (Javorka et al., 2008, 19). Tato koncepce je podle Přidalové a Riegerové (2009) založena na vzájemném protichůdném vlivu obou systémů. Jejich neustálá interakce ve formě inhibičních nebo excitačních vlivů vede k rytmickému kolísání SF.

Jako nejdostupnější ukazatel zatížení srdečně oběhového systému můžeme považovat SF. Nejcitlivěji reaguje na zvýšení intenzity a zvýšení vnějšího odporu. SF představuje spolehlivou veličinu pro posuzování intenzity zatížení. Je poměrně snadno měřitelná prostřednictvím měřiců SF (sporttesterů), kterých je v současné době na trhu velká řada a v jejich nabídce dochází k rychlému vývoji. Javorka (2008) uvádí čtyři základní veličiny hodnocení srdeční činnosti

- Vnitřní srdeční frekvence.
- Průměrná srdeční frekvence.
- Okamžitá srdeční frekvence.
- Variabilita srdeční frekvence.

Mezi nejstarší a nejpoužívanější ukazatele patří průměrná SF. Poskytuje důležitou informaci o aktuálním fyziologickém resp. patofyziologickém stavu organismu. U dospělých jedinců se za běžnou hodnotu považuje interval mezi 60 – 90 tepy za minutu. Hodnoty pod

touto hranicí se označují jako bradykardie. Příčinou může být zvýšení aktivity parasymptiku, případně také snížení aktivity sympatiku. Často se vyskytuje u sportovců jako efekt adaptace organismu na opakovanou fyzickou zátěž. Může být ale také příznakem onemocnění. Hodnoty nad 90 tepů za minutu jsou označovány jako tachykardie. U zdravých jedinců se vyskytují při fyzické, duševní, případně emoční zátěži jako důsledek potřeby zvýšení minutového srdečního výdeje pro dostatečné zásobení orgánů krví. Tachykardie je rovněž častým příznakem onemocnění, zejména kardiovaskulárních, respiračních nebo endokrinních (Havlíčková et al. 1994).

V posledních letech se pro hodnocení stavu organismu a srdeční činnosti často využívá i tzv. variabilita srdeční frekvence (VSF). Vychází z poznatku, že srdeční rytmus není za fyziologických podmínek zcela pravidelný, je dán oscilací intervalů po sobě následujícími stahy, tedy variabilitou R-R intervalů. Srdeční rytmus se projevuje rytmickým kolísáním, které je výsledkem vzájemně provázaného působení sympatiku a parasymptiku na sinoatriální uzel. Ten je během každého srdečního cyklu formován centrálními a periferními oscilátory. VSF se mění v důsledku mnoha vlivů, existuje již v klidu např. vlivem dýchání (respirační sinusová arytmie, RSA) nebo při mentální, emoční či fyzické zátěži (Javorka et al., 2008).

2.9 Variabilita srdeční frekvence

VSF umožňuje poměrně rychle, jednoduše a neinvazivně analyzovat stav ANS (Javorka et al., 2008; Fráňa et al., 2015; Botek et al. 2011). Snížená variabilita je vnímána jako indikátor rizik spojených s rozvojem řady chorob, zejména esenciální arteriální hypertenze, diabetes mellitus, dyslipidemie a metabolického syndromu, ischemické choroby srdeční včetně stavů po infarktu myokardu, chronického srdečního selhání, synkopálních stavů, závažných poruch srdečního rytmu a syndromu spánkové apnoe (Fráňa et al., 2015). Ve sportu potom naopak zvýšená variabilita signalizuje stav dobré adaptability systémů a stav dobré trénovanosti (Ernst, 2014; Koudi et al., 2002).

Na VSF má vliv velká řada faktorů, které ovlivňují celý kardiovaskulární systém. Z vnitřních faktorů je to zejména věk, dýchání, pohlaví a celkový zdravotní stav. Mezi hlavní vnější faktory patří fyzické a psychické zatížení, léky apod.

2.9.1 Vnitřní faktory variability srdeční frekvence

Mezi hlavní vnitřní faktory, které ovlivňují VSF patří věk, dýchání, pohlaví a celkový zdravotní stav.

- Věk - patří k hlavním faktorům, které VSF ovlivňují. S přibývajícím věkem klesá hodnota SF a dochází rovněž k výrazným změnám ve VSF. Při provedených testech byla prokázána snížená reaktivita parasympatiku s dominantní reakcí sympatiku u starších osob. Kromě vyšší hodnoty systolického tlaku byla v této skupině diagnostikována vyšší cévní rezistence a zároveň nižší SF a nižší VSF zejména ve vysokofrekvenční složce (Acharya et al., 2006; Vlčková et al., 2010).
- Pohlaví - ženy vykazují vyšší SF a to zejména v reprodukčním věku (Acharya et al., 2006). Studie prokázaly podle Acharya et al. (2006) u žen v reprodukčním období sníženou aktivitu sympatiku při regulaci srdeční aktivity. Rozdíly mezi pohlavími se postupně redukuje po 50. roce věku. Podle některých studií byl rovněž prokázán vliv menstruačního cyklu, především prostřednictvím estrogenů.
- Stres – stres je často spojován s vyšší aktivitou sympatiku a poklesem vlivu parasympatiku. Některé studie toto tvrzení rozporují a poukazují na velké interindividuální rozdíly v reakci na stresové situace a vliv přikládají spíše na stranu parasympatiku (Ernst, 2014).
- Spánek – nedostatek spánku vede k poklesu aktivity ANS (Ernst, 2014).
- Dýchání – při hodnocení VSF se doporučuje eliminovat vlivy dýchání, dechová frekvence je významným determinátem VSF (Ernst, 2014).
- Psychické faktory, předstartovní stav (nervozita) – předstartovní nervozita, která se projevuje u většiny sportovců, zejména vrcholových, má za následek výraznou nestabilitu VSF, ovlivňuje zejména pokles vlivu parasympatiku (Mateo et al., 2012).

Podle Vlčkové et al. (2010) vykazuje VSF velkou interindividuální variabilitu, která velmi komplikuje nastavení normativních hodnot a interpretaci výsledků.

2.9.2 Vnější faktory variability srdeční frekvence

Mezi hlavní vnější faktory můžeme řadit fyzické zatížení, trénovanost, únavu, nadmořskou výšku, teplotu nebo dehydrataci.

- Tělesné zatížení a stav trénovanosti - VSF těsně souvisí se změnou maximální aerobní kapacity, která je po vytrvalostním tréninku signifikantně vyšší u osob s vyšší VSF. „Je známo, že intenzivně trénující sportovci, u kterých v důsledku tréninku dochází ke zvýšení $VO_2\max$, mají vyšší VSF než sportovci, u kterých

k pozitivní změně tohoto ukazatele vytrvalostní kapacity nedojde.“ (Stejskal in Javorka et al., 2008, 179). Kouidi et al. (2002) potvrdil existenci korelace mezi $VO_2\text{max}$ a VSF u vytrvalostních běžců. Jeho studie prokázala signifikantní korelaci celkového spektrálního výkonu a ukazatele $VO_2\text{max}$ u skupiny vytrvalostních atletů. Výsledky rozporují studie 145 amerických elitních atletů, kterou provedli Berkoff, Cairns, Sanchez a Moorman (2007), a studie provedená u 11 vytrvalostních běžců provedená autory Lee a Mendoza (2012). Studie nepotvrdily teorii o korelaci mezi úrovní maximálního aerobního výkonu a VSF, prokázaly ale závislost aerobní kapacity na zvýšení aktivity parasymptiku v době zotavení. Intenzivní trénink, převyšující intenzitu 60 % $VO_2\text{max}$ významně posouvá podle Stejskal in Javorka et al. (2008) autonomní rovnováhu směrem k sympatiku. Posun rovnováhy od parasymptiku k sympatiku hraje tedy významnou roli při zvyšování kardiovaskulární výkonnosti při vrcholovém sportovním výkonu.

- Nadmořská výška - díky nadmořské výšce dochází k hyperventilaci a rovněž odpovědi ANS. Hyperventilace má za následek podráždění receptorů zaznamenávajících rozpětí plicní tkáně, což vede k poklesu aktivace parasymptiku. Hypoxie způsobuje převahu sympatiku a celkový útlum VSF. I přes zvyšování dechového objemu se snižuje respirační komponenta VSF (Iwasaki et al., 2007; Bernardi et al., 2001).
- Další faktory, které mají významný vliv na úroveň VSF, resp. působí negativně jsou teplota, dehydratace, konzumace alkoholu, kouření (Ernst, 2014; Fráňa et al., 2015).

2.9.3 Metody analýzy variability srdeční frekvence

Měření a analýza VSF není tak jednoduché jako v případě průměrné SF a může se lišit, zda se posuzují krátkodobé nebo dlouhotrvající záznamy srdečních cyklů (Fráňa et al., 2015). VSF je možné analyzovat podle Berntson et al. (1997) různými matematickými metodami časových řad R-R intervalů, intervalů mezi jednotlivými srdečními stahy.

Jednodušší metodu měření VSF představuje časová analýza. Její podstatou je porovnání délky R-R intervalů, intervalů mezi jednotlivými srdečními stahy, v přesně vymezeném úseku EKG (Javorka et al., 2008; Ernst, 2014; Fráňa 2015). Metoda využívá dvě skupiny parametrů vznikajících na základě odlišného algoritmu zpracování R-R intervalu. K první skupině řadíme parametry, které vychází z porovnání délek mezi jednotlivými R-R intervaly celého měřeného úseku, např. průměrná SF měřeného úseku, směrodatná odchylka R-R interval (SDRR). Druhá skupina je založena na sledování rozdílu mezi sousedními intervaly a můžeme sem

zařadit např. parametr rMSSD (root mean square successive differences), vyjadřující průměr čtverců rozdílů sousedních R-R intervalů (Berntson et al., 1997; Ernst, 2014; Fráňa 2015).

Složitější metodikou založenou na principu sledování oscilací intervalů po sobě následujícími srdečními stahy (na EKG intervaly R-R) je spektrální analýza variability srdeční frekvence (SA VSF). Její podstatou je rozložení nepravidelného průběhu VSF na pravidelné cykly, které reprezentují procesy ovlivňující průběh SF. Nejčastěji se k tomu používá tzv. Fourierova transformace nebo autoregresivní model. Transformací těchto časových údajů do frekvenčních hodnot získáme výkonové spektrum v rozmezí 0,02 až 0,50 Hz. (Fráňa et al., 2015).

Výkonové spektrum srdeční činnosti lze při SA VSF do čtyřech frekvenčních pásem:

1. Vysokofrekvenční pásmo (high frequency band – HF) s frekvenčním rozsahem 0,15–0,4 Hz, 9-24 cyklů za minutu. Aktivita v tomto pásmu odráží vliv dýchání na činnost srdce (respirační sinusová arytmie, RSA) a považuje se za hlavní ukazatel vlivu parasympatiku na srdeční činnost. Složka HF se zvyšuje při činnostech spojených s aktivací vagu, např. chladová stimulace tváře (Javorka et al., 2008; Ernst, 2014; Fráňa 2015).
2. Nízkofrekvenční pásmo (low frequency band – LF) s frekvenčním rozsahem 0,04 – 0,15 Hz, 2,4 – 9 cyklů za minutu. Toto pásmo je ovlivňováno oběma složkami ANS, parasympatikem i sympatikem, a to pomocí baroreceptorů. Složka LF se zvýrazňuje vlivem podnětů, které aktivují sympatikus, a proto je často považována za ukazatel činnosti sympatiku, ale je pod vlivem obou systémů ANS, které pracují zrcadlově, pokles aktivity jedné větve ANS přichází současně se zvýšením aktivity druhé (Javorka et al., 2008; Ernst, 2014; Fráňa 2015).
3. Velmi nízkofrekvenční pásmo (very low frequency band – VLF) s frekvenčním rozsahem 0,0033 – 0,04 Hz, 0,2 – 2,4 cyklů za minutu je pod vlivem periferního vazomotorického tonu spojeného s termoregulací a hlavní aktivita je přiznávána vlivu sympatiku (Javorka et al., 2008; Ernst, 2014; Fráňa 2015).
4. Ultra nízkofrekvenční pásmo (ultra low frequency band – ULF) je považováno za pásmo ovlivňované fyzickou aktivitou, nejsou zatím popsány přesné mechanismy, ale soudí se, že je možné vliv připisovat termoregulaci případně hormonálním změnám (Javorka et al., 2008; Ernst, 2014; Fráňa 2015).

