

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra etologie a zájmových chovů



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Vliv intenzity pohybového zatížení na variabilitu srdeční
frekvence psa domácího v kontextu pátracích akcí ve
volném terénu**

Diplomová práce

**Bc. Tereza Tupá
Zájmové chovy zvířat**

doc. Ing. Marek Kouba, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv intenzity pohybového zatížení na variabilitu srdeční frekvence psa domácího v kontextu pátracích akcí ve volném terénu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Markovi Koubovi, Ph.D. za pečlivé vedení mé diplomové práce, jeho ochotu a přístup. Dále bych chtěla poděkovat mému odbornému konzultantovi Mgr. Václavu Bittnerovi za myšlenku této diplomové práce, pomoc se zpracováním dat a jeho vstřícnost při této spolupráci. Také děkuji všem těm, kteří mi byli nápomocni při psaní, ať už radou, kontrolou či oporou.

Vliv intenzity pohybového zatížení na variabilitu srdeční frekvence psa domácího v kontextu pátracích akcí ve volném terénu

Souhrn

Pátrací a záchranářští psi jsou nepostradatelnými pomocníky při pátrání po ztracených osobách. Vzhledem k náročnosti jejich práce je ovšem nutné sledovat fyziologické znaky nadměrné únavy. Dobrým ukazatelem je variabilita srdeční frekvence. Cílem této diplomové práce bylo zjistit, jaký vliv má intenzita pohybového zatížení na variabilitu srdeční frekvence psa během pátracích akcí ve volném terénu. Dílčími cíli práce bylo nejdříve nashromáždit aktuální poznatky o monitoringu intenzity pohybového zatížení u pracovních plemen psa. Dále analyzovat současné přístupy k hodnocení záznamů srdeční frekvence psa. Zrealizovat vlastní empirické šetření a na základě zjištěných poznatků vyhodnotit vliv intenzity pohybového zatížení na variabilitu srdeční frekvence. Hypotézou práce bylo, že s přibývajícím mírou pohybového zatížení psa domácího v kontextu pátracích akcí bude variabilita jeho srdeční frekvence klesat, protože je variabilita srdeční frekvence nepřímo úměrná velikosti zatížení organismu.

Empirické šetření probíhalo během simulovaných pátracích akcí na pěti různých lokalitách. Pátrací tým (psovod-pes) absolvoval během dne ideálně tři simulovaná pátrání mezi nimiž měly týmy vždy minimálně hodinovou pauzu. Srdeční frekvence byla měřena pomocí sport-testeru Polar, který zaznamenává interval beat-to-beat, po dobu 15 minut. Měření probíhalo během zmíněných pauz, vždy před a po pátrací akci. Tedy celkově byla srdeční frekvence měřena ideálně šestkrát za den. Naměřená data byla zpracována u 32 psů.

Statistické zpracování experimentálních dat klidové srdeční frekvence bylo realizováno pomocí aritmetického průměru a mediánu. Analýza variability srdeční frekvence byla provedena v časové doméně, a to s využitím směrodatné odchylky po sobě následujících normálních R-R intervalů (*SDNN*) a procentem po sobě jdoucích R-R intervalů lišících se o více než 50 ms (*pNN50*).

Výsledky prokázaly, že střední hodnoty klidové srdeční frekvence byly zvýšené po zátěži a během odpočinku opět klesaly. A dále, že variabilita srdeční frekvence se vlivem pohybového zatížení snížila a během klidu částečně obnovila. Celkově však měla klesající trend. Tato zjištění potvrzují danou hypotézu práce.

Tato diplomová práce potvrdila, že fyzická zátěž typu simulované pátrací akce má vliv na variabilitu srdeční frekvence, která by mohla být dobrým ukazatelem zatížení psa. Její sledování by mohlo poskytnout objektivní posouzení tohoto zatížení, a tím ještě více zefektivnit práci pátracích týmů během reálných pátrání po ztracených osobách.

Klíčová slova: variabilita srdeční frekvence, záchranné pátrací akce, pes domácí, GPS zařízení, polar

Influence of intensity of movement load on heart rate variability of domestic dog in the context of search actions in the open field

Summary

The role of search and rescue dogs (SAR dogs) in the ground search and rescue actions is irreplaceable. Considering demanding conditions during these actions, it is necessary to study physiological factors of dog's fatigue. The heart rate variability (HRV) measurement can bring us relevant data for such study. The purpose of this diploma thesis was to explore the influence of intensity of movement load on heart rate variability of domestic dogs in the context of search actions in the open field. First, it was necessary to study the available knowledge of working dogs movement load intensity monitoring. Secondly, it was needed to analyse current approaches of evaluating dog heart rate measurement data. Finally, an original empirical study to assess an influence of intensity of movement load on heart rate variability of these dogs was conducted. The hypothesis to be assessed was that the heart rate variability of domestic dogs would decrease during ground search and rescue actions in correlation with increasing movement load, so the variability of heart rate is in indirect proportion to the movement load of an organism.

The empirical study was conducted during simulated ground search and rescue actions organised in five different locations. The search and rescue team (a handler and his dog) completed ideally three search actions a day, including at least one hour pauses in between. The heart rate variability was measured with a polar device for fifteen minutes during these pauses – before and after every single search action, so ideally six times a day. Thirty-two dogs' data were processed.

These data were statistically processed using arithmetic mean and median. The heart rate variability analysis was performed in the time domain, using the standard deviation of the proportion of NN50 divided by the total number of NN (R-R) intervals.

The results showed that the mean resting heart rates increased in correlation with increasing movement load and on the contrary decreased during the rest. The results also showed that the heart rate variability decreased due to exercise and partially recovered during the rest. In general, there was a declining trend of heart rate variability in correlation with increasing movement load. These findings confirm the given hypothesis of this diploma thesis.

This diploma thesis confirmed the heart rate variability of domestic dogs is in correlation with a movement load during ground search and rescue actions so HRV measuring can bring us relevant data for physiological factors of dog's fatigue studying and thus help us to make the search teams' work even more effective during real rescue actions.

Keywords: heart rate variability, rescue search action, domestic dog, GPS device, polar device

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vědecká hypotéza a cíle práce.....	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Faktory ovlivňující výkonost pracovního psa.....	3
3.1.1	Fyziologické aspekty únavy u psů.....	5
3.2	Variabilita srdeční frekvence jako ukazatel únavy organismu.....	7
3.3	Monitorování intenzity pohybového zatížení u pracovních plemen psů.....	9
3.3.1	Přehled metod detekce srdeční frekvence u psa.....	10
3.3.2	Matematické metody analýzy srdeční frekvence.....	16
4	Metodika.....	23
4.1	Charakteristika výzkumného souboru.....	23
4.2	Charakteristika sběru dat.....	23
4.3	Experimentální metody.....	25
4.4	Metody statistického zpracování dat.....	26
5	Výsledky.....	28
5.1	Analýza variability střední hodnoty klidové srdeční frekvence.....	28
5.2	Analýza variability srdeční frekvence.....	30
6	Diskuze.....	34
7	Závěr.....	36
8	Literatura.....	37
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	43

1 Úvod

Pes domácí (*Canis lupus familiaris* Linné, 1758) byl domestikován před 11 – 16 000 lety (Freedman et al. 2014). Od té doby se stal našim ochráncem, společníkem, pracovním partnerem i terapeutem. Jeho využití je široké a všechna odvětví, ve kterých je pes využíván, mají stejnou důležitost.