Tabulka 3. Klasifikace frekvenčních pásem VSF (upraveno podle Salinger in Javorka et al. 2008)

Název pásma	Frekvenční rozsah (Hz)	Počet cyklů za minutu	Původ
Vysokofrekvenční (HF)	0,15 – 0,4	9 – 24	Zejména přes parasympatikus (RSA)
Nízkofrekvenční (LF)	0,04 – 0,15	2,4 – 9	Přes sympatikus i parasympatikus (baroreceptory)
Velmi nízkofrekvenční (VLF)	0,04 – 0,0033	0,2 – 2,4	Primárně přes sympatikus (chemoreceptory, vazomotorické receptory)
Ultránízkofrekvenční (ULF)	$1,15 \times 10^5$ – 0,0033	1/24 – 0,2	Ultra, infra a cirkadianne rytmy

Spektrální analýzou jsou hodnoceny podle Berntson et al. (1997) a Salinger a Gwozdziwicz in Javorka et al. (2008) následující parametry:

- Celkový spektrální výkon / TP (ms^2).
- Spektrální výkon ve vysokofrekvenčním pásmu / HF (ms^2).
- Spektrální výkon v nízkofrekvenčním pásmu / LF (ms^2).
- Spektrální výkon ve velmi nízkém frekvenčním pásmu / VLF (ms^2).
- Poměr výkonu v nízkofrekvenčním pásmu ku výkonu ve vysokofrekvenčním pásmu, Index LF/HFs.
- Poměr výkonu ve velmi nízkofrekvenčním pásmu ku výkonu ve vysoko-frekvenčním pásmu, index VLF/HF.
- Poměr výkonu ve velmi nízkofrekvenčním pásmu ku výkonu v nízkofrekvenčním pásmu, index VLF/LF.
- Koeficienty variace v jednotlivých pásmech, CCV VLF, CCV LF, CCV HF.
- Relativní výkony v jednotlivých pásmech, rel VLF, rel LF, rel HF (%).

Složka HF odráží vliv parasympatiku, složka LF je výslednicí vlivu obou větví ANS, pomocí uvedených indexů je tak možné určit změny parasympatiko-sympatické rovnováhy.

2.10 Variabilita srdeční frekvence ve sportu

S rozvojem výpočetní techniky a techniky v oblasti sportovního vybavení se v posledních letech stále více prosazuje využití VSF v oblasti sportu. Analýza aktivity ANS může predikovat sportovní výkonnost, ale také poukazovat na aktuální stav, ve kterém se sportovec nachází. Na trhu jsou již sportestery, které využívají VSF a jsou schopny data vyhodnotit a poskytnout sportovcům rychlou a jasnou informaci.

Již bylo uvedeno, že ANS je důležitým faktorem sportovní výkonnosti. Sportovci disponující vysokou aktivitou ANS lépe reagují na tréninkové zatížení, dochází u nich k rychlejší adaptaci organismu na zatížení (Le Meur et al., 2013). Jak již bylo také uvedeno, dlouhodobý vytrvalostní trénink vede k adaptačním změnám na úrovni kardiovaskulárního systému v podobě poklesu SF, dechové frekvence, zvyšování systolického objemu (Havlíčková et al., 1994). Tyto adaptační změny vedou k vyšší aktivitě parasympatiku na ANS (Kouidi et al., 2002).

V průběhu tréninkového zatížení dochází k růstu SF, redukcii parasympatiku a posílení sympatiku. Dochází ke snížení spektrálního výkonu v pásmu vysoké frekvence (index PowerHF), rovněž v nízkofrekvenčním pásmu (PowerLF) a k růstu poměru LF/HF (Tulppo, 2011). Po skončení zátěže dochází u sportovců s vysokou aktivitou parasympatiku k poměrně rychlému poklesu SF, který je v první fázi přičítán právě parasympatickému ladění ANS. V další fázi je přičítán snížení vlivu sympatiku a vyrovnaní hormonální rovnováhy (Bosquet et al., 2007). Ladění ANS s převahou parasympatiku tak umožňuje sportovci rychlejší přechod od katabolických procesů na anabolické a rychlejší regeneraci (Tulppo, 2011). Intenzivní zatížení vyvolává snížení aktivity ANS a přesun ladění na stranu sympatiku, naopak regenerační trénink zlepšení parametrů a posun zpět k parasympatiku (Le Meur et al., 2013). Vysoká aktivita ANS a parasympatické ladění koresponduje dále podle některých autorů (Le Meur et al., 2013; Kouidi et al. 2002) s růstem aerobní kapacity v podobě VO_{2max} a růstem ANP.

Předpokladem výborné sportovní formy je nejen adekvátní trénink, ale i striktně dodržované intervaly odpočinku. Nerespektování rovnováhy mezi zatěžováním a odpočinkem může vést k nežádoucím důsledkům jako je chronická únava, přetrénování a ztráta sportovní formy (Buchheit et al., 2010). Správné dávkování zátěže a odpočinku je zásadní otázkou pro všechny trenéry. Kde je hranice mezi adekvátním tréninkem a rizikem přerušování činnosti z důvodu nemoci nebo zranění? Aktivita ANS a jeho ladění může indikovat zmiňovaná rizika. Jak již bylo uvedeno, fyzická aktivita potlačuje aktivitu parasympatiku a posouvá rovnováhu ANS směrem k sympatiku (Meeusen et al., 2012). Nárůst únavy a pokles aktuální sportovní formy je v průběhu tréninkového cyklu poměrně běžný, přetížení je často považováno za výsledek intenzivního tréninku velmi intenzivně trénujících sportovců (Kouidi et al., 2002; Lee & Mendoza, 2012). K úpravě dochází za poměrně krátkou dobu a lze využít jeho následného superkompenzačního účinku (Lee & Mendoza, 2012). Problémem je dlouhodobý pokles VSF a nerespektování tohoto stavu. Snížená VSF může riziko přetrénování předvídat.

2.11 Změny variability srdeční frekvence v době zotavení

Dynamika reaktivace ANS a jeho jednotlivých parametrů se může po absolvovaném zatížení pohybovat podle dostupných studií v rozmezích hodin až desítek hodin (Arai et al., 1989; Hautala et al., 2001; Danieli et al., 2014; Kaikkonen et al., 2011).

VSF vykazuje nižší hodnoty bezprostředně po zátěži a snížená hodnota oproti výchozí úrovni přetrvává delší dobu po zátěži v závislosti na dalších parametrech, mezi které řadíme např. intenzitu zatížení, výkonnost, věk apod. (Steward et al., 2014; Danieli et al., 2014; Kaikkonen et al., 2011).

V průběhu zatížení byl prokázán celkový pokles aktivity ANS, zejména ukazatelů LnHF a RMSSD a naopak růst vzájemného poměru LF/HF, což odráží pokles vlivu parasymptiku a zvýšení vlivu sympatiku na srdeční činnost (Steward et al., 2014). Nárůst SF je způsoben při nižší intenzitě zatížení především inhibicí vagové aktivity, při rostoucí intenzitě se projevuje i zvýšená aktivace sympatiku a produkce katecholaminů. Hranice aktivace sympatiku je individuální a v průměru se pohybuje přibližně mezi 50 – 60 % VO₂max. Od této intenzity také dochází k celkovému poklesu spektrálního výkonu VSF (Javorka et al., 2008).

V prvních 5 minutách po skončení zátěže dochází k prudkému poklesu SF, což je připisováno reaktivaci parasymptiku. VSF se na původní úroveň vrací výrazně pomaleji, což odráží přetrvávající vliv sympatiku. Zároveň dochází k rychlému poklesu katecholaminů (Javorka et al., 2008, Stewart et al., 2013).

Výsledky dostupných studií se shodují, že v době zotavení po cvičení nižší intenzity je dominantní vliv vagové aktivity (Steward et al., 2014; Danieli et al., 2014; Kaikkonen et al., 2011, Javorka et al., 2008). Oproti tomu po intenzivní zátěži, nebo při dlouhodobém zatížení, zůstávají hodnoty sníženy delší dobu v trvání několika hodin, což je připisováno zpoždění reaktivace parasymptiku a trvalá aktivita sympatiku po skončení zátěže (Stewart et al., 2013; Danieli et al., 2014; Kaikkonen et al., 2011). Podle Blásqueze (2009) je v prvních minutách po zátěži patrná výrazná redukce parametrů HF a RMSSD, jejich redukce pod výchozí úroveň přetrvává i následující den po zátěži. Podle této studie jsou změny VSF v průběhu intenzivní zátěže dány spíše celkovými změnami v autonomní modulaci, vliv obou větví ANS, než pouze změnami v modulaci vagové aktivity.

Výsledky získané v průběhu vytrvalostního lyžařského závodu na 75 km ukázaly výraznou redukci vagové aktivity reprezentované nižší hodnotou komponenty HF a vyšší hodnotou komponenty LF oproti výchozí úrovni po ukončení závodu. 24 hodin po závodě došlo k prudkému nárůstu komponenty HF, dokonce nad původní úroveň (Hautala et al. 2001). Vzestup celkového spektrálního výkonu nad předzátěžovou úroveň připomíná podle Jakubec

(2005) proces superkompenzace autonomní aktivity jako výsledek dokonalého zotavení organismu. Rychlost poklesu SF po zátěži je považována za ukazatel kardiovaskulární zdatnosti (Javorka et al., 2008).

Významný vliv na zotavení ANS po zatížení má úroveň trénovanosti. Předchozí studie (Kouidi et al., 2002; Hautala et al, 2001) ukazují, že vytrvalostní trénink vede u sportovců k převažující vagové modulaci srdce a poklesu jejich SF, zároveň zvyšuje spektrální výkon VSF. Trénovaní jedinci mají významně vyšší hodnotu parametru HF. Reaktivace VSF rovněž souvisí s vyšší VO₂max. Hautala et al. (2001) poukazují na skutečnost, že výše VO₂max souvisí s vagovou modulací. Podle jejich výzkumů reaktivace vagu koreluje negativně s hodnotou VO₂max. Bylo rovněž prokázáno, že u jedinců, kteří mají relativně vysokou vstupní úroveň vagové aktivity, ke zvýšení spektrálního výkonu VSF vlivem vytrvalostního tréninku podle zákona iničiálních hodnot nedochází (Kouidi et al., 2002; Hautala et al, 2001).

Dalším významným faktorem, který ovlivňuje úroveň zotavení ANS po zátěži je věk. Podle dostupných studií je u mladších osob patrnější větší vliv tréninku na ANS. Stárnutí omezuje autonomní modulaci a snižuje spektrální výkon VSF (Ernst, 2014; Šlechta et al., 2002; Tulppo et al., 1998).

3 CÍLE PRÁCE

Hodnocení aktivity autonomního nervového systému metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SA VSF) během 36 hodinového zotavení po skymaratonu společně s monitorováním vývoje subjektivních pocitů v rámci předstartovního období.

Dílčí cíle

1. Analýza výsledků variability srdeční frekvence během krátkodobého a dlouhodobého zotavení.
2. Analýza vnímání nervozity a jejího vlivu před závodem na parametry VSF.
3. Analýza vztahu mezi dosaženým časem v závodě a vybranými somatickými a fyziologickými ukazateli.

Hypotézy

H0₁: Do 30 min po ukončení zatížení se parametry reprezentující aktivitu vagu signifikantně neliší od výchozí úrovně.

H0₂: Do 30 min po ukončení zatížení se parametry reprezentující sympatovagovou bilanci signifikantně neliší od výchozí úrovně.

H0₃: Do 36 hodin po ukončení zatížení se parametry reprezentující aktivitu vagu signifikantně neliší od výchozí úrovně.

H0₄: Do 36 hodin po ukončení zatížení se parametry reprezentující sympatovagovou bilanci signifikantně neliší od výchozí úrovně.

Výzkumné otázky

VO1: K jakým změnám v subjektivním hodnocení nervozity bude docházet během předstartovního období.

VO2: Jak se projeví nervozita v období před závodem na parametrech VSF?

4 METODIKA PRÁCE

4.1 Charakteristika souboru

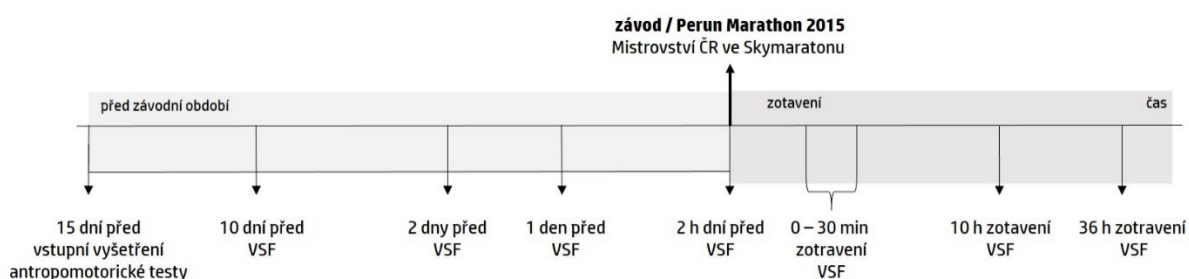
Na výzkumu se podílelo 13 vytrvalostních běžců, kteří se do akce dobrovolně přihlásili na základě výzvy. Výzva byla směřována na registrované účastníky závodu Hyundai Perun SkyMarathon – MČR prostřednictvím webových stránek a elektronickou komunikací na členy České Asociace Skyrunningu. Komunikační dopis je součástí přílohy této práce. Skupinu tvořili běžci z celé České republiky, muži, ve věku od 26 do 57 let. Všichni účastníci jsou pravidelnými běžci a se závody v horách měli předchozí zkušenosti. Hlavní sledovanou proměnnou byl u sledovaných běžců stav ANS. Mezi další sledované proměnné patřila subjektivně vnímaná nervozita před závodem, subjektivně vnímaný stav formy a úroveň únavy po závodě a zdravotní stav. Sledována nebyla mimotréninková činnost nepohybové povahy (např. pracovní zatížení). Všichni probandi byli instruováni před začátkem experimentu o jeho průběhu, o součinnosti, která se od nich očekává, a o cíli záměru. Všichni s účastí v experimentu souhlasili a svůj souhlas potvrdili podpisem.