Pro vznik této diplomové práce byli stěžejní pátrací a záchranářští psi. Ti jsou využíváni Policií ČR, Hasičským záchranným sborem ČR, Horskou službou ČR, o.p.s. nebo i dobrovolníky a společně s nimi pomáhají pátrat po ztracených osobách v otevřeném terénu, budovách, sutinách nebo pod lavinami, a tím zachraňovat lidské životy. Aby mohli tuto práci vykonávat, jsou podrobeni speciálnímu výcviku a skládání zkoušek tzv. atestů. Nejčastěji jsou využíváni psi pracovních plemen jako je německý ovčák, belgický ovčák malinois nebo border collie (Moravskoslezský kynologický svaz 2020). Každý takový pes musí mít řadu vlastností, mezi které patří například motivace k nalezení skrytého objektu, schopnost učit se pomocí odměn, tendenci pátrat pouze podle čichu a nenechat se při pátrání rozptýlit – vytrvat při vyhledávání navzdory možným extrémním teplotám, jiným zvířatům, potravě nebo hluku. Pes musí být také dostatečně sebevědomý, aby dokázal hledat samostatně, a musí být schopen zvládat různé povrchy či tmavé tunely (Hare et al. 2018).

Vzhledem k náročnosti práce je potřeba dbát na dobrou kondici pátracích a záchranářských psů i kvůli tomu, aby byla jimi odvedená práce kvalitní. Variabilita srdeční frekvence je potom dobrým nástrojem pro kontrolu adaptability organismu, zdraví jedince a správné funkčnosti kontrolních mechanismů autonomního nervového systému, který řídí reakce těla na vnější i vnitřní podněty a zajišťuje tak fyziologickou stabilitu jedince (Pumprla et al. 2002). Mimo jiné může být variabilita srdeční frekvence také indikátorem přizpůsobení se zátěži a následnému zotavení, díky čemuž je využívána u sportovců k hodnocení aspektů jako je délka a intenzita cvičení, tréninková zátěž nebo možné přetřénování jedince (Carrasco-Poyatos et al. 2020). Stejně tak jako u sportovců by mohla být variabilita srdeční frekvence využívána u pracovních psů, což by mohlo vést i ke zkvalitnění práce v terénu při pátrání po ztracených osobách.

Analýza srdeční frekvence představuje neinvazivní formu zkoumání, je již dobře zavedeným nástrojem v kardiologickém výzkumu a je využívána stále více (Pumprla et al. 2002).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zjistit, jaký vliv má intenzita pohybového zatížení na variabilitu srdeční frekvence psa domácího během pátracích akcí ve volném terénu.

Dílčí cíle:

- Shromáždit aktuální poznatky o monitorování intenzity pohybového zatížení pracovních plemen psa domácího.
- Analyzovat současné přístupy k hodnocení záznamů srdeční frekvence pracovních plemen psa domácího.
- Zrealizovat vlastní empirické šetření zaměřené na porovnání změn ve variabilitě srdeční frekvence pracovních plemen psa domácího během pátracích akcí ve volném terénu.
- Na základě zjištěných poznatků zhodnotit, jakým způsobem intenzita pohybového zatížení ovlivňuje variabilitu srdeční frekvence psa domácího.

Hypotézou práce je H1: „S přibývajícím mírou pohybového zatížení psa domácího v kontextu pátracích akcí bude variabilita jeho srdeční frekvence klesat, protože variabilita srdeční frekvence je nepřímo úměrná velikosti zatížení organismu.“

3 Literární rešerše

Počátky využití psů k vyhledávání a záchraně osob se datují již do 17. století (Search and Rescue Dog Association Scotland 2021) a jsou založeny na vynikající čichové schopnosti psů. Ti tvoří se svými psovody, kteří jsou obvykle také jejich majiteli, trenéry i společníky, pátrací tým schopný zasahovat jak na místě činu, při pátrání po pohřešované osobě, nebo i například u přírodních katastrof. Kvantifikaci výkonu takového pátracího týmu při detekci ovšem omezují jak environmentální, tak biologické faktory (Shivik 2002; Jones et al. 2004).

3.1 Faktory ovlivňující výkonost pracovního psa

Mezi environmentální faktory ovlivňující výkon služebního psa při práci lze zahrnout směr a rychlost větru, vlhkost nebo teplotu mající vliv na způsob, jakým se pach pohybuje vzduchem (Shivik 2002; Jones et al. 2004). Pachové molekuly mají totiž obvykle vyšší hustotu než vzduch a nižší hustotu než voda. Teplota potom může způsobovat zdvihání nebo naopak klesání pachu a dále vznik tzv. bazénů. Vlhkost může naopak zhoršit šíření pachu (Zeagler et al. 2016). Pro úspěšné vyhledávání je důležitou součástí také porozumění dynamice větrných proudů (Jones et al. 2004). Schopnost detekce lidského pachu psem při vyhledávání v lavinách ovlivňuje také složení sněhu a hloubka zasypání osoby (Diverio et al. 2016). Vysoká teplota může ovšem ovlivnit i psa samotného. V kombinaci cvičení a omezeného ochlazování odpařováním pomocí zrychleného mělkého dýchání může docházet k fyziologickým změnám ovlivňujícím schopnost psa pracovat delší dobu a je nutný jeho častý odpočinek. Lze tedy předpokládat, že s rostoucí teplotou dochází k snížení jeho výdrže (Robbins et al. 2017). Vzhledem k tomu, že hlavním prostředkem pro ochlazení těla je odpařování dýcháním, dochází v důsledku zrychleného dýchání ke snížení frekvence očichávání, a tím i snížení účinnosti čichové práce psa, například při detekci výbušnin. Psi se ovšem dokážou přizpůsobit práci v těchto náročných fyziologických stavech způsobených extrémní fyzickou aktivitou. Toto přizpůsobení potom může snížit omezení výkonu psa při takto namáhavé práci. Lze toho dosáhnout také vhodným výcvikem psa (Gazit & Terkel 2003). Významný vliv na energetický výdej psa má mimo jiné také stav povrchu, terén, sklon terénu, vegetace anebo nadmořská výška (Ahlstrom et al. 2006; Menchetti et al. 2022).

Biologický faktor představuje pes samotný, na kterého má mimo jiné vliv stres a do značné míry i psovod (Shivik 2002; Jones et al. 2004; Cablk et al. 2008). Emoční a fyzické stresové faktory před a během pátrání, stejně jako nervozita psovoda, negativně ovlivňují efektivitu pátracích psů. Na základě analýzy metabolitu fekálního kortizolu byla vyhodnocena stresová reakce pátracího psa během tréninku. Při cvičení byly pozorovány vyšší koncentrace metabolitu kortizolu v porovnání s hodnotami naměřenými před cvičením, kdy byli psi doma. Přičemž typ aktivity při tréninku významně ovlivnil hladinu tohoto stresového hormonu. Nejvíce to byly lety helikoptérou, poté samotný výcvik, a nakonec dny příjezdu a odjezdu. Mezi koncentracemi metabolitu kortizolu naměřenými doma a během dne odpočinku v místě tréninku nebyly pozorovány významné rozdíly. Při ostré akci potom zkušený pes vykazoval zvýšení koncentrace metabolitu kortizolu až 2,5krát. K fyziologickým hodnotám se tato koncentrace navrátila po 12 hodinách. Za důležité faktory ovlivňující zmíněnou koncentraci patří především předchozí zkušenost psa, ale i psovoda, věk psa, jeho temperament a pohlaví

(Slotta-Bachmayr & Schwarzenberger 2007). Výsledky studie Liteho et al. (2010) poukazují na interakci mezi stresem psovoda a fyziologickými reakcemi psa. Koncentrace kortizolu ve slinách psovoda pozitivně korelovala s tepovou frekvencí a teplotou psa po certifikačním testování. Naproti tomu koncentrace testosteronu u psovoda negativně korelovala se srdeční frekvencí psa. Ve Slotta-Bachmayrovo & Schwarzenbergerovo (2007) studii také pozorovali významný rozdíl v úrovni stresu psa při cvičení a reálné pátrací akci, přičemž jediným rozdílem byl pravděpodobně stres, který prožíval a projevoval psovod. Psi své psovody dobře znají, orientují se na ně, zapojují je do řešení problému a podle projevené nervozity psovoda patrně odhadují, zda je situace nebezpečná (Miklósi et al. 2000). Bylo prokázáno, že zkušenost majitele souvisí i s výkonem psa při zkouškách a také s jeho plachostí a odvážností. Úroveň plachosti nebo naopak smělosti psa je spojena s úrovní výkonu. Dále byl také u německých ovčáků nalezen vztah mezi osobností psa a věkem, kdy úspěšně složí zkoušky, přičemž odvážnější psi dosahovali úspěchu v mladším věku. Mezi psy úspěšnými v různých typech zkoušek, jako je například vyhledávání, stopování nebo obrana, nebyly pozorovány rozdíly v úrovni jejich odvážnosti. To naznačuje, že osobnostní rozměr psa předurčuje trénovatelnost obecně (Svartberg 2001).

V současné době ovšem neexistuje standardizovaná metoda hodnotící efektivnost pátracích psů. Pokus o kvantifikaci efektivity pátracího psa v plošném vyhledávání představila studie Greatbatche et al. (2015). Celkově byla v této studii vyhodnocena úspěšnost pátracích psů, která je definovaná jako počet nalezených osob/celkový počet hledaných osob, na 76,4 %. Zatímco efektivita, která je považována za míru, v jaké je pes úspěšný v dosahování cíle a je definována jako počet nalezených osob/celkový počet osob + falešná značení, představovala 62,9 %. Nutné je podotknout, že tato efektivita spočívá i ve značné míře na psovodovi, který může i nevědomě ovlivňovat chování psa. Pro prověření možných souvislostí mezi mírami úspěšnosti a měřenými environmentálními faktory autoři použili Pearsonův korelační test. Výsledky tohoto testu ukazují zanedbatelný vztah mezi vlhkostí, teplotou, rychlostí větru a úspěšností psa při vyhledávání. Navzdory obecnému názoru, že teplota i rychlost větru má dominantní vliv na výkon psa při vyhledávání. Možným vysvětlením tohoto výsledku studie je naměřená nízká rychlost větru (4,9 m/s) při experimentu, která nemusela být dostatečně silná, aby výrazně ovlivnila výkon psa. Dále byla zjištěna statisticky nevýznamná pozitivní korelace mezi věkem psa a efektivitou jeho pátrání. Tato nevýznamnost může dle autorů souviset s malou velikostí vzorku (10 pátracích týmů). Autoři dále doporučují pro úplnější obraz o základní efektivitě psa při vyhledávání pohřešovaných osob provést další experimenty s větším zastoupením plemen, rozdílných míst a podmínek prostředí (Greatbatch et al. 2015).

Je dáno, že pes musí být schopen pracovat v terénu 4–8 hodin bez jakéhokoliv rozptylování, například divokou zvěří (Zeagler et al. 2016). Studie Schneidera et al. (2009) prokazuje, že vycvičení záchranářští a pátrací psi jsou velmi cennými pomocníky při vyhledávání zavalených osob, a to i při tří denních pátracích akcích, aniž by vykazovali známky fyzického nebo psychického vyčerpání. Nutné je podotknout, že psi absolvovali každý den čtyři dvacetiminutová vyhledávání, mezi nimiž měli vždy hodinovou pauzu. Ačkoliv je pes schopen pracovat ve vysokém výkonnostním tempu, je důležité si uvědomit, že toho není schopen nepřetržitě (Greatbatch et al. 2015). Proto je velmi podstatné sledovat behaviorální i fyziologické ukazatele, abychom mohli předejít nadměrné zátěži psa při výkonu práce.

3.1.1 Fyziologické aspekty únavy u psů

Cvičení vyvolává řadu fyziologických změn různého rozsahu v závislosti na charakteru cvičení jako je jeho doba trvání a intenzita, a dále také na trénovanosti a kondici psa (Rovira et al. 2008). Vzhledem k náročnosti práce, kterou vykonává pátrací pes, je nutné dbát na jeho dobrou fyzickou kondici. Jelikož pes při pátrání po pohřešovaných osobách pokrývá velké oblasti s často špatně prostupným terénem či náročnými povětrnostními podmínkami (Diverio et al. 2016). Kondice pracovního psa je kombinací kardiopulmonálních funkcí, rovnováhy, propriocepce, svalové síly, flexibility a vytrvalosti. Přičemž vytrvalost je definována jako schopnost odolat vysoce energeticky náročné činnosti po dlouhou dobu. Faktorem souvisejícím s výdrží psa je také plemeno (Robbins et al. 2017).

Za účelem posouzení svalové námahy psa jsou měřeny plazmatické hodnoty kreatinkinázy, laktátdehydrogenázy, aspartátaminotransferázy a neesterifikovaných mastných kyselin (Rovira et al. 2008; Diverio et al. 2016). Přičemž kreatinkináza je prvním enzymem objevujícím se v krvi v důsledku poškození svalových buněk a stejně rychle opět mizí (Nelson & Cox 2002). Dočasné zvýšení této hladiny může představovat přítomnost akutního stavu svalové námahy (Diverio et al. 2016). Zvýšení koncentrace kreatinkinázy a neesterifikovaných mastných kyselin u psů po čtyřhodinovém pátracím cvičení dokládá například studie Spooa et al. (2015). Přičemž vzestup hladiny neesterifikovaných mastných kyselin během vyhledávání a transportu pracovních psů a následný pokles v klidu naznačují mobilizaci tuku k produkci energie (Spoo et al. 2015; Diverio et al. 2016). Pozorováno bylo i zvýšení sérové kyseliny močové (Spoo et al. 2015).

Mezi fyziologické změny krevních hodnot v důsledku krátkodobého intenzivního cvičení dále patří zvýšení hladiny laktátu, které odráží intenzitu cvičení a tuto míru zvýšení lze tréninkem upravit, dále zvýšení hematokritu (procentuální vyjádření objemu červených krvinek v celkovém objemu krve), hemoglobinu a glukózy (Rovira et al. 2008; Robbins et al. 2017). Ve studii Rovireho et al. (2008) došlo po dvacetiminutovém cvičení naopak ke zvýšení hladiny inzulínu pravděpodobně související s nevýznamným snížením plazmatické koncentrace glukózy. Podle autorů může toto zvýšení plazmatické hladiny inzulínu souviset s délkou cvičení. Zpět na klidové hodnoty se snížila hladina inzulínu po pěti minutách odpočinku. Fyziologickou reakcí na zátěž je pravděpodobně také zvýšený počet bílých krvinek (Rovira et al. 2008).

Koncentrace celkového proteinu a kreatininu mohou představovat indikátory stavu hydratace organismu. Zvýšená hladina kreatininu může být také spojena s jeho zvýšenou produkcí prostřednictvím svalového katabolismu během cvičení (Rovira et al. 2008). U saňových psů po pětidenním vytrvalostním cvičení byla pozorována snížená koncentrace celkového proteinu v séru. Mezi možné příčiny tohoto snížení patří mimo jiné například katabolismus plazmatických bílkovin na energii, ztráta bílkovin ledvinami a gastrointestinálním traktem nebo stav snížené imunity v důsledku zvýšené zátěže. Dále byla pozorována zvýšená koncentrace srdečního troponinu-I. Je však pravděpodobné, že se u saňových psů může jednat o normální proces, který nemusí odrážet významné a nevratné poškození srdce. Zdá se, že tyto psi jsou úspěšně adaptovaní na dlouhodobé vytrvalostní cvičení s vhodnou dietou (McKenzie et al. 2007).