4.2 Metodologie sběru dat

4.2.1 Časové vymezení

Oslovení potenciálních účastníků a výběr souboru proběhl v měsících únor a březen 2015. Samotné měření proběhlo v průběhu závodu Hyundai Perun SkyMarathon v Beskydech dne 2. května 2015. Závodu předcházelo vstupní vyšetření, kterého se zúčastnili všichni probandi v první polovině dubna 2015, a dále měření klidového stavu ANS dva týdny před závodem a následující dva dny po závodě, 10., 2. 1. den před závodem, v den závodu a v 10. a 36 hodině zotavení. Časová osa měření ANS a subjektivního vnímání předzávodní formy a nervozity je znázorněna na obrázku 2.

Obrázek 1. Časová osa měření ANS a subjektivního vnímání předzávodní formy a nervozity.



4.2.2 Vstupní vyšetření

Před zahájením měření absolvovali sportovci vstupní kontrolní vyšetření spočívající v analýze tělesného složení, spirometrii a v zátěžovém testu do vita maxima. Všechna vyšetření proběhla v laboratoři Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Data získaná při vstupních vyšetřeních ukazuje tabulka 4.

Tabulka 4. Charakteristika souboru na základě vstupního vyšetření (N = 11)

	Věk (rok)	Hmotnost (kg)	Výška (cm)	BMI (kg.m ⁻²)	Podíl tělesného tuku (%)	VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ min ⁻¹)	Max. SF (tepů / min.)	ANP (% VO ₂ max)
M	36,8	72,97	178,77	22,86	11,98	60,41	183,77	89,64
SD	8,67	7,85	3,52	1,84	4,06	5,68	10,66	39,11

Vysvětlivky: BMI – Body Mass Index, VO₂max – maximální spotřeba kyslíku, max. SF – maximální srdeční frekvence, ANP – anaerobní práh, M – průměr, SD – směrodatná odchylka

4.2.2.1 Analýza tělesného složení

Analýza tělesného složení proběhla prostřednictvím přístroje InBody 720. Probandi se postavili na přístroj a byli po dobu dvou minut vystaveni slabému pronikání elektrického proudu přes jejich tělo prostřednictvím elektrod pod ploškami nohou a dlaní.

4.2.2.2 Zátěžový test do vita maxima

Každý účastník podstoupil zátěžový test na běžeckém pásu (Lode Valiant, Groningen, Netherlands) s cílem získat hodnoty jejich maximální SF a VO₂max. Protokol zátěžového testu obsahoval zahřátí v délce 4 min (3 min při 8 km.h⁻¹, 0% sklonu a další 1 min při stejné rychlosti s 5% sklonem). Poté začal samotný test. Rychlost byla zvýšena na 10 km.h⁻¹ po dobu 1 minuty při sklonu 5%. Po každé další minutě následovalo zvýšení rychlosti o 1 km.h⁻¹ a sklon pásu byl udržován na 5% až do maximální rychlosti 16 km.h⁻¹. V této fázi se již zvyšoval pouze sklon o 2,5% každou další minutu až do vyčerpání. Během testu bylo u sportovců průběžně analyzováno dýchání a výměna plynů pomocí přístroje Geratherm německého výrobce nSpire Health, Oberthulba. Údaje byly zaznamenány každých 30 sec. a zprůměrovány. Před každým a po každém testu byly zkalibrovány analyzátory průtoku plynů pro známou koncentraci. V průběhu testu byla udržována okolní teplota pomocí klimatizačního systému na hodnotě 20 – 24°C s relativní vlhkostí 40 – 60 %.

Dosažení maximálních hodnot sledovaných parametrů bylo určeno na základě těchto kritérií:

- Stagnace nebo pokles hodnoty $VO_2\text{max}$ přes zvyšující se výkon.
- Dosažení poměru dýchacích plynů na úrovni vyšší než 1,10.

Za maximální hodnotu $VO_2\text{max}$ byla považována nejvyšší hodnota získaná v posledních 30 sec. testu. SF byla monitorována průběžně v průběhu celého testu pomocí systému Polar (Kempele, Finsko). Hodnota maximálního výkonu (P_{max}) byla stanovena nepřímo podle vzorce:

Zatížení [W] = hmotnost [(rychlost 0,2) + (sklon 0,9) + 3,5] / 10.5 (American College of Sports Medicine, 1986), přičemž rychlost byla počítána v metrech za minutu, sklon byl přepočítán na relativní hodnotu (5 % odpovídá hodnotě 0,05) a váha je udávána v kilogramech.

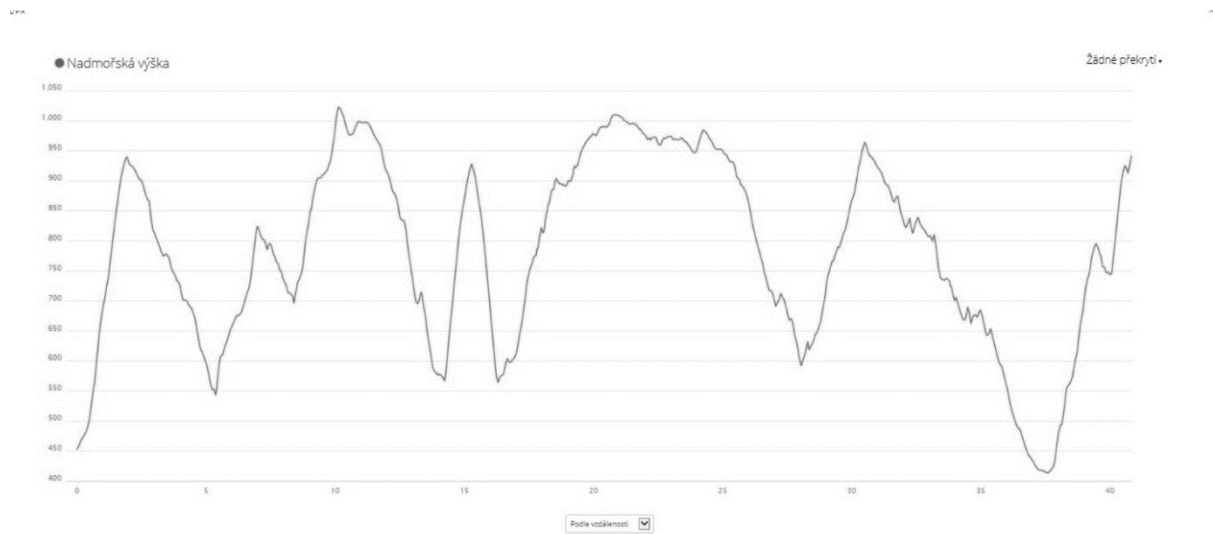
4.2.3 Hodnocení aktivity ANS

Měření aktivity ANS probíhalo vždy mezi 6. a 8. hodinou ranní, kromě měření bezprostředně po dokončení závodu. Hodnoty R-R intervalu byly získány kontinuálně v průběhu 12 min. vleže, v klidné místnosti za použití měřiče SF Polar RS800CX (Polar, Kempele, Finland). Bezprostředně po dokončení závodu podstoupili běžci 30 minutové měření aktivity ANS v klidné místnosti při teplotě mezi 22 a 24°C. Data R-R intervalů získaná prostřednictvím měřiče Polar RS800CX byla pro další zpracování a následnou analýzu VSF importována nejprve do softwaru společnosti Polar Polar Pro trainer 5 a poté ve formátu txt do diagnostického systému DiANS PF8 (DIMEA Group, Olomouc). Po vložení byla data manuálně vyčištěna od všech artefaktů, jako např. srdeční arytmie. K posouzení aktivity ANS bylo použito 300 následných intervalů získaných z každé fáze za použití rychlé Fourierovy transformace. Sledovanými parametry byl spektrální výkon jednotlivých frekvenčních komponent (LnHF / vysokofrekvenční v rozpětí 0,15 - 0,50 Hz; LnLF / nízkofrekvenční v rozpětí 0,05 až 0,15 Hz) poměr LF / HF a celkový výkon ($\text{PT} = \text{LF} + \text{HF}$). Při analýze byl dále použit parameter časové domény LnRMSSD .

4.2.4 Parametry závodu

Hyundai Perun SkyMarathon se konal v Beskydech se startem v Oldřichovicích a cílem na Javorovém vrchu. Trať závodu měřila 42 km, s pozitivním převýšením 3 150 výškových metrů a negativním 2 850 výškových metrů. Celá trať byla vedena v terénu, s minimem asfaltových nebo zpevněných cest. Profil závodu dokumentuje obrázek 2. Závod se běžel jako Mistrovství ČR ve skymaratonu pro rok 2015.

Obrázek 2. Profil závod Hyundai Perun SkyMarathon (záznam ze zařízení Garmin Fenix3 pořízen jedním z probandů)



4.2.5 Statistické zpracování

Data byla zpracována s využitím software SPSS 17. Normální rozdělení sledovaných dat bylo ověřeno pomocí Kolmogorov-Smirnova testu. Subjektivní vnímání únavy bylo hodnoceno systémem ANOVA a testem Fischer LSD. Vliv předzávodní úzkosti a zátěže na vybrané ukazatele SA VSF byl hodnocen prostřednictvím Kruskal-Wallis H-testu. Data, tabulky a grafy byly vytvořeny v aplikaci MS Excel 2003.

4.3 Postup měření

Po projevení zájmu o účast v průzkumu byli všichni probandi vyzváni k účasti na vstupním vyšetření, které proběhlo ve dvou termínech. V průběhu kontrolního vyšetření byli seznámeni s postupem měření, byly jim poskytnuty podrobné instrukce a předány sportestery. Zájem o účast a seznámení s postupem měření potvrdili účastníci svým podpisem. Instrukce spolu s dotazníkem, ve kterém zaznamenávali subjektivní pocity týkající se nervozity před závodem, formy a očekávaného výsledku, byly všem účastníkům zároveň poslány elektronickou poštou. Oba dokumenty jsou součástí přílohy. Probandi se zároveň zavázali, že v průběhu měření nebudou konzumovat žádný alkohol.

Klidový stav ANS měřili probandi v domácím prostředí ve 4 dnech v období před závodem (10. 2. a 1. den před závodem, v den závodu). Měření probíhalo pomocí sportesteru Polar bezprostředně ráno po probuzení (v případě noční směny po probuzení), po vykonání

nezbytných fyziologických potřeb vleže na zádech s rukama podél těla po dobu 12 min. Interval ukládání dat (R-R záznamu) byl nastaven na 1 vteřinu. V uvedených dnech probandi dále zaznamenávali své subjektivní pocity vnímané nervozity před závodem a stavu aktuální formy. V dotazníku dále uvedli, jak vidí svůj výsledek v závodě hodnocený očekávaným zaběhnutým časem a pořadím.

V den závodu, 2. 5. 2015, se všichni před závodem zvážili (Gallet Olivet PEP 801, Francie) a byl jim zkontrolován sportester. V průběhu celého závodu byla monitorována VSF, interval ukládání dat (R-R záznamu) byl nastaven na 60 vteřin. Bezprostředně po doběhnutí byli účastníci odvedeni do klidné místnosti. Po omytí a převlečení byli zváženi a byli dotázáni na subjektivní vnímání únavy po doběhnutí závodu. Úroveň únavy, resp. intenzita zátěže byla hodnocena na základě tzv. Borgovy škály. Tato klasifikace hodnotí intenzitu zátěže na stupnici 6 – 20 bodů, kde hodnota 6 - 7 odpovídá velmi lehké zátěži, naopak hodnoty 19 - 20 představují velmi namahavou zátěž (Pastucha et al., 2014). Poté proběhlo měření VSF v délce 30 min. vleže na zádech s rukama podél těla. Interval ukládání dat (R-R záznamu) byl nastaven zpět na 1 vteřinu. Před měřením byla probandům podána pouze voda na doplnění tekutin. Jídlo konzumovali až po skončení měření.

Další měření VSF byla provedena v 10. a 36. hodině zotavení. Všichni se opět měřili v domácím prostředí, ráno po probuzení po dobu 12 min. Interval ukládání dat (R-R záznamu) zůstal nastaven na 1 vteřinu.

Po skončení experimentu všichni postupně vrátili zapůjčené sportestery, s jednou výjimkou, při osobním setkání. Získaná data byla stažena a analyzována.

5 VÝSLEDKY

5.1 Hodnocení výsledků v závodě

Závod dokončilo 11 sledovaných atletů. Dva účastníci výzkumu nedokončili závod z důvodu zranění. Výsledky jednotlivých probandů v závodě jsou znázorněny v tabulce 5. Probandi strávili na trati v průměru $337,9 \pm 37,58$ minut. Průměrná hodnota SF se u sledovaných probandů pohybovala v průběhu závodu na úrovni $156,64 \pm 6,7$ BPM, což představuje intenzitu zatížení $85,4 \pm 3,47$ % jejich maximální SF.

Tabulka 5. Výsledky závodu Perun Skymraton 2015.

Proband	dosažený čas [min.]	průměrná SF v závodě [bpm]	Max. SF [bpm]	intenzita zatížení [% maxSF]	Změna hmotnosti [kg]
M	337,89	156,64	183,73	85%	1,73
SD	37,58	6,70	11,67	3%	1,47

Vysvětlivky: max. SF – maximální srdeční frekvence, bpm – tepů za minutu, M – průměr, SD – směrodatná odchylka

5.2 Hodnocení aktivity autonomního nervového systému

5.2.1 Variabilita srdeční frekvence v průběhu akutní fáze zotavení (do 30 min.)

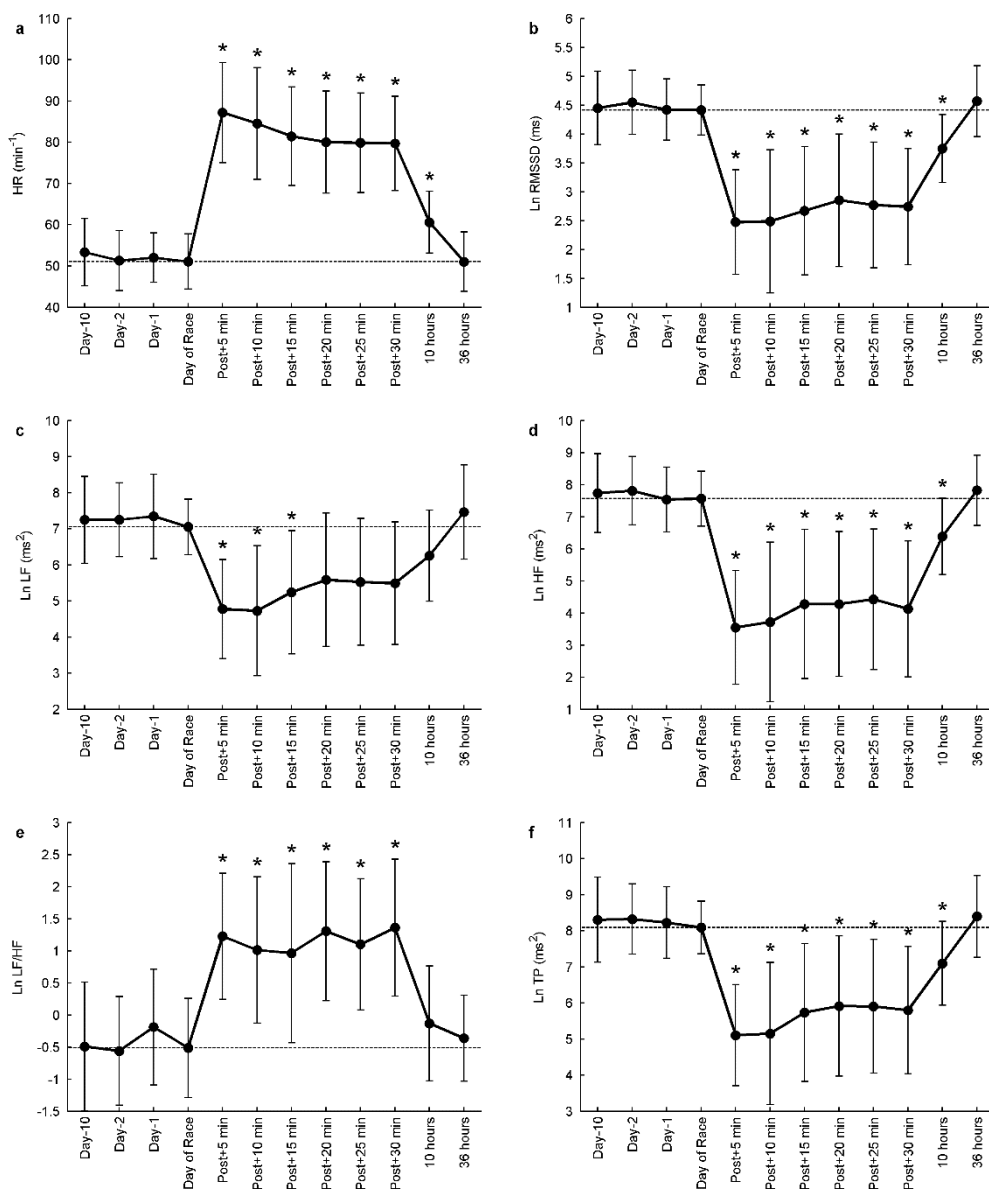
V průběhu akutní fáze zotavení, v prvních 30 min. po dokončení závodu, vykazovala průměrná SF výrazně vyšší hodnoty oproti původní hodnotě, jak demonstruje graf 1. Z grafu je také patrné, že bezprostředně po závodě došlo v důsledku poklesu vagové aktivity k relativnímu nárůstu aktivity sympatiku. Parametry LnHF a LnRMSSD, které odrážejí změny v aktivitě vagu, byly po celou dobu měření sníženy. Naproti tomu poměr LnLF/HF, který signalizuje zvýšenou aktivitu sympatiku, vykazoval signifikantně vyšší hodnoty. Vyjímkou je parameter LnLF, který vykazoval signifikantní pokles pouze do 15. min., od 20 min. není pokles hodnot v porovnání se vstupní hodnotou již statisticky významný.

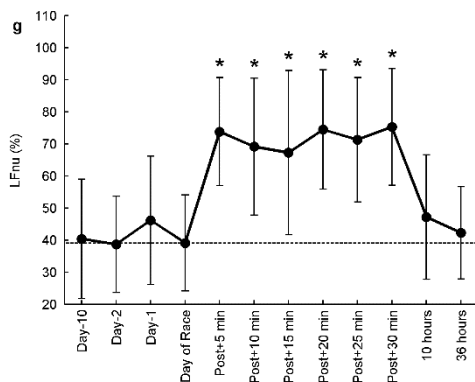
5.2.2 Variabilita srdeční frekvence v dlouhodobém zotavení (10 – 36 hod.)

Významné zvýšení oproti úrovni před závodem i v průběhu měření v 10. hodině zotavení vykazovala průměrná SF. Na původní úroveň klesla teprve v 36. hodině zotavení. Parametry aktivity ANS zůstaly rovněž redukovány v 10. hodině zotavení. Parametry vagu, LnHF a rMSSD zůstaly významně sníženy. Poměr sympatovagové balance LF/HF byl v 10. hodině

zotavení stále na vyšší úrovni ve srovnání s měřením před závodem. Teprve v průběhu 36. hodiny zotavení byl patrný návrat aktivity vagu na vstupní úroveň.

Graf 1. Změny srdeční frekvence (a), přirozený logaritmus průměrná kvadratická postupné rozdíl RR intervalů (B), přirozený logaritmus nízkofrekvenčního výkonu (c), přirozený logaritmus vysokofrekvenčního výkonu (d), přirozený logaritmus nízkofrekvenční komponenty (e).





Vysvětlivky: HR – srdeční frekvence, LnRMSSD - druhá odmocnina průměru druhých mocnin rozdílů mezi po sobě následujícími R-R intervalů (root mean square of successive differences), LnLF – spektrální výkon, nízká frekvence (low frequency), LnHF – spektrální výkon vysoká frekvence (high frequency) LnLF/HF - sympatovagová balance, * - Statisticky významný. Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± SD. Přerušované čáry značí úroveň v den závodu. Srovnání byla provedena pomocí párového t-testu s opravou Bonferroniho.

5.2.3 Vyjádření k hypotézám

H01: Do 30 min po ukončení zatížení se parametry reprezentující aktivitu vagu signifikantně neliší od výchozí úrovně.

30 min. po ukončení zátěže byly hodnoty ukazatelů vyjadřující aktivitu vagu, tedy LnHF a RMSSD, signifikantně redukovány oproti výchozím hodnotám.

Proto hypotézu **H01 zamítám.**

H02: Do 30 min po ukončení zatížení se parametry reprezentující sympatovagovou bilanci signifikantně neliší od výchozí úrovně.

30 min. po ukončení zatížení byla patrna relativní převaha sympatiku v aktivitě ANS. Poměr LF/HF vykazoval signifikantně vyšší hodnotu v porovnání se vstupní úrovní.

Proto hypotézu **H02 zamítám.**

H03: Do 36 hodin po ukončení zatížení se parametry reprezentující aktivitu vagu signifikantně neliší od výchozí úrovně.

V 36. hodině zotavení došlo k plnému zotavení aktivity vagu. Ukazatele LnHF a RMSSD již nebyly signifikantně odlišné od vstupních hodnot.

Proto hypotézu **H03 přijímám.**

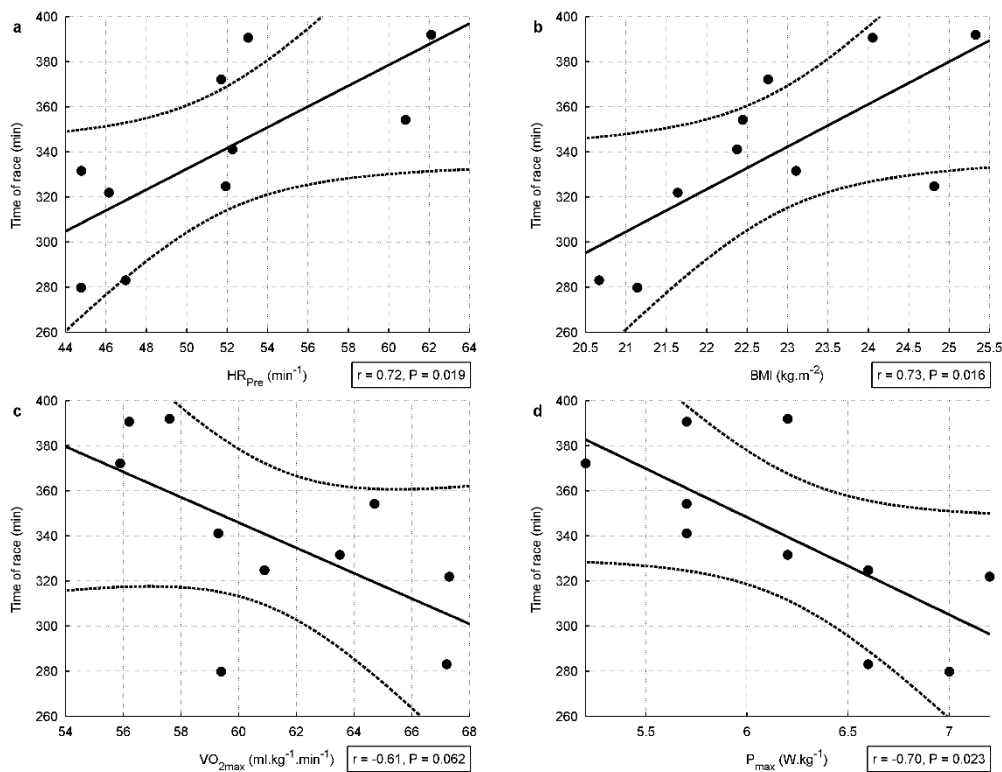
H04: Do 36 hodin po ukončení zatížení se parametry reprezentující sympatovagovou bilanci signifikantně neliší od výchozí úrovně.

V 10. hodině zotavení došlo ke kompletnímu návratu sympatovagové rovnováhy, reprezentované ukazatelem LF/HF.

Proto hypotézu **H04 přijímám.**

5.3 Výsledky korelační analýzy dosaženého výkonu a vybraných somatických a fyziologických parametrů

Graf 2. Korelační analýza mezi finálním časem závodu a srdeční frekvencí (a), BMI (b), maximální spotřebou kyslíku (c), a maximálním výkonem (d).



Vysvětlivky: HR – srdeční frekvence, BMI – body mass index, VO₂max – maximální spotřeba kyslíku, Pmax – maximální fyzický výkon

Graf č. 2 ukazuje souvislost mezi výsledným časem a vybranými somatickými a fyziologickými parametry. Naše výsledky prokázaly pozitivní korelaci mezi hodnotou BMI a výsledným časem ($r = 0,73$, $p = 0,016$). Získané výsledky dále prokázaly souvislost mezi fyzickou zdatností sportovců a dosaženým časem. Mezi maximálním výkonem, kterého sportovci dosáhli v průběhu vstupního vyšetření a výsledným časem byla prokázána statisticky významná negativní korelace ($r = -0,70$, $p = 0,023$). Naopak negativní závislost mezi dalším sledovaným parametrem predikujícím zdatnost sportovců, VO₂max, a finálním výsledkem nebyla statisticky významná pravděpodobně vzhledem k nižšímu počtu účastníků ($r = -0,61$, $p = 0,062$).

5.4 Hodnocení předstartovního stavu

Analýzu aktivity ANS ve vztahu k míře nervozity hodnocené na základě subjektivního hodnocení demonstruje tabulka 6.