V souvislosti s fyzickou únavou po vyhledávání dochází dále také ke zvýšení respirační frekvence a tělesné teploty (Robbins et al. 2017; Lopedote et al. 2020). Mezi těmito parametry byla prokázána významná pozitivní korelace (Rovira et al. 2008). Vliv na ně mohou mít i proměnné prostředí, konkrétně okolní teplota a vlhkost. Respirační frekvence se zvyšuje během a po cvičení nejen kvůli termoregulaci psa, ale také z důvodu kompenzace zvýšené potřeby kyslíku nutného k uvolnění energie (Lopedote et al. 2020). Zvýšenou rektální teplotu, například po propátrávání terénu psem lze očekávat, jelikož svalová práce vede k tvorbě velkého množství tělesného tepla (Rovira et al. 2008). Ve studii Rovireho et al. (2008) došlo u psa po dvacetiminutovém propátrávání terénu ke zvýšení rektální teploty i respirační frekvence, u které byly nejvyšší hodnoty pozorovány pět minut po zátěži. Zvýšení obou parametrů přetrvávalo po měřenou třicetiminutovou dobu zotavení.

Fyzická aktivita také způsobuje změny v kardiovaskulárním systému psů v závislosti na fyzické kondici psa a charakteru cvičení. Důležitým ukazatelem dobré fyzické kondice psa, zejména těch podrobených rezistentní práci, je srdeční frekvence v období zotavení po fyzické námaze (Santos et al. 2018). Srdeční frekvence má totiž tendenci rychle klesat během prvních minut po fyzické zátěži a následně se nadále zpomalovat (Reece 2011). Proto zvíře s rychlým snížením srdeční frekvence bude mít lepší kondici než jiné, u kterého bude po zátěži pozorováno pomalejší snížení hodnot srdeční frekvence. Zhoršená regenerace srdeční frekvence také může poukazovat na vyčerpání zvířete (Munoz et al. 2006). Ve studii Santose et al. (2018) byly naměřené hodnoty srdeční frekvence u psů, bezprostředně a pět minut po dvacetiminutovém cvičení, podobné výchozím hodnotám před cvičením, což poukazuje na dobrou kondici těchto pátracích a záchranných psů. Výsledky studie Rovireho et al. (2008) poukazují na zvýšení srdeční frekvence po pátrání oproti klidovým hodnotám a její významný pokles po patnácti minutách odpočinku. Průměrné hodnoty srdeční frekvence ovšem zůstaly zvýšené oproti klidové frekvenci až do měření po třiceti minutách klidu. Ve studii Diveria et al. (2016) hodnoty srdeční frekvence byly ve fázi zotavení po pátrací akci dokonce významně nižší než výchozí hodnoty naměřené u psa před pátráním. To bylo pravděpodobně způsobeno vzrušením psa před prací. Rychlé zotavení psa naznačuje jeho bezpečné použití v rámci rozšířených pátracích a záchranných akcí. Zvýšenou srdeční frekvenci u psa před prací v terénu v důsledku vzrušení v porovnání s jeho klidovými hodnotami měřenými doma 24 hodin před akcí dokládá také studie Lopedoteho et al. (2020). Ve srovnání s těmito klidovými hodnotami vykazovala zvýšení i srdeční frekvence psa pět minut po zátěži, která odrážela intenzitu cvičení bez ohledu na podmínky prostředí. Z tohoto důvodu autoři usuzují, že je srdeční frekvence oproti ostatním parametrům nejvíce podmíněna cvičením, a je tedy pravděpodobně nejužitečnější pro hodnocení predispozice psa pro danou práci. Monitorování srdeční frekvence během vytrvalostního cvičení může být také důležité z hlediska začlenění tréninkových protokolů, organizací pracovních a odpočinkových cyklů, pohody psů a jejich zdraví (Menchetti et al. 2022). Výhodou u měření srdeční frekvence je také její neinvazivnost.

3.2 Variabilita srdeční frekvence jako ukazatel únavy organismu

Jak již bylo zmíněno, autonomní nervový systém dynamicky řídí reakce těla na vnější a vnitřní podněty a udržuje tak fyziologickou stabilitu jedince. Tyto změny jsou zprostředkovávány pomocí sympatiku a parasympatiku (Pumprla et al. 2002). Sympatikus inervuje srdce pomocí eferentních vláken hvězdicových ganglií sympatického kmene, parasympatikus inervuje srdce prostřednictvím vláken nervu vagu (Reece 2011). Sympatická aktivace vede ke zvýšení srdeční frekvence a rychlosti vodivosti systému spolu se zvýšením stažitelnosti srdeční svaloviny (Pumprla et al. 2002). Organismus tak reaguje při stresu, fyzickém výkonu nebo při srdečních chorobách (Acharya et al. 2006). To vše je zajištěno pomocí uvolňování hormonu noradrenalinu. Ten je pomalu zpětně absorbován a metabolizován, proto mají změny pomocí sympatické aktivity pomalejší průběh. Naproti tomu parasympatikus zpomaluje srdeční frekvenci pomocí uvolňování neurotransmiteru acetylcholinu, který pracuje velmi rychle, což umožňuje parasympatickému nervovému systému regulovat srdeční frekvenci na principu beat-to-beat (od úderu k úderu). Vzhledem k popsané rozdílnosti funkcí neurotransmiterů mají jednotlivé složky nervové soustavy tendenci pracovat na různých frekvencích, čehož lze využít k identifikaci a kvantifikaci odchylek srdeční frekvence (Pumprla et al. 2002). Variabilita srdeční frekvence poskytuje spolehlivý obraz mnoha fyziologických faktorů, které modulují srdeční frekvenci, a je tedy účinným prostředkem pro sledování rovnováhy mezi sympatickým a parasympatickým systémem (Acharya et al. 2006). Ačkoliv sympatikus zvyšuje srdeční frekvenci, tak její variabilitu naopak snižuje. Parasympatikus snižuje srdeční frekvenci a zvyšuje její variabilitu (Berntson et al. 1997). Variabilita srdeční frekvence také dále slouží pro zhodnocení zdraví a adaptability jedince (Pumprla et al. 2002). Nebo také ke studiu vlivu emocí na psy, a to nejen během sociálních interakcí, ale i po nich (Varga et al. 2018).

Variabilita srdeční frekvence je definována jako četností kolísání srdečních stahů kolem jejich běžné průměrné hodnoty (Acharya et al. 2006). Popisuje časové rozdíly v intervalech mezi po sobě následujícími srdečními údery (R-R interval viz obrázek č. 1, z anglického výrazu „interbeat interval – IBI“), jejichž elektrokardiografickým měřením je obvykle hodnocena (Camm et al. 1996).

Zvýšená variabilita srdeční frekvence svědčí o nízkém stresu a dobrém zdraví, zatímco nízká variabilita poukazuje na chronické onemocnění a vysoké kardiovaskulární riziko (Tsujii et al. 1996). Fyziologicky je variabilita srdeční frekvence ovlivňována nejen autonomním nervovým systémem, ale i kardiovaskulárním systémem, centrálním nervovým systémem, endokrinním systémem, baroreceptory a chemoreceptory (Shaffer et al. 2014). Cyklicky je potom ovlivňována respirační sinusovou arytmií. Jedná se o vliv dýchání na sinoatriální uzel srdce, kdy dochází k okamžitému zvýšení srdeční frekvence během nádechu a následujícím snížení během výdechu (Berntson et al. 1997, Hayano & Yasuma 2003). Tyto změny ve variabilitě srdeční frekvence mohou fungovat jako smyčka pozitivní zpětné vazby, která dále variabilitu zvyšuje zpětnou vazbou ze srdce do centrálního nervového systému prostřednictvím vagálního aferentního systému (Lehrer & Gevirtz 2014). Dalšími fyziologickými faktory majícími vliv na velikost variability srdeční frekvence u psů jsou věk, pohlaví, plemeno nebo temperament (Cruz Aleixo et al. 2017). Studie Baisana et al. (2020) tento fakt ovšem vyvrací na základě výsledků časové a frekvenční domény variability srdeční frekvence hodnocených

z krátkodobých pětiminutových záznamů u 79 zdravých psů malých a středních plemen. Jejich výsledky naznačují, že věk nevyvolává významné změny v rovnováze autonomního nervového systému a výsledky mezi pohlavími také nevykazují statistickou významnost. Dále tvrdí, že výsledky variability srdeční frekvence neovlivňuje ani reprodukční stav zvířete nebo denní doba, během které je záznam měřen. Oproti tomu vliv emočního stavu psa na změny ve variabilitě srdeční frekvence potvrzuje hned několik studií (Katayama et al. 2016; Nakahara et al. 2016).