Tabulka 6. Hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu mezi vybranými parametry SA VSF a subjektivním hodnocením nervozity a formy v době před závodem.

Rs	SF	Ln RMSSD	LnLF	LnHF	LnLF/HF
Nervozita	-.68*	-.66*	.01	.01	.00

Vysvětlivky: SF – srdeční frekvence, LnRMSSD - druhá odmocnina průměru druhých mocnin rozdílů mezi po sobě následujícími R-R intervalů, LnLF – spektrální výkon, nízká frekvence, LnHF – spektrální výkon vysoká frekvence, LnLF/HF - sympatovagová balance, rs – Spearmanův korelační koeficient, * - statisticky významný.

V průběhu měření byla prokázána statisticky významná korelace mezi subjektivně hodnocenou mírou nervozity a průměrnou SF. SF byla zvýšena v 10. a v posledním dni před závodem ve srovnání s úrovní naměřenou v den závodu. Negativní korelace je patrná rovněž mezi subjektivním hodnocením nervozity a parametrem LnRMSSD. Mezi zbývajícími faktory VSF, LnLF, LnHF a LnLF/HF a úrovní nervozity nebyla nalezena žádná závislost.

6 DISKUZE

6.1 Výsledky dosažené v závodě

Čas vítěze sledovaného závodu, MČR ve skymaratonu 2015, měl hodnotu 4:04:34 (<http://vysledky.timechip.cz/#2015/3/perun-skymarathon>). Nejlepší časy českých maratonců dosažené na silnici se v posledních letech pohybují lehce pod hranicí 140 min. Nejlepší český výkon 2015 měl hodnotu 2:17:51, historicky nejlepší výkon v maratonu je z roku 1998 a má hodnotu 2:09:53 (www.atletika.cz). Rozdíl v nejlepších časech roku 2015 představuje více než 107 minut. Skymaraton musí oproti klasickému silničnímu maratonu splňovat specifická kritéria spočívající v profilu trati, terénu, nadmořské výšce apod. Perun Skymaraton se běžel v Beskydech, v nadmořské výšce na úrovni 1 100 m.n.m., s celkovým pozitivním převýšením 3 150 m a negativním 2 850 m. Celá trať byla vedena v horském terénu mimo zpevněné cesty. Rozdíl v časech byl dán především profilem trati a náročným terénem. Různé terény vyžadují přizpůsobení běhu a kladou různé nároky na pohybový aparát i energetické zdroje. Při výběhu kopců můžeme hovořit o převažující koncentrické kontrakci svalů. Při sebězích je oproti tomu dominantní excentrická kontrakce (Chavanelle et al., 2014). Běh z kopce, excentrická kontrakce, klade nižší nároky na přísun kyslíku a spotřebu ATP (Friden, 1984) a tím šetří energii, klade ale zvýšené nároky na pohybový aparát, na svaly a šlachy. Nároky na rychlou kontrakci vedou k rychlejšímu vyčerpání kontraktibilních bílkovin a rychlejšímu nástupu únavy v pracujícím svalu (Friden, 1984). Náročný terén klade také zvýšené nároky na koordinační schopnosti sportovců. Vliv nadmořské výšky můžeme v našem případě považovat za zanedbatelný. Nadmořská výška se na vytrvalostní schopnosti jedinců začíná projevovat podle dostupných studií od hranice přibližně 1 200 m.n.m. (Fleg & Lakatha, 1988; Rosen et al., 1998), některé jiné zdroje uvádějí až hranici 1 500 m.n.m. (Wilmore & Costill, 1994). Dalším významným specifikem skymaratonu je nemožnost porovnávat časy jednotlivých závodů mezi sebou, vzhledem k rozdílným parametrům závodů.

6.2 Analýza aktivity autonomního nervového systému během zotavení

Vlivem tělesného zatížení dochází v regulaci ANS k typickým změnám ve smyslu poklesu aktivity vagu a zvyšování aktivity sympatiku (Astrand et al., 2003). Výsledky z našeho výzkumu prokázaly, že po intenzivní zátěži v podobě skymaratonu dochází k poklesu vagové aktivity a relativního nárůstu aktivity sympatiku.

Dosažené výsledky analýzy ANS v rámci našeho experimentu jsou v souladu s předchozími studii (Hautala et al., 2001; Stewart et al., 2014). V průběhu akutní fáze zotavení, v prvních 30 minutách po dokončení závodu, vykazovala výrazně vyšší hodnoty průměrná SF, parametry LnHF a LnRMSSD, které odrážejí změny v aktivitě vagu, byly po celou dobu 30 minut sníženy. Naproti tomu poměr LnLF/HF, který signalizuje zvýšenou aktivitu sympatiku, vykazoval signifikantně vyšší hodnoty. Parameter LnLF vykázal signifikantní pokles pouze do 15. min., od 20 min. není pokles hodnot v porovnání se vstupní hodnotou již statisticky významný. K pozvolnému návratu SF a všech ukazatelů VSF došlo od 10. hodiny zotavení, k jejich plné reaktivaci na vstupní úroveň došlo až v 36. hodině po skončení zátěže.

Parametr LnHF a parametr časové domény LnRMSSD jsou považovány za ukazatele vagové aktivity (Javorka et al., 2008; Ernst, 2014; Fráňa 2015). Ukazatel LnLF je v průběhu tělesného zatížení ovlivněn jednak aktivitou sympatiku, jednak variacemi baroreflexních odpovědí zprostředkovaných parasympatikem. Při nízké intenzitě tak dochází k jeho mírné redukci, při vyšší intenzitě dochází k výraznému poklesu, někdy až k nulovým hodnotám (Stejskal in Javorka, 2008). Vzájemný poměr obou větví ANS znázorňuje poměr LF/HF. Jeho celková hodnota odráží nejen aktivitu vagu, ale i aktivitu sympatiku. Aktivita vagu ovlivňuje hodnoty čitatele i jmenovatele. Není tedy vhodným ukazatelem výkonu ANS při intenzivním zatížení (Yamamoto et al., 1991; Nakamura, 1993).

Získané výsledky dokazují, že po dlouhodobém zatížení dochází jednoznačně k rychlejšímu zotavení vagové aktivity a sympatovagové rovnováhy. Vyšší úroveň vagové aktivity je spojována se sportovní výkonností (Kouidi et al., 2002; Hautala et al., 2001; Kaikkonen et al., 2011). Předchozí studie se shodují, že vytrvalostní trénink vede u sportovců k převažující vagové modulaci srdce a poklesu jejich SF, zároveň zvyšuje spektrální výkon VSF. Trénovaní jedinci mají významně vyšší hodnotu parametru HF. Výsledky dostupných studií se shodují, že v době zotavení po cvičení nižší intezity je dominantní vliv vagové aktivity (Kouidi et al., 2002; Hautala et al., 2001). V průběhu zatížení byl prokázán pokles ukazatelů LnHF a RMSSD a naopak růst vzájemného poměru LF/HF, což odráží pokles vlivu parasympatiku a zvýšení vlivu sympatiku na srdeční činnost. Po intenzivní zátěži, nebo při dlouhodobém zatížení, zůstávají hodnoty přechodně sníženy, což je připisováno zpoždění reaktive parasympatiku a trvalá aktivita sympatiku po skončení zátěže (Stewart et. al, 2014). Arai et al. (1989) uvádí, že v prvních minutách po zátěži je patrná výrazná redukce parametrů HF a RMSSD. Jejich redukce pod výchozí úroveň přetrvává i následující den po zátěži na základě dalších parametrů jako je např. intenzita cvičení. Podle této studie jsou změny VSF

v průběhu intenzivní zátěže dány spíše celkovými změnami v autonomní modulaci, vliv obou větví ANS, než pouze změnami v modulaci vagové aktivity.

Do sledované skupiny byli zařazeni běžci s rozdílnou výkonností. Hodnoty naměřené při vstupních testech poukazují na rozdílnou výkonnost jak na úrovni VO_{2max} , ANP tak i dosaženého maximálního výkonu (P_{max}). Rozdíl finálního času mezi nejlepším ze skupiny a nejhorším byl skoro dvě hodiny. Zatížení, kterému byli probandi vystaveni v průběhu závodu, se tak významně lišilo. Bylo prokázáno, že rychlost reaktivace vagové aktivity úzce negativně koreluje s úrovní VO_{2max} (Hautala et al., 2001) a zároveň delší zatížení vede k prodloužení doby reaktivace vagu (Kaikkonen et al., 2011). Tato skutečnost může vysvětlit velkou hodnotu směrodatné odchylky u hodnot parametrů ANS naměřených v průběhu zotavení. V případě vyšší intenzity zatížení přesahující 60 % VO_{2max} má na zotavení podstatný vliv aktivita sympatiku (Hautala et al., 2001; Danieli et al., 2014). Průměrná intenzita v průběhu závodu byla u našich probandů $85,4 \pm 3,47\%$ jejich maximální SF. Lze tedy očekávat zvýšený vliv sympatiku na organismus v průběhu aktuální fáze zotavení.

Kvalita zotavení po závodě může být ovlivněna i dalšími parametry, které nebyly sledovány v naší studii, jako věk, běžné denní činnosti nebo pracovní vyčerpání.

Na základě předchozích výzkumů v podobných sportovních odvětvích jsme předpokládali, že výkon ANS bude významně redukován v době zotavení. Náš experiment dokázal redukcii aktivity vagu v 30 minutách po dokončení zátěže, a aktivita vagu byla signifikantně redukována v 10. hodině zotavení. Teprve v 36 hodině zotavení se hodnoty VSF postupně vrátily na původní úroveň. Můžeme tak konstatovat, že 36 hodin po absolvování závodu ve skymaratonu, byli sledovaní běžci z pohledu autonomní kardiální regulace plně zotavení. Bohužel, v naší studii jsme nesledovali další velmi důležitý parametr. Tím je mechanické poškození pohybového aparátu po extrémní zátěži. Není tedy možné tvrdit, že sledovaní sportovci jsou po uplynutí 36 hodin po dokončení závodu plně připraveni k dalšímu sportovnímu výkonu nebo tréninku.

Dalším efektem vytrvalostního zatěžování, který byl sledován v předchozích studiích, je pokles rizika kardiovaskulárních příhod u osob s vyšší aktivitou parasympatiku. U osob s vyšší aktivitou parasympatiku byla prokázána nižší mortalita v souvislosti s ischemickými chorobami (Nolan et al., 1998). U pacientů s ischemickou chorobou srdeční byly prokázány nižší hodnoty u indexu časové domény RMSSD, který je ovlivněn zejména aktivitou vagu. Nolan et al. (1998) uvádí, že index RMSSD je významným prediktorem úmrtnosti po infarktu. Pohybová činnost mírné intezity vede ke zlepšení parametrů VSF a posun směrem k parasympatiku (Le Meur et al., 2013; Botek et al., 2008). Menší rozpory panují v definici

úrovně zatížení, kde se začíná projevovat zvýšená aktivace sympatiku a produkce katecholaminů. Někteří autoři uvádí hranici 50 – 60 % $VO_2\text{max}$ (Le Meur et al., 2013; Javorka et al., 2008), u jiných se objevuje nižší na úrovni 40 – 50 % $VO_2\text{max}$ (Nolan et al., 1998; Botek et al. 2008). Znalost hranice, kde dochází k postupné inhibici vagové aktivity a přesun ladění organismu směrem k sympatiku může významně pomoci při preskripci intenzity zatížení v rámci programů pohybové aktivity u pacientů s redukovanou aktivitou ANS a se zvýšeným rizikem náhlé srdeční příhody (Botek et al., 2008).