Variabilitu srdeční frekvence lze jednoduše získat z měření elektrokardiografie (dále jen EKG) a srdeční frekvence (viz kapitola 3.2.1 Přehled metod detekce srdeční frekvence). Indexy variability srdeční frekvence lze potom studovat v čase (statistická studie) a ve frekvenční oblasti (viz kapitola 3.2.2 Matematické metody analýzy srdeční frekvence). Tyto indexy variability srdeční frekvence jsou cenným neinvazivním nástrojem, kterým lze studovat reflexy kardiovaskulární regulace během nebo po cvičení, čímž nám poskytují informace o přetrénování organismu, rozdílů mezi pohlavími nebo účinky stárnutí atp. Syndrom přetrénování je důsledkem dlouhodobého stresu nebo dlouhodobé nerovnováhy mezi tréninkem a časem pro zotavení. Následkem toho dochází k hormonálním změnám působícím na autonomní nervový systém, který je potom v nerovnováze (Aubert et al. 2003). Krátkodobé přetrénování je pravděpodobně spojeno s nedostatečným metabolickým zotavením, které má za následek pokles hladiny adenosintrifosfátu (ATP), zatímco systémové přetrénování se připisuje selhání hypotalamu vyrovnat se s celkovým množstvím stresu a námahy. Klinicky můžeme rozlišovat sympatickou a parasympatickou formu, které vyjadřují různá stádia přetrénování v čase (Kuipers 1998). V rané fázi přetrénování dochází k neustálým změnám v sympatickém systému, přesunu sympato-vagové rovnováhy na stranu sympatiku, redukuje se aktivita nervu vazu, a tím dochází ke snížení variability srdeční frekvence. V pozdější fázi, tzn. již v pokročilém přetrénování, je naopak aktivita sympatického systému velmi nízká a dochází k „vyhasnutí“ autonomního nervového systému (Kuipers 1998, Lehnert et al. 2014).

Reakce na vytrvalostní zátěž jsou individuální, jak dokládá například studie Hautali et al. (2009), která také popisuje, že tato interindividuální variace adaptace na trénink může být závislá na výchozí úrovni autonomního nervového systému, zejména na vagové aktivitě. Míru zatížení organismu, především její intenzitu a trénovanost jedince lze totiž determinovat podle rychlosti zotavení aktivity nervu vazu (Lehnert et al. 2014). U hodnocení variability srdeční frekvence je nutné vzít v potaz, že obnovení funkce autonomního nervového systému na základní úroveň se může pohybovat i kolem několika hodin po aerobním cvičení s vysokou intenzitou. Navíc druhý den po dlouhodobém cvičení dochází k výraznému výkyvu změněné autonomní regulace (Hautala et al. 2001). Dále je také nutné mít na vědomí, že může docházet ke špatnému zhodnocení vagové aktivity v důsledku již výše zmíněné respiratorní sinusové arytmie. Ta může být ovlivněna zpomaleným a prohloubeným dýcháním, které způsobuje zvětšení respiratorní sinusové arytmie, zatímco zrychlené dýchání může respiratorní sinusovou arytmií zcela eliminovat. Tyto změny ovšem nesouvisí se změnou aktivity nervu vazu (Grossman et al. 1991).

Pokud tyto poznatky převedeme do praxe, znamená to, že když je variabilita srdeční frekvence (měřená každý den ve stejnou dobu) u jedince zvýšená nebo neměnná, je možné ho podrobit vysokému tréninkovému zatížení. Zatímco pokud je pozorován významný pokles variability srdeční frekvence (pod průměrnou hodnotu nebo má klesající charakter po dobu

dvou dnů), a tudíž snížený vagální tok, který poukazuje na nedostatečné zotavení po předchozí aktivitě, je nutný odpočinek či snížení zátěže (Kiviniemi et al. 2007). Takto lze tréninkové dávky upravovat, aby se vagová aktivita držela na vysoké a relativně stabilní úrovni, čímž lze maximalizovat tréninkovou odezvu a zabránit chronické únavě (Botek et al. 2013).

3.3 Monitorování intenzity pohybového zatížení u pracovních plemen psů

Parametry založené na pohybu mohou monitorovat obecnou úroveň fyzické aktivity nebo energetické námahy (Ladha et al. 2018). Monitorovací systémy mají využití v polních podmínkách pro sledování fyzické zdatnosti pátracích a záchranářských psů a zároveň tak přispívají k indikaci rizikových faktorů fyzického stresu. Nalezení parametrů, které představují znak zdatnosti nebo indikátory schopnosti vyrovnat se s psychofyzickou zátěží u záchranářských psů, by mohlo být nástrojem ke zlepšení jejich tréninku, výkonu a v neposlední řadě i pohody (Menchetti et al. 2022).

Global Positioning System či globální polohovací systém (GPS) využívají sportovci již nějaký čas jako tréninkový nástroj pro měření polohy, vzdálenosti nebo rychlosti během tréninku (Witte & Wilson 2005). Tento systém lze ovšem využít i pro kvantifikaci výkonu pracovních psů. Studie Ahlstroma et al. (2006) s loveckými psy zaměřená na měření rozdílů energetického výdeje a obratu vody v těle při různých běžeckých podmínkách, jako je běh při lovu, silniční běh v postroji a běh na běžícím pásu ukázala, že GPS přístroje dokážou přesně měřit uběhlou vzdálenost. Ušlá vzdálenost je potom pravděpodobně hlavním faktorem, který ovlivňuje vynaloženou energii psa. Studie byla prováděna ovšem pouze na dvou psech, proto je nezbytné výsledky interpretovat obezřetně. Ve studii Earlye et al. (2016), se tímto způsobem pokusili kvantifikovat výkon pracovních honáckých psů. Pro každého psa byla analyzována vzdálenost, kterou ušel za den, a následně jeho ušlá vzdálenost za celé období výzkumu. Průměrné a maximální rychlosti byly zaznamenávány pouze v domácím prostředí (bouda, dvůr). A také byla sledována doba, po kterou je GPS schopno zaznamenávat data, než se vybijí baterie. Výdrž baterií se pohybovala okolo sedmi hodin. Pro psy, kteří pracovali v terénu mnohdy i více než deset hodin, byla tedy životnost baterie nedostačující. Hodnoty srdeční frekvence kvůli častým ztrátám kontaktu elektrod s pokožkou psa nebylo možné analyzovat. Výsledky poukazují na to, že tito psi byli schopni uběhnout více než 45,7 km za den, přičemž průměrně urazili 29,6 km. Opakovaná měření by mohla identifikovat věk, ve kterém psi dosahují svého atletického vrcholu, a mohla by pomoci dospělým psům prodloužit jejich výkonnost i přes sníženou zdatnost spojenou s věkem. V další studii bylo na základě měření GPS zjištěno, že psi urazili 2,4krát delší průměrnou vzdálenost než jejich psovodi, přičemž jejich průměrná rychlost se shodovala s průměrnou rychlostí chůze psovoda (Greatbatch et al. 2015).