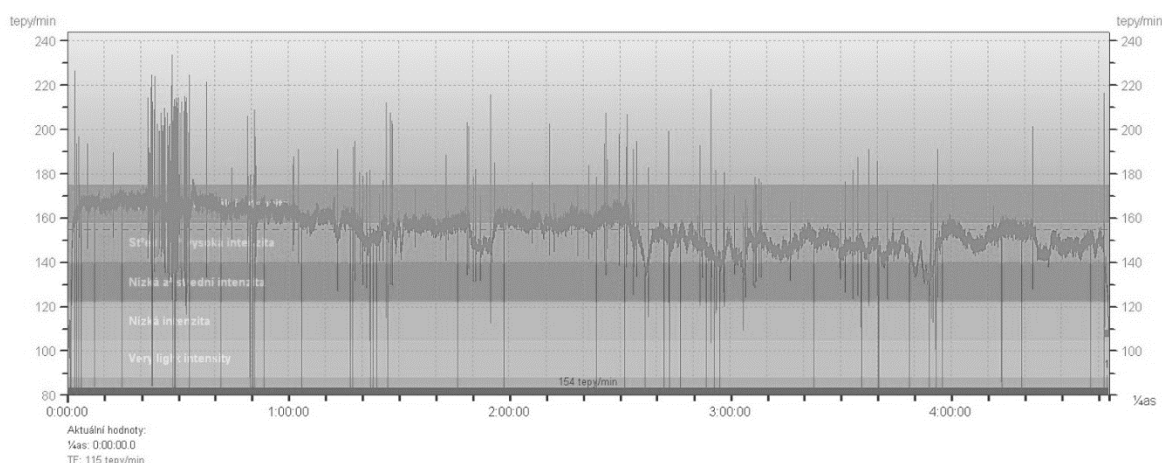
6.3 Antropometrické a kondiční předpoklady dosaženého výsledku

Jak již bylo uvedeno, mezi klíčové faktory sportovního výkonu patří somatické a kondiční faktory. Skyrunning je poměrně nová sportovní disciplína, která se vyznačuje určitými odlišnostmi oproti klasickému běhu po rovině. Jaké jsou zásadní somatické předpoklady dobrého výkonu v této disciplíně se v dostupných databázích nepodařilo nalézt. Následující text bude opřen o výzkumy prováděné u maratonských a ultramaratonských běhů. Maratonští a ultramaratonští běžci se vyznačují subtilní postavou, většinou malého vzrůstu, malé váhy a nízkého BMI, s nízkým podílem tělesného tuku. Jejich tělesné složení často bývá na hranici, nebo spíše pod ní, což je u běžné populace považováno za podvýživu (Noakes, 2001; Vernillo, 2013). Malý vzrůst a malá váha umožňují běžcům lepší práci s teplem. Podle Noakese (2001) dochází u lehčích a menších sportovců k menší produkci tepla. Těžší sportovci jsou znevýhodněni, aby udrželi tepelnou rovnováhu, musí často snížit výkon zejména v nepříznivých klimatických podmínkách, např. v prostředí s vysokou vlhkostí, která znemožňuje ochlazování pocením. Pokud přihlédneme ke specifickým znakům skyrunningu, běh v horách, v náročném terénu a ve vysoké nadmořské výšce, můžeme z předchozích zkušeností konstatovat, že i v tomto prostředí bude výhodou menší vzrůst a váha. Menší vzrůst je výhodou i pro pohyb v terénu z důvodu lepší koordinace. Náš výzkum prokázal úzkou souvislost mezi BMI a výsledným časem. Potvrzuje tedy naši domněnku, že somatický typ je důležitým ukazatelem výkonnosti ve skyrunningu. Všichni probandi podstoupili před startem vážení, znovu zvážení byli po doběhnutí do cíle. Rozdíl ztráty hmotnosti mezi prvním ze skupiny, který v průběhu závodu vykázal ztrátu 4,5 kg, a posledním, který zůstal na své původní váze, potvrzuje výše uvedené tvrzení o práci s teplem při vytrvalostní zátěži. Podle Havlíčkové et al. (1994) a Pastuchy et al. (2014) se vytrvalostním tréninkem zvyšuje objem krve (o 5 - 15 % oproti běžné populaci) a krevní plazmy. Sportovci s vyšší výkonností se potí dříve, při zátěži ztrácejí více vody, ale méně minerálů.

Ze získaných výsledků je také patrné, že výsledný čas významně ovlivnila fyziologická zdatnost sportovců. Mezi maximálním výkonem, kterého sportovci dosáhli v průběhu vstupního vyšetření, a výsledným časem byla prokázána statisticky významná negativní korelace. Naopak negativní závislost mezi dalším sledovaným parametrem predikujícím zdatnost sportovců, $VO_2\text{max}$, a finálním výsledkem nebyla statisticky významná pravděpodobně vzhledem k nižšímu počtu účastníků. Podle Lehnert et al. (2014) a Noakes (2001) není rozhodujícím ukazatelem vysoké výkonnosti aerobního systému běžců tolik $VO_2\text{max}$, ale ANP. $VO_2\text{max}$ je však podmiňující faktor ANP. Tato skutečnost je podle některých autorů např. Noakes (2001) a Vernillo et al. (2013) označována jako tzv. efektivita běhu (*running economy*). *Running economy* je možné definovat energetickou náročností při dané submaximální rychlosti, vyjádřenou jako submaximální spotřeba kyslíku (VO_2) při dané rychlosti běhu. Jedná se o souhrn všech fyziologických a biomechanických předpokladů působících ve vzájemné souhře (Barnes & Kilding, 2015). Svě tvrzení dokládá Noakes (2001) studií vytrvalostních schopností bílých a černých běžců. Výsledky výzkumu uvádějí, že hlavní předností afrických běžců není výše jejich maximálního aerobního výkonu. Mají absolutní hodnoty $VO_2\text{max}$ přibližně o 17% nižší než bílí běžci. Kromě lepších genetických a somatických předpokladů (menší vzrůst, nižší tělesná hmotnost, delší svalová vlákna) je jejich hlavní předností schopnost delší dobu pracovat na vyšší úrovni $VO_2\text{max}$ (89 % proti 80 %), mají tedy vyšší hodnotu ANP.

Hodnota ANP účastníků našeho výzkumu je velmi vysoká, na úrovni 89 % $VO_2\text{max}$. Průměrná SF sledovaných běžců byla, viz předchozí kapitola, 156.64 ± 6.7 BPM, a pracovali s intenzitou zatížení $85.4 \pm 3.47\%$ jejich maximální SF. Dynamika SF se v průběhu skyrunningového závodu liší od klasických závodů běžných na rovině a silnici. Dynamika zachycuje další parametry závodu jako např. profil a terén. Obrázek 3 demonstruje vývoj SF jednoho z probandů v průběhu závodu. Je z něj patrné, že SF v průběhu závodu značně kolísala. Její průměr byl pod hranicí ANP. Aktuální SF se často dostala nad úroveň ANP, ale naopak často i do pásma nízké intenzity a již v době závodu mohlo dojít k částečnému zotavení.

Obrázek 3. Dynamika SF v průběhu závodu jednoho z probandů.



Přestože průměrná hodnota ANP v rámci celé skupiny je velmi vysoká, individuální rozdíly v rámci skupiny byly velké. Rozdíl ANP mezi nejlepším a nejpomalejším účastníkem naší skupiny byl 9 % bodů (95 % oproti 86 % $VO_2\max$). Rozdíl v dosaženém čase, jak již bylo uvedeno, byl 112 minut.

6.4 Analýza předstartovního stavu

Bylo prokázáno, že nervozita, deprese a stres mají vliv na aktivitu ANS (Olsson, 2010). U pacientů trpících stavu úzkosti a depresí je partnera při měření ANS inhibice vagové aktivity a naopak vyšší aktivita sympatiku v porovnání se zdravými jedinci (Olsson, 2010). Předchozí studie předstartovní úzkosti se shodují, že předstartovní nervozita a úzkost vede k inhibici vagové aktivity a posílení aktivity sympatiku, které ovlivňují srdeční činnost a dochází tak k růstu SF. Předstartovní nervozita hraje významný vliv zejména při anaerobních sportech oproti aerobním zaměřeným spíše na dlouhodobý výkon a je patrnější v individuálních sportech (Mateo et al., 2012; Ascenzi et al., 2014; Blásquez et al., 2009). Jako nejvhodnější ukazatel indikující emoční stav před závodem je považován parametr LnRMSSD vzhledem k jeho citlivosti na krátkodobé změny intervalu R-R (Blásquez et al., 2009).

Organismus sportovce se připravuje na očekávanou zátěž a na podání sportovního výkonu odpovídajícímu jeho současné formě. To se projevuje zvýšenou aktivitou sympatiku. Předstartovní stav je dále závislý na dalších okolnostech, jako významnost závodu, vlivy přicházejí z okolí závodníka (rodina, práce, přátelé), nastavení samotného sportovce apod. Výsledky našeho experimentu prokázaly statisticky významnou negativní korelaci mezi subjektivně vnímanou nervozitou a SF a dále ukazatelem LnRMSSD, u ostatních ukazatelů VSF nebyla korelace nalezena. Dosažené výsledky jsou v rozporu s předchozími výzkumy,

které prokázaly při předstartovních stavech pokles vagové aktivity a růst aktivity sympatiku. Vysvětlení můžeme hledat např. v úrovni zainteresovanosti sportovců na výsledku závodu nebo utkání. V uvedených studiích bylo pracováno s elitními profesionálními sportovci. Profesionální sportovci jsou ve většině případů závislí na výsledku svého snažení, často existenčně. Přestože se v našem případě jednalo o významný závod, Mistrovství České republiky, mezi účastníky výzkumu nebyl žádný profesionální sportovec. Výsledek závodu pro nikoho z oslovených nepředstavoval psychickou zátěž v podobě nutnosti podat výborný výsledek. To se mohlo projevit na nižší předzávodní nervozitě v rámci naší skupiny. Osobnost sportovce a jeho schopnost vyrovnat se se soutěžním zatížením je velmi individuální a nebyla ve studii podchycena.

6 ZÁVĚRY

Hlavním cílem práce bylo zanalyzovat reakci organismu během zotavení po absolvování vytrvalostního závodu ve skymaratonu pomocí monitorování aktivity autonomního nervového systému metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SA VSF).

Z výsledků práce vyplývá, že dlouhotrvající zatížení v podobě závodu ve skymaratonu, kde sledovaní závodníci strávili na trati v průměru $337,89 \pm 37,58$ minut v průměrné intenzitě $85,4 \pm 3,47$ % maximální SF, vede k poklesu aktivity ANS ve všech sledovaných parametrech.

Do 30 min. po ukončení zátěže byly parametry reprezentující aktivitu vagu výrazně redukovány v porovnání s výchozím stavem. Parametry sympatovagové rovnováhy-vykazovaly oproti tomu vyšší hodnoty. Po 36 hodinách zotavení došlo k návratu všech sledovaných parametrů VSF na vstupní úroveň. 36 hodin po absolvování závodu ve skymaratonu tak byli sledovaní běžci z pohledu autonomní kardiální regulace plně zotaveni.

Při analýze antropometrických charakteristik a výkonnosti sportovců byla prokázána pozitivní korelace mezi hodnotou BMI a časem dosaženým v závodě. Negativní korelace byla partná mezi maximálním výkonem, kterého sportovci dosáhli v průběhu vstupního vyšetření, a výsledným časem v závodě.

Výsledky našeho experimentu prokázaly statisticky významnou negativní korelaci mezi subjektivně vnímanou nervozitou a SF a dále ukazatelem LnRMSSD, u ostatních ukazatelů VSF nebyla korelace nalezena. Dosažené výsledky jsou v rozporu s předchozími výzkumy, které prokázaly při předstarovních stavech pokles vagové aktivity a růst aktivity sympatiku.

7 SHRNU TÍ

Monitorování aktivity autonomního nervového systému (ANS) pomocí neinvazivní metody spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SA HRV) umožňuje posoudit na základě zpětné vazby odezvu organismu vyvolanou např. tréninkovým nebo soutěžním zatížením.

Hlavním cílem práce bylo analyzovat odpověď organismu na extrémní vytrvalostní výkon v podobě skymaratonu na základě hodnocení úrovně aktivity autonomního nervového systému několika českých vytrvalců, účastníků Mistrovství České republiky ve skymaratonu. Dílčími cíli bylo analyzovat souvislost mezi subjektivním vnímáním nervozity před závodem a výsledky objektivního hodnocení a mezi subjektivním hodnocením únavy, výsledkem závodu a objektivním hodnocením stavu organismu.

Na výzkumu se podílelo 13 vytrvalostních běžců (mužů) ve věku $36,85 \pm 8,67$ let, s $VO_2\max$ $60,41 \pm 5,68$ ml.kg⁻¹min.⁻¹ a BMI $22,86 \pm 1,84$ kg.m⁻². Výzkum proběhl v průběhu dubna a začátkem května 2015. Závod, na který byl výzkum zaměřen, MČR ve skymaratonu, se konal 2. května 2015.

Všichni sportovci podstoupili před zahájením projektu vstupní vyšetření spočívající v analýze tělesného složení, spirometrii a v zátěžovém testu do vita maxima. Probandi se podrobili 10., 2., 1. den před závodem a ráno v den závodu měření aktivity ANS, zároveň zaznamenávali jejich subjektivní hodnocení nervozity a formy před závodem. V průběhu závodu byla u zúčastněných závodníků sledována pouze SF. Bezprostředně po dokončení závodu bylo u všech závodníků, kteří závod dokončili ve stanoveném čase, provedeno měření aktivity ANS v délce trvání 30 min., byli dotázáni na subjektivní hodnocení jejich únavy ze závodu. Další měření aktivity ANS proběhla v 10. a 36. hodině zotavení. Závod dokončilo 11 probandů, v průměrném čase $337,89 \pm 37,58$ minut. Průměrná hodnota SF se u sledovaných probandů pohybovala v průběhu závodu na úrovni $156,64 \pm 6,7$ BPM, což představuje intenzitu zatížení $85,4 \pm 3,47\%$ jejich maximální SF.

Z našeho výzkumu vyplývá, že extrémní sportovní výkon vede k redukci ANS, která přetrvává i po závodě. U zúčastněných sportovců byla patrná snížená aktivita parasymptiku a naopak zvýšená aktivita sympatiku bezprostředně po dokončení závodu. V prvních 30 minutách zotavení byly všechny parametry ANS výrazně redukovány. K reaktivaci došlo pouze u parametru LnLF v 15. minutě zotavení. V 10. hodině zotavení vykázaly parametry ANS lehkou reaktivaci, k plné reaktivaci došlo až v 36. hodině zotavení. Po dlouhodobém

zatížení dochází jednoznačně k rychlejšímu zotavení sympatovagové rovnováhy a reaktivaci vagové aktivity.