O využití GPS pro posouzení fyziologie psů při pracovních podmínkách v terénu pojednává i studie Hampsona & McGowana (2007). Zde bylo použito zařízení GPS s integrovaným monitorem srdeční frekvence k měření a zaznamenávání polohy, rychlosti, vzdálenosti a tepové frekvence na celkem sedmi honáckých psech plemene Kolie, Kelpie a jejich kříženců během deseti cvičení při obvyklém nahánění skotu. Důležité je podotknout, že tato aktivita je sezónního charakteru a psům tedy neposkytuje pravidelný trénink, nýbrž

přibližně čtyřikrát až šestkrát ročně jediné aktivní období pro rozvoj kardiovaskulární kondice. Údaje o rychlosti, vzdálenosti, nadmořské výšce a poloze byly zařízením GPS zaznamenávány v intervalech 1 sekundy, zatímco srdeční frekvence byla měřena nepřetržitě. Naměřená vzdálenost, kterou psi ušli, se pohybovala od 13 do 30,2 km. Časový interval, za který tuto vzdálenost překonali, se pohyboval od 2 do 4 hodin a 24 minut. Maximální rychlost psů byla 43,7 km/h a maximální hodnota srdeční frekvence činila 237 úderů za minutu („beat per minute – bpm“), přičemž mezi rychlostí psů a jejich srdeční frekvencí byl zaznamenán pozitivní lineární vztah. Ačkoliv srdeční frekvence psů byla přes 50 % času nad 180 bpm a okolní teplota dosahovala 38 °C, nebyly na psech pozorovány známky únavy. GPS zařízení se zde ukázalo být spolehlivým zdrojem sledovaných údajů, aniž by mělo vliv na výkon psa.

Jak již bylo zmíněno výše, vysoká okolní teplota může významně ovlivňovat psa během práce. Ohrožení jsou zejména vojenští pracovní psi během tréninku nebo misí. Pro odhad pracovního vytížení mohou být využívány akcelerometry umístěné v obojku, senzory audio záznamníku pro sledování dechové frekvence anebo právě systém GPS. Výsledky studie provedené na 48 vojenských pracovních psech potvrzují, že je možné získat užitečné odhady úrovní aktivity a dechové frekvence na základě měření výše zmíněných snímačů (Williamson et al. 2016).

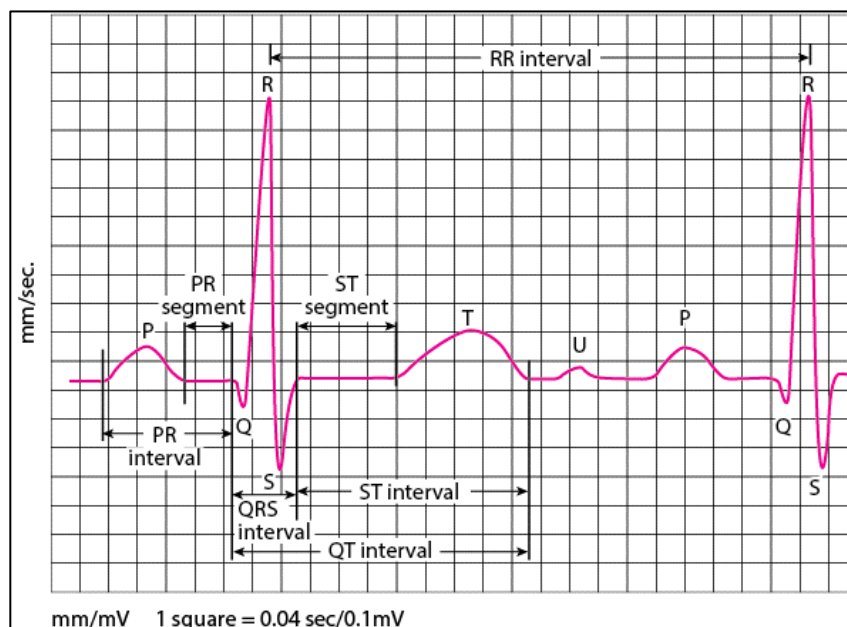
Výhodou zařízení GPS je jeho nízká váha (110 g) a také fakt, že není invazivní (Hampson & McGowan 2007). Ovšem v důsledku narušení spojení se satelity může také docházet ke ztrátě dat, resp. jejich nezaznamenání (Early et al. 2016). Ze stejného důvodu není možné měření pomocí GPS ve vnitřních prostorách (Ladha et al. 2018). Jak již bylo zmíněno výše, intenzitu zatížení psa můžeme pomocí GPS odhadovat na základě fyzikálních veličin jako je uražená vzdálenost nebo například rychlost pohybu. Taktéž je možné pracovat s časovou osou. Míra celkového pohybového zatížení je pak dána časem stráveným danou pohybovou aktivitou (např. pátráním). Dalším způsobem, kterým lze monitorovat intenzitu pohybového zatížení nejen při pohybu, je monitoring srdeční frekvence, který je podrobněji popsán níže.

3.3.1 Přehled metod detekce srdeční frekvence u psa

Monitorovací období srdeční frekvence se může pohybovat v rozmezí od 2 minut (ultrakrátké záznamy), přes 5 minut (krátkodobé záznamy) až do 24 h. Přičemž dlouhodobý 24h záznam zahrnuje cirkadiánní rytmus, spánkový cyklus a představuje reakci kardiovaskulárního systému na širší škálu podnětů či pracovní vytížení. Nelze proto 24hodinová a krátkodobá měření variability srdeční frekvence navzájem nahrazovat (Shaffer & Ginsberg 2017). Ke zlepšení standardizace mezi studiemi pro měření variability srdeční frekvence byly doporučeny pětiminutové záznamy (von Borell et al. 2007). Pro monitoring srdeční frekvence u psů existuje hned několik zařízení, která lze využít. Jejich popis s výhodami a nevýhodami je uveden níže.

- **EKG**

Elektrokardiografie (EKG) je neinvazivní, široce používaná technika graficky znázorňující elektrickou aktivitu srdeční svaloviny, která na záznamu (elektrokardiogramu) vytváří charakteristické křivky a kmity (viz obrázek č. 1) (Baatz 2006).



Obrázek č. 1: EKG křivka.

(<https://www.msmanuals.com/professional/cardiovascular-disorders/cardiovascular-tests-and-procedures/electrocardiography>)

Tyto charakteristické výchylky souvisejí s depolarizací a repolarizací předsíní a komor srdce. Prvním výkyvem zobrazeným na elektrokardiogramu je vlna P, která představuje depolarizaci předsíní, po níž následuje kontrakce síní (Reece 2011). Střední část vlny P vzniká při dokončení aktivace pravé síně a začátku aktivace levé síně. Tato výchylka je malá a zaoblená a předchází komplexu hrotnatých kmitů QRS. Mezi nimi je hodnocen interval PR (viz obrázek č. 1). Ten představuje časový interval potřebný pro průnik elektrického impulsu ze síní až k počátku depolarizace komor (Khan 2005).

Následující komplex QRS zaznamenává pozitivní (směrem nahoru) i negativní (směrem dolů) výkyvy související s depolarizací komor, po ní opět následuje kontrakce komor (Reece 2011). Mezi koncem toho komplexu QRS a začátkem následující vlny T se nachází segment ST (obrázek č. 1). Ten informuje o okamžiku, kdy jsou všechny části komor depolarizovány, nebo také o fázi, kdy jsou vyrovnány elektrické síly končící depolarizace a začínající repolarizace, které se navzájem neutralizují. Za normálních okolností tento segment ST přechází plynule do vzestupné části vlny T. Tento přechod by neměl být vodorovný ani vytvářet se vzestupnou částí ostrý úhel (Khan 2005).

Posledním výkyvem je vlna T, která představuje repolarizaci komor (Reece 2011). Je od komplexu QRS, který jí bezprostředně předchází, oddělena časovým intervalem konstantním pro každou křivku EKG. Pochody, které souvisejí se vznikem vlny T, spotřebovávají energii na rozdíl od vzniku komplexu QRS. Metabolické činnosti svalových buněk a energie je potřeba

při repolarizaci pro přesun iontů. Proto může být repolarizace a konfigurace vlny T ovlivněna metabolickými, fyziologickými nebo hemodynamickými okolnostmi. Příčinami změn tvaru vlny T může být například pití ledové vody, cvičení, hladovění, polykání jídla, infekční onemocnění, poruchy iontové rovnováhy nebo například horečka. Po vlně T může následovat ještě vlna U, jejíž původ je nejasný a je patrná na záznamech EKG jen u některých jedinců (Khan 2005). Křivky zaznamenané na elektrokardiogramu jsou sledovány od stejné úrovně nazývané jako izoelektrická linie a jsou měřeny v milivoltech (mV) (Reece 2011).

K zhotovení elektrokardiogramu je nutné, aby byl pes uložen do standardní polohy na pravém boku. Kontrola srdečního rytmu je možná v kterémkoli postoji (Baatz 2006). Například ve studii Hantona & Rabemampianina (2006) byl záznam EKG u psů prováděn ve stoje nebo v houpací síti tak, že končetiny procházely otvory sítě a rozdíl mezi těmito dvěma technikami byl takový, že oproti poloze ve stoje byla hmotnost psa podepřena hrudníkem spočívajícím na síti. Použití této techniky výrazně usnadňuje záznam EKG ve stoje. Ačkoliv autoři uvádějí, že v důsledku stlačení hrudníku psa sítí došlo k úpravě srdeční osy, která vyjadřuje směr vektoru elektrické srdeční aktivity.

Při měření jsou používány elektrody označené barvou a písmeny, které se psovi upevňují buď krokodýlkovou svorkou nebo jehlovou elektrodou na končetinu. Tyto jehlové elektrody musí být velmi ostré, tupé konce způsobují zbytečnou bolest a obranné reakce zvířete. U krokodýlkových svorek je u malých psů nutné podložení malým tamponem kvůli snížení tlaku. Pro lepší vodivost mezi elektrodou a kůží se používá malé množství alkoholu nebo tekutina pro zvlhčení. Elektrody se vzájemně nesmějí dotýkat, proto je nutné držet končetiny psa lehce od sebe, dále by se také neměly dotýkat stolu. Ten by neměl mít kovový povrch (Baatz 2006).

Nevýhodou této klasické metody je nezbytné oholení chlupů v místě styku elektrody s kůží kvůli stabilnímu kontaktu a v některých případech je nutná i anestezie (Detweiler 2010).

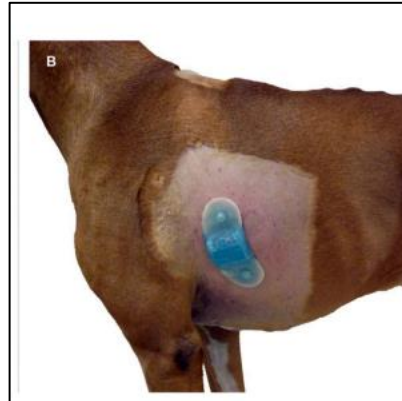
- **Holter**

Holterův monitor je přenosné zařízení EKG, které lze využít ke sběru dat s různou dobou trvání, a to jak během odpočinku, tak i během pohybu. Tato data potom mohou být dále zpracovávána pro informaci o počtu úderů za minutu, variabilitu srdeční frekvence nebo další proměnné jako součást vyšetření srdce (Fuentes et al. 2010). Nevýhodou monitoringu srdeční frekvence pomocí Holteru je časová náročnost instalace zařízení a analýzy metody (Baisan et al. 2020).

- **Bezdrátové EKG**

Monitor EKG ve formě adhezivní náplasti, tzv. APM – adhesive patch monitor (viz obrázek č. 2), je neinvazivní, lehký (34 g), jednorázový, voděodolný, ambulantní EKG monitor s jedním svodem, schopný měření až po dobu 14 dní (Lichtenberger et al. 2018). Průměrná doba opotřebení monitoru je ovšem 11,1 dne, tedy kratší než schválená doba nošení (Barrett et al. 2014). Nevýhodou zařízení je nutnost oholení srsti psa a případné podráždění kůže kvůli připevnění elektrod, které se zpravidla ještě navlhčují fyziologickým roztokem. Při odlepení ztrácí elektrody svou přilnavost a dochází ke ztrátě kontaktu s kůží, takže je nutné zvážit ochranu tohoto monitoru ve formě vesty z obvazového materiálu apod. APM také může být více citlivý na pohyb psa při měření na rozdíl od Holteru. Další nevýhodou je závislost na

výrobci zařízení při získávání nezpracovaných dat. Výhodou je potom snadné použití a možnost nepřetržitého záznamu (Lichtenberger et al. 2018). U lidských pacientů byl tento monitor s adhezivní náplastí hodnocen jako spolehlivý a v budoucnu použitelný i jako možný ekvivalent Holterova monitoru (Barrett et al. 2014).



Obrázek č. 2: EKG monitor s adhezivní náplastí (Lichtenberger et al. 2018).

- **Monitoring srdeční frekvence – monitor Polar**

Měření pomocí EKG je těžko použitelné neomezeně v různých situacích a zejména u zvířat a kvůli k tomu jsou stále více využívány jako alternativa monitory založené na hrudním pásu, určené k měření srdeční frekvence a variability srdeční frekvence lidí při cvičení. Monitor Polar RS800CX (Polar Ltd., Finsko) je schopen zaznamenávat hodnoty od 15 do 240 bpm na bázi beat-to-beat s přesností ± 1 ms. Celý systém Polar zahrnuje hrudní pás s elektrodami pro měření srdeční frekvence, hodinky, na které jsou data bezdrátově přenášena a uložena. Trvalé uložení a analýza dat probíhají v počítači. Pro zlepšení přenosu signálu přes srst psa je možné použít k navlhčení kůže ultrazvukový gel (Schöberl et al. 2015). Oproti klasickému EKG je monitor Polar více šetrný ke zvířatům, není nutné vyholování srsti, je přenosný, snadno použitelný a ekonomicky výhodnější (Jonckheer-Sheehy et al. 2012). Model PolarM400 (Polar Ltd., Finsko) s vestavěným GPS je schopen zachycovat srdeční rytmus, vzdálenost a nadmořskou výšku sekundu po sekundě. Tím přináší informace o změnách srdeční frekvence ovlivněných rychlostí psa, sklonem terénu, nadmořskou výškou a časem (Menchetti et al. 2022).

Spolehlivost monitoru srdečního tepu Polar RS800CX (dále jen Polar) ve srovnání s daty naměřenými klasickou metodou EKG bylo předmětem několika studií. Jednou z nich je například studie Jonckheer-Sheehy et al. (2012), kde měřili srdeční frekvenci 10 dospělým biglům (6 psů, 4 feny) po dobu 5 minut za stálých podmínek. Sbírány byly údaje o R-R intervalu a získaná data z Polaru byla srovnávána s daty z telemetrického EKG monitoru se čtyřmi elektrodami. Tato současně měřená data byla následně převedena na parametry časové a frekvenční domény a porovnána. Mezi parametry nebyly nalezeny žádné významné rozdíly. Autoři tedy usuzují, že monitor srdečního tepu Polar RS800CX by mohl být spolehlivým nástrojem pro měření srdeční frekvence a variability srdeční frekvence u psů při stálých podmínkách. K podobným výsledkům došli i Essner et al. (2013) na deseti dospělých psech (6 fen, 4 psi), kterým byla srdeční frekvence měřena ve stoje a v klusu na běžecím pásu, vždy

po dobu 7 minut. Na psy byla obě zařízení aplikována současně, tzn. hrudní pás Polar RS800CX a 3 EKG elektrody. Výpočty prokázaly, že chyby měření dat získaných z Polaru byly zanedbatelné. Rozdíly mezi daty EKG a Polaru při klusu mohly být způsobeny nedostatečným kontaktem mezi elektrodovým pásem a kůží při zvýšené svalové aktivitě a větších pohybech. V tomto případě je možné upravit elektrodový pás připevněním pásku přes něj, čímž by došlo k pevnému přidržení, které by bylo přesto pro psa pohodlné. Ztrátu dat spojenou se špatným vedením elektrod v důsledku špatného kontaktu při pohybech psa popisují ve své studii i Lensen et al. (2017). Přesto je spolehlivost tohoto přístroje při měření srdeční frekvence vysoká. Výhodou je také dobré přijetí elektrodového pásu psy, a proto může být tento monitor srdečního tepu využíván jak veterinárním zdravotnickým personálem, tak cvičiteli psů k pozorování BPM u středních a velkých plemen psů. Nenahrazuje ovšem EKG při hodnocení patologických stavů srdce (Essner et al. 2013).