Výsledný čas sportovců byl analyzován vůči výsledkům, kterých dosáhli v průběhu vstupního vyšetření. Na výsledném čase, se podle našich výsledků významně podílely antropometrické charakteristiky a jejich fyzická výkonnost daná mírou pracovní tolerance neboli nejvyšším tolerovaným zatížením. Na dosaženém výsledku byl rovněž patrný vliv maximálního aerobního výkonu, VO_2max , ale vzhledem k velikosti souboru nebyl statisticky významný.

Při analýze vztahu mezi předstartovním stavem a výsledným časem a objektivním hodnocením organismu jsme zjistili statisticky významnou negativní korelaci mezi subjektivním hodnocením nervozity před závodem (pre start anxiety) a aktivitou ANS. V naší studii jsme se nezaobírali vlivy, které mohou ovlivnit psychický stav sportovce po závodě.

Jak rychle bude sportovec schopen podávat kvalitní sportovní výkon po absolvování těžkého závodu je závislé na celé řadě faktorů. Ne všechny je možné ovlivnit. Kvalitní regenerace a respektování doby, která je nutná k zotavení, je nezbytné pro udržení kvalitní výkonnosti a předcházení negativním jevům jako je např. chronická únava, zranění apod. Moderní technické prostředky zjednodušují možnost měřit a kvalifikovat stav organismu sportovce po sportovní zátěži. Jednou z možností je i využití monitoringu ANS prostřednictvím VSF.

8 SUMMARY

Monitoring of the autonomous nervous system (ANS) activity by means of non-invasive spectral analysis method of the heart frequency variability (SA HRV) allows, on the basis of a feedback, to assess the body response caused e.g. by training/competition load.

The principal aim of the work was to analyse the body response to extreme endurance performance (skymarathon) on the basis of assessment of the autonomous nervous system activity level in several Czech long-distance runners, Czech Republic skymarathon championship participants. The partial objectives consisted in the analysis of the association between subjective perception of the nervousness before the start and the results of an objective assessment, result of the race and selected somatic/conditional factors.

Total 13 long-distance runners (men) aged 36.85 ± 8.67 , with $VO_{2max} 60,41 \pm 5,68$ ml.kg⁻¹min⁻¹ and BMI $22,86 \pm 1,84$ kg.m⁻² participated in the research. The research was carried out at the end of April/beginning of May 2015. The race on which the research was focused on, i.e. the Czech Republic Championship in skymarathon, occurred on May 2, 2015. Prior to the start of the project all athletes were subjected to an entrance examination, consisting in analysis of the body composition, spirometry and load test up to vita maxima. On the days 10, 2 and 1 before the race and on the day of the race all the probands were subjected to measurement of the ANS activity and, simultaneously, they were asked about their subjective assessments of anxiety and shape/form before the race. During the race only the heart rate (HR) of the participating runners was monitored. Immediately after the finish, in all runners who completed the race within the specified time the ANS activity was measured for a period of 30 minutes, the runners were inquired about their subjective assessment of the fatigue related to the race. In the 10th and 36th hour of recovery, also other ANS activity measurements were carried out. The race was successfully completed by 11 probands with average time 337.89 ± 37.58 minutes. During the race the average HR value of the monitored probands was 156.64 ± 6.7 BPM, which represents the load intensity 85.4 ± 3.47 % of their maximum HR.

It follows from our research that an extreme sports performance leads to a reduction of ANS, which even persists after the race is over. In the participating athletes it was evident that the parasympathetic activity was decreased and, on the other hand, the sympathetic activity was increased. Within the first 30 minutes of the recovery all ANS parameters were considerably reduced. Only in case of the LnLF parameter reactivation in the 15th minute of the recovery occurred. In the 10th hour of the recovery the ANS parameters showed slight

reactivation, however, full reactivation only occurred in the 36th hour of the recovery. After a long-term load the recovery of the sympathovagal balance and reactivation of the vagal activity.

The resulting time of the athletes was analysed with respect to the results of the entrance examination. The resulting time was significantly influenced by the anthropometric characteristics and their physical performance based on their working tolerance rate or maximum tolerated load. Also, the result reached was obviously influenced by the maximum aerobic performance, VO_{2max} ; however, it was not statistically significant due to the size of the group.

When analysing the relationship between the pre-start condition and the resulting time and the objective assessment of the body, we have found statistically insignificant negative correlation between the subjective assessment of the pre-start anxiety and the ANS activity. It depends on a series of factors, when an athlete is able to give a quality performance after participation in a difficult race. Not all of the factors may be influenced. Quality regeneration and respecting the time which is necessary to the recovery are essential for maintaining quality performance and prophylaxis of negative phenomena, e.g. chronic fatigue, injury and so on. Modern technological means simplify the possibility to measure/qualify the condition of athlete's body after a sports performance. One of the possibilities also consists in monitoring of ANS by means of HRV.

9 REFERENČNÍ SEZNAM

- Acharya, R., Joseph, K.P., Kannathal, N. Min Lim, C., & Suri, S. (2006). Heart rate variability: a review. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 44, 1031–1051.
- Alvares, G. A., Quintana, D. S., Kemp, A. H., Van Zwieten, A., Balleine, B. W., Hickie, I. B. & Guastella, A. J. (2013). Reduced Heart Rate Variability in Social Anxiety Disorder: Associations with Gender and Symptom Severity. *Plos One*. July, 2013.
- Arai, Y. et al. (1989). Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *American Journal of Physiology*, 256, 132–141.
- D'Ascenzi, F., Alvino, F., Natali, B.M., Cameli, M., Palmitesta, P., Boschetti, G., Bonifazi, M., & Mondillo, S. (2014). Precompetitive assessment of heart rate variability in elite female athletes during play offs. *Clin Physiol Funct Imaging*, 34, 230-236.
- Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H. A., & Strømme, S. B. (2003). Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise. Human Kinetics, McGraw-Hill: USA.
- Barnes, K.R., & Kilding, A.E. (2015). Strategies to improve running economy. *Sport Medicine*, 2015(45), 37-56.
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Med Open*. 1(1), 8.
- Baron, B., Deruelle, F., Moullan, F., Dalleau, G., Verkindt, C., & Noakes, T. D. (2009). The eccentric muscle loading influences the pacing strategies during repeated downhill sprint intervals. *European Journal of Applied Physiology*, 105, 749–757.
- Benson, R., & Connolly, D. (2012). *Trénink podle srdeční frekvence: jak zvýšit kondici, vytrvalost, laktátový práh, výkon*. Praha: Grada.
- Bernardi, L., Passino, C., Serebrovskaya, Z., Serebrovskaya, T., & Appenzeller, O. (2001). Respiratory and cardiovascular adaptations to progressive hypoxia. Effect of interval hypoxic training. *European Heart Journal*, 22, 879–886.
- Berntson G. et al. (1997). Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34, 623 – 648.
- Bosco, C., Montanari, G., Ribacchi, R., Faina, M., Colle, R., Dal Monte, A., Latteri, F., Pastoris, F., Benzi, G., Cortili, & G., Saibene, F. (1986). The relationship between the reuse of elastic energy and the energetic cost of running. *Biochemical Aspects of Physical Exercise*, 469–78.
- Bosquet, L., Gamelin, F.X., & Berthoin, S. (2007). Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? *European Journal of Applied Physiology*, 100, 363 – 369.

- Botek, M., Stejskal, P., Krejčí, J., Jakubec, A., & Gába, A. (2008). Determination of the vagal threshold and changes of it's using. *Acta Univ. Palacki. Olomuc Gymn.*, 38(2), 25-33.
- Botek, M., Stejskal, P., Šafář, M., & Smékal, D., (2011). Autonomic Nervous System Activity Assesment in recreational half marathon runners. *Acta Univ. Palacki. Olomouc., Gymn.*, 41(1).
- Buchheit, M., Chivot, A., Parouty, J., Mercier, D., Al Haddad, H., Laursen, P.B. & Ahmaidi, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 1153 – 1167.
- Blásquez, J.C.C., Font, G.R., & Ortís, L.C. (2009). Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema*, 21, 531-536.
- Brabec, L. & Orálek, D. (2014). *Můj dlouhý běh*. Praha: Luboš Brabec.
- Danieli A., Lusa, L., Potočnik, N., Meglič, B., Grad, A., & Bajrovic, F.F. (2014). Resting heart rate variability and heart rate recovery after submaximal exercise. *Clin Auton Res*, 24, 53–61.
- Dovalil, J. et. al. (2008). *Lexikon sportovního tréninku*. Praha: Karolinum.
- Ernst, G. (2014). *Heart Rate Variability*. London: Springer-Verlag.
- Fleg, J.L., Lakatta, E.G. (1988). Role of muscle loss in the age-associated reduction in VO₂max. *Journal of Applied Physiology*, 65, 1147–51.
- Fráňa, P., Souček, M., Řiháček, I., Bartošíková, L., Fráňová, J. (2015). Hodnocení variability srdeční frekvence, její klinický význam a možnosti ovlivnění. Retrieved from www.prolekare.cz, 5.8.2015.
- Friden, J. (1984). Muscle soreness after exercise: Implications of morphological changes. *International Journal of Sports Medicine* 5, 57–66.
- Friden, J. & Lieber, R.L. (2001). Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle components. *Acta Physiol Scand*, 171(2001), 321-326.
- Hátlová, B., Hošek, V., & Slepíčka, P. (2009). *Psychologie sportu*. Praha: Karolinum.
- Hautala, A., Tulppo, M. P., Makikallio, T. H., Laukkanen, R., Nissila, S., & Huikuri, H. V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology*, 21(2), 238–245.
- Havlíčková, L. et al. (1994). *Fyziologie tělesné zátěže I, obecná část*. Praha: Univerzita Karlova.
- Chavanelle, V., Sirvent, P., Ennequin, G., Caillaud, K., Montaurier, Ch., Morio, B., Boisseau, N., & Richard, R. (2014). Comparison of Oxygen Consumption in Rats during Uphill

- (Concentric) and Downhill (Eccentric) Treadmill Exercise Tests. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13, 689-694
- Issurin, B.V. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Medicine*, 40(3), 189-206.
- Iwasaki, K., Ogawa, Y., Shibata, S., & Aoki, K. (2007). Acute exposure to normobaric mild hypoxia alters relationships between blood pressure and cerebral blood flow at very low frequency. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 27, 776-784.
- Jornet, K. (2013). Kilian Jornet – krátce k principům v tréninku. WWW: <http://skyrunning.cz/?s=kr%C3%A1tce+k+princip%C5%AFm+v+tr%C3%A9ninku> retrieved 8. 1. 2016.
- Javorka, K. et al. (2008). *Variabilita frekvencie srdca*. Bratislava: Osveta.
- Jornet, K. (2014). *Běhej nebo zemři*. Praha: Mladá fronta.
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., & Nummela, A. (2011). Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 829–838.
- Komi, P.V., Nicol, C. (2000). Stretch-shortening cycle fatigue. *Biomechanics and Biology of Movement. Human Kinetics, Champaign, IL*, 385-408.
- 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.
- Lee, C.M., & Mendoza, A. (2012). Dissociation of heart rate variability and heart rate recovery in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 2757–2766.
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Lehnert, M., Kudláček, M., Háp, P., Bělka, J. et al. (2014). *Sportovní trénink I*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D. et al. (2014). *Kondiční trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Le Meur, L.Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., Vidal, P.P., & Hausswirth, Ch. (2013). Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *American College of Sports Medicine, April 2013*.
- Máček, M., Macková, J., & Radvanský, J. (2003). Syndrom přetrénování. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 12(1), 1-13.

- Máček, M., Radvanský, J. et al. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galen.
- Máček, M., & Vávra, J. (1980). *Fysiologie a patofysiologie tělesné zátěže*. Praha: Avicenum
- Mateo, M., Blasco-Lafarga, C., Martí'nez-Navarro, I., Guzmán, J.F., & Zabala, M. (2012). Heart rate variability and pre-competitive anxiety in BMX discipline. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 113 - 123.
- Meule, A., Fath, K., Real, R. GL., Sütterlin, S., Vögele, C., & Kübler, A. (2013). Quality of life, emotion regulation, and heart rate variability in individuals with intellectual disabilities and concomitant impaired vision. *Psychology of Well-Being: Theory, Research and Practice*, 2013/3-1.
- Mourek, J. (2005). *Fyziologie – učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada
- Mourot, L., Fabre, N., Andersson, E., Willis, S., Buchheit, M. & Holmberg, H-Ch. (2015). Cross-Country Skiing and Postexercise Heart-Rate Recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2015, 10, 11-16.
- Nakamura, Y., Yamamoto, Y. & Muraoka, I. (1993). Autonomic control of heart rate during physical exercise and fractal dimension of heart rate variability. *Journal of Applied Physiology*, 74(2), 875-881.
- Neumann, G., Prütznér, A., & Hottenrott, K. (2005). *Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku*. Praha: Grada.
- Noakes, T. D. (2001). *Lore of running, fourth edition*. Southern Africa: Oxford University Press.
- Nolan, J., Batin, P. D., Andrews, R., Lindsay, S. J., Brooksby, P., Mullen, M., Baig, W., Flapan, A. D., Cowley, A., Prescott, R. J., Neilson, J. M., & Fox, K. A. (1998). Prospective study of heart rate variability and mortality in chronic heart failure: Results of the United Kingdom heart failure evaluation and assessment of risk trial (UK heart). *Circulation*, 98(15), 1510–1516.
- Olsson, E. (2010). *Heart Rate Variability in Stress-related Fatigue, Adolescent Anxiety and Depression and its Connection to Lifestyle*. Uppsala: Uppsala University.
- Pastucha, D. et al. (2014). *Tělovýchovné lékařství*. Praha: Grada.
- Perič, T. & Dovadil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Praha: Grada.
- Pilný, J. (2007). *Prevence úrazů pro sportovce*. Praha: Grada.
- Placheta, Z., Dohnalová, I., Novotný, J., Zatloukal, B., Čechovský, K., Dražil, V., & Homolka, P. (1998). *Zátěžová funkční diagnostika a preskripce pohybové léčby ve vnitřním lékařství*. Brno: MU.

- Puleo, J. & Milroy, P. (2014). *Běhání, anatomie*. Praha: CPress.
- Přidalová, M., & Riegerová, J. (2009). *Funkční anatomie II*. Olomouc: Hanex.
- Rivera, M.A., Dionne, F.T., Simoneau, J.-A., Perusse, L., Chagnon, M., Chagnon, Y., Gagnon, J., Leon, A.S., Rao, D.C., Skinner, J.S., Wilmore, J.H., & Bouchard, C. (1997). Muscle-specific creatine kinase gene polymorphism and VO₂max in the Heritage Family Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29, 1311–17.
- Roi, G. S., Monticone, M., Salvoni, M., & al. (2015). Self-Reported Knee Symptoms Assessed by KOOS Questionnaire in Downhill Runners (Skyrunners). *Plos One*. 10(4).
- Rokyta R. et al. (2000). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV nakladatelství.
- Rosen, M.J., Sorkin, J.D., Goldberg, A.P., Hagberg, J.M., Katznel, L.I. (1998). Predictors of age-associated decline in maximal aerobic capacity: A comparison of four statistical models. *Journal of Applied Physiology*, 84, 2163–70.
- Silva, J.M., Hardy, C.J. (1986). Discriminating contestants at the United States Olympic marathon trials as a function of precompetitive affect. *International Journal of Sport Psychology*, June 1986 (Vol. 17 Issue 2),100-109. Retrieve from WWW, October 4, 2015.
- Slepička, P., Hošek, V. & Hátlová, B. (2006). *Psychologie sportu*. Praha: Univerzita Karlova.
- Stewart, G.M., Kavanagh, J.J., Koerbin, G., Simmonds, M.J., & Sabapathy, S. (2014). Cardiac electrical conduction, autonomic activity and biomarker release during recovery from prolonged strenuous exercise in trained male cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 1-10.
- Straková, A. (2013). Skyrunning? Specifika disciplin a mentální příprava. WWW: <http://skyrunning.cz/?s=Skyrunning%3F+Specifika+disciplin+a+ment%C3%A1ln%C3%AD+p%C5%99%C3%ADprava> retrieved 10.1.2016.
- Šlechta, R., Stejskal, P., Elfmark, M., Salinger, J., Kalina, M., & Řehořová, I. (2002). Age and spectral analysis of heart rate variability. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 32, 59-67.
- Tulppo, M.P., Makikallio, T.H., Seppanen, T., Laukkanen, R.T., & Huikuri, H.V. (1998). Vagal modulation of heart rate during exerices: effects of age and physical fitness. *American Journal of Physiology*, 274, H424-429.
- Vančura, V. & Radvanský, J. (2007). Fyziologie tělesné zátěže. *Kardiologická revue*, 9(suppl), 5-9.

- 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, 663-672
- Vernillo, G., Schena, F., Berardelli, C., Rosa, G., Galvani, C., Maggioni, M., Agnello, L., & La Torre, A. (2013). Anthropometric characteristics of top-class Kenyan marathon runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(4), 403-408
- Vernillo, G., Savoldelli, A., Zignoli, A., Trabucchi, P., Pellegrini, B., Millet, G.P., Schena, F. (2014). Influence of the world's most challenging mountain ultra-marathon on energy cost and running mechanics. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 929–939.
- Wilmore, J. H., & Costill, D.L., (1994). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, III: Human Kinetics.
- Yamamoto, Y., & Hughson, R. L. (1991). Coarse graining spectral analysis: New method for studying heart rate variability. *Journal of Applied Physiology*, 71(3), 1143–1150.

10 PŘÍLOHY

1. Komunikace – výzva k účasti v projektu
2. Instrukce k průběhu měření ANS
3. Dotazník aspirace
4. Vyšetření v laboratoři FTK UP – zátěžový test do vita maxima
5. MČR v skymartonu, 2.5.2015

PŘÍLOHA 1

Komunikace – výzva k účasti v projektu

Praha, 28. února 2015

Michaela Mertová
michaela.mertova8@gmail.com

Ahoj sportovní kamarádi,

obracím se na Vás jako na účastníky letošního ročníku Perun maratonu a členy České asociace skyrunningu. V současné době v rámci studia trenérství na Univerzitě v Olomouci připravuji diplomovou práci na téma skymaraton a stav zotavení po tomto poměrně náročném závodě. Ráda bych analyzovala, jak náš organizmus reaguje na zátěž, a jak rychle jsem schopni se po závodě zregenerovat. Jednou z možností je metoda založená na variabilitě srdeční frekvence (VSF), se kterou pracuje Univerzita v Olomouci.

Chtěli byste se o VSF dozvědět více a vyzkoušet si její praktické využití? Pro svou práci bych potřebovala najít několik běžců (mužů), kteří budou ochotni otestovat svůj organizmus a pomoc mi tak s diplomkou. V čem by testování spočívalo? Testování proběhne v rámci letošního Perun Maratonu, zapůjčím Vám sporttester, který umí změřit VSF pomocí záznamu intervalu RR. V průběhu 4 dní (2 dny před závodem, v den závodu a den po závodě) si každé ráno změříte pomocí sportesteru VSF. Měření trvá cca 10 min. a provádí se v leže bezprostředně po probuzení. První tři měření definují základní úroveň Vaší VSF, poslední záznam určí míru Vašeho zotavení po závodě. Úroveň zotavení bude dále hodnocena bezprostředně po doběhu závodu na základě hodnot získaných měření trvajícím 30 min. opět v leže. Jako součást testování je třeba dále podstoupit vyšetření spočívající v zátěžovém testu a měření tělesného složení. V průběhu 4 dní měření je zakázána konzumace jakéhokoliv alkoholu.

Co můžete spolupráci získat? Kromě toho, že mně pomůžete, dozvíte se něco o sobě, o reakci Vašeho organizmu. Zdarma získáte zátěžový test a analýzu tělesného složení. Kromě toho Vám nabízím poukázku na odběr produktů Enervit v hodnotě 1 000 Kč. Obdržená data budou použita výhradě pro potřeby diplomové práce a budou anonymní a výsledcích projektu budete informováni. Zátěžové vyšetření proběhne v laboratoři FTK Univerzity Palackého v Olomouci ve dnech 2. nebo 16. dubna 2015 (čtvrtek).

Pokud Vás moje prosba zaujala a chtěli byste se testování aktivně účastnit, případně získat o testu více informací kontaktuje mě na mailu: michaela.mertova8@gmail.com nebo na telefonu 602 316650.

Děkuji Vám za Váš čas a případnou spolupráci.

Míša Mertová

Co je variabilita srdeční frekvence

Velmi stručně, variabilita srdeční frekvence úzce souvisí s autonomním nervovým systémem a vypovídá o stavu vnitřní rovnováhy organismu a ukazuje, jak organismus reaguje na dlouhodobé zatížení a jak v něm probíhají jednotlivé adaptační procesy. Podle její hodnoty, resp. osilace jsme schopni vyhodnotit, jak rychle se tělo vrací do normálu a regeneruje. Její hodnoty se udávají v milisekundách (ms) a udávají dobu mezi jednotlivými údery srdce (RR interval). VSF je typickou vlastností zdravého srdce a její hodnoty jsou vysoce individuální. Znamená to, že je vhodné porovnávat především hodnoty pouze téhož jedince. VSF vyjadřuje rovnováhu autonomního nervového systému, neboli poměr sympatiku a parasympatiku, jinými slovy celkové uvolnění organismu, úroveň relaxace nervového i podpůrného (zejména svalového) systému.

Některé sporttestery umí na základě této variability změřit stav zotavení organismu. Úroveň zotavení je hodnocena porovnáním aktuálně naměřené hodnoty vůči individuálně nastavené základní úrovni. Vysoká variabilita znamená největší tělesné a duševní zotavení. Snížení hodnoty variability svědčí o vysoké úrovni fyzického resp. psychického stresu. Po tréninku či např. následující ráno je tak možné na základě hodnot tepové frekvence a její variability stanovit stupeň fyzického zotavení. Vyšší klidová tepová frekvence a nižší variabilita než je běžné mohou být signálem přetrvávající únavy organismu, nastupujícího onemocnění apod. Psychické příznaky jako strach, nepřiměřené napětí, nervozita, zlost, poráženecká nálada, apod. způsobují zvýšení tepové frekvence a snížení její variability.

PŘÍLOHA 2

Instrukce k průběhu měření ANS

Před začátkem měření vymažte prosím všechny předchozí záznamy:
pravé spodní tlačítko / file / delete / all exercises

Abychom mohli veškerou kapacitu paměti použít na záznamy nutné pro práci.

Základní nastavení hodinek před zahájením měření:

Nastavení uživatele: *settings / users / weight (váha), height (výška), birthday (datum narození), sex (pohlaví), activity, HR (tepová frekvence)*

Zapnutí měření tepové frekvence „tep po tepu“: *settings / features / RR data / ON*

Interval ukládání dat: *settings / features / Rec. Rate / 1 sec.*

1. Měření klidové variability srdeční frekvence / 4 měření před závodem

Měření se provádí bezprostředně po probuzení (ráno, v případě noční směny po probuzení), po vykonání nezbytných fyziologických potřeb si nasadíte hrudní pás, znovu se lehnete a měříte 12 min. záznam (start / stop) vleže na zádech s rukama podél těla.

Dny měření – středa 22.4. (10 dní před závodem), čtvrtek 30.4. (2 dny před závodem), pátek 1.5. (den před závodem) a 2.5. (den závodu).

2. Záznam v průběhu závodu

Změna nastavení u intervalu ukládání dat: *settings / features / Rec. Rate / 60 s.*

Pokud jste zvyklí nosit snímač TF při závodě, prosím použijte pouze tepový pás od Polaru, který máte zapůjčený, aby se data nerušila se signálem dalšího snímače. Data Vám samozřejmě po závodě poskytnu. Pokud jste zvyklí nosit hodinky s GPS signálem, není zde žádný problém, pokud je použijete bez hrudního pásu.

Před závodem, v 8.45 se sejdem v prostoru vydávání startovních čísel, kde Vás před závodem zvážím a zkontroluju nastavení Vašich hodinek.

3. Měření změn variability srdeční frekvence po zatěži (závodu)

Po Vašem doběhu a všechny nezbytných úkonech (jako je převlečení do suchého, lehké občerstvení) Vás opět zvážím a na 30 min. si lehnete v chatě na Ostrém a naměříte 30 min. záznam.

Změna u intervalu ukládání dat: *settings / features / Rec. Rate / 1 sec.*

Je nutné, aby měření proběhlo pokud možno, co nejdříve po doběhu, omlouvám se Vám tedy za lehké nepohodlí (sprcha, větší občerstvení apod.).

4. Měření změn variability srdeční frekvence po zátěži (24h, 48h)

V následujících dnech ráno, tedy neděle 3.5. a pondělí 4.5., opět po probuzení po vykonání nezbytných fyziologických potřeb si nasadíte hrudní pás, znovu se lehnete a měříte 12 min. záznam (start / stop) vleže na zádech s rukama podél těla.

Interval ukládání dat: *settings / features / Rec. Rate* / **1 sec.**

To je vše, po měření si od Vás sporttestery vezmu zpět, na jejich předání se dohodneme individuálně.

Moc Vám děkuji.

PŘÍLOHA 3

Dotazník aspirace

jméno:										
datum narození:										
tip na výsledek:		h	min.		pořadí / rozmezí					
datum	22.4.2015									
Forma										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nervozita										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
datum	30.4.2015									
Forma										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nervozita										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
datum	1.5.2015									
Forma										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nervozita										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
datum	2.5.2015									
Forma										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nervozita										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

PŘÍLOHA 4

Vyšetření v laboratoři FTK UP – zátěžový test do vita maxima



PŘÍLOHA 5

MČR v skymartonu, 2.5.2015