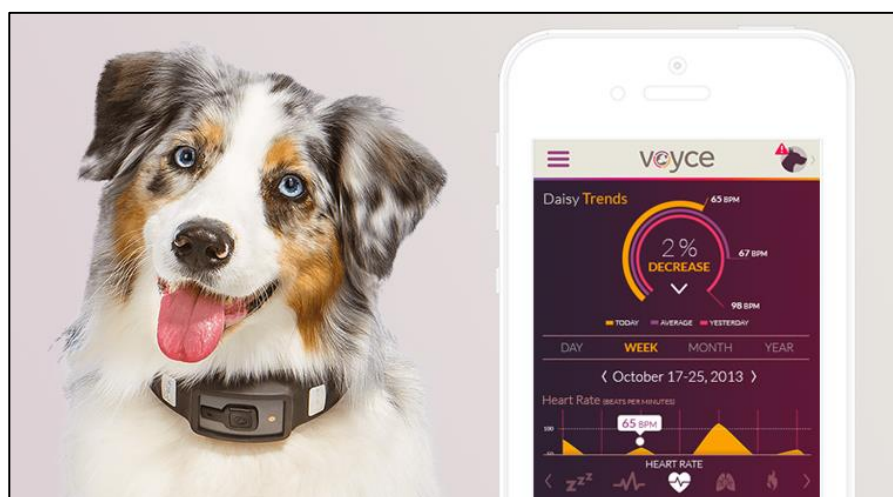
Tuto tezi potvrzují Essner et al. (2015a) i v další studii, kdy byla opět porovnávána platnost a spolehlivost Polaru RS800CX s EKG tentokrát u 8 psů (3 fen a 5 psů) ve stacionární poloze ve stoje. Data byla opět měřena současně, a to po dobu pěti minut. Dále byla převedena do parametrů časové a frekvenční domény variability srdeční frekvence. Vysoká korelace mezi těmito parametry získanými z dat Polaru a EKG opět poukázala na spolehlivost Polaru RS800CX. Avšak malé množství chybných segmentů R-R intervalu může negativně ovlivnit parametry variability srdeční frekvence a následně platnost tohoto přístroje. Detekce chyb je proto zásadní a série R-R intervalů obsahující více než 5 % chyb by neměla být zahrnuta do analýzy variability srdeční frekvence (von Borell et al. 2007). Ke stejným závěrům došli i Essner et al. (2015b) při monitoringu 11 psů (6 fen a 5 psů), na které byla připevněna obě záznamová zařízení zároveň. Záznam byl proveden při stožení na vyšetřovacím stole po dobu 7 minut a korelace mezi R-R intervaly zaznamenanými z obou přístrojů byla vysoká. Zároveň autoři podotýkají, že ztráta kontaktu elektrod s povrchem kůže nebo svalová aktivita, která vede k posunu elektrod, může způsobovat falešné píky v EKG nebo signálu Polar. Takto chybná data R-R intervalů musí být buď opravena, nebo vyloučena. Před analýzou variability srdeční frekvence je tedy nutné sérii R-R intervalů zkontrolovat a detekovat chyby měření. Podle Jonckheer-Sheehyho et al. (2012) se za chyby měření považují větší rozdíly než ± 450 ms mezi předchozím nebo následným R-R intervalem a sekvence dvou a více identických R-R intervalů.

- **Bezkontaktní monitoring srdeční frekvence**

Mezi bezkontaktní přístroje monitorující fyziologické ukazatele stavu psa patří ultraširokopásmový radar, který je schopen monitorovat srdeční a respirační frekvenci, dokáže pracovat na dálku, přes kožешinu, bez elektrod a drátů, čímž dochází k eliminaci stresu zvířete způsobeného kontaktními senzory a následnému nežádoucímu ovlivnění měřených fyziologických hodnot (Wang et al. 2020). Dle studie aplikované u lidí dokáže tento radarový senzor měřit životní funkce i přes zeď (Rong & Bliss 2019). Dále bylo experimentálně prokázáno, že ultraširokopásmový radar je schopen měřit srdeční frekvenci u více subjektů současně (Ren et al. 2015). Lze tedy uvažovat, že tato technologie má potenciál měřit srdeční a respirační frekvenci psů například i v kotcích či domech. Při porovnání naměřených hodnot u psa pod anestézií pomocí EKG a radarového senzoru byla zjištěna vysoká přesnost tohoto bezkontaktního monitoru. Nedostatkem ultraširokopásmového radaru je ovšem obtížnost měření v případě pohybu zvířete jako je běh nebo skákání. Praktičnost spočívá tedy převážně

v situacích, kdy je zvíře měřeno v klidu (Wang et al. 2020). Odhad srdeční frekvence může být také ovlivněn jak dýcháním subjektu, tak okolním hlukem. Vzhledem k tomu byl navržen algoritmus pro zlepšení přesnosti naměřených dat (Wang et al. 2019). Tato technologie byla v posledních letech aplikována například i u lidí při monitoringu srdeční frekvence plodu v předporodním období a kontrakcí během porodu (Bushberg & Tupin 2017).

Dalším bezkontaktním monitorem srdeční frekvence je zdravotní monitor Voyce. Jedná se o neinvazivní zařízení, které využívá ultraširokopásmovou technologii. Zdravotní monitor Voyce shromažďuje fyziologické informace pomocí variací dielektrických vlastností tkání. Je ve formě obojku a pes ho tedy nosí kolem krku. Neobsahuje žádné dráty ani sondy či hrudní nástavce. Další výhodou je okamžitý přenos naměřených dat na dálku do počítače nebo mobilního zařízení do cloudového úložiště nebo privátní sítě pro ukládání dat k následnému zpracování, vizualizaci a analýzu (viz obrázek č. 3). Díky tomuto přenosu lze data kdykoliv zkontrolovat (Landis-Hanna et al. 2016, Voyce 2020).



Obrázek č. 3: Zdravotní monitor Voyce a analýza a vizualizace měřených dat. (<https://www.springwise.com/wearable-tech-dogs-tells-owners-feeling/>)

Po srovnání s klasickým EKG zařízením bylo zjištěno, že zdravotní monitor Voyce poskytuje spolehlivé měření srdeční a dechové frekvence. Přesnost dat byla zhodnocena na více než 86 %. Tyto výsledky naznačují, že zmíněné zařízení lze využít k získání objektivních dat v neklinickém prostředí (Landis-Hanna et al. 2016). Společnost Voyce ovšem v současné době ukončila svou výrobu. Výrobou neinvazivních bezdrátových obojků se ale také zabývá firma PetPace (PHC, Massachusetts). Tyto obojky měří srdeční frekvenci, dýchání, teplotu, aktivitu psa, polohu nebo třeba i spotřebované kalorie. Data jsou odesílána ve dvou, pěti nebo třiceti minutových intervalech k analýze zdravotního profilu psa. Na nalezení abnormalit v těchto datech systém okamžitě upozorní (PetPace 2022). Nicméně je důležité brát výsledky těchto měření jako orientační z důvodu nízkého počtu studií zabývající se validitou této experimentální metody. Pro analýzu variability srdeční frekvence je navíc potřeba dostatečně hustý záznam, který poskytuje EKG nebo monitor Polar.

Tradičně je variabilita srdeční frekvence („heart rate variability – HRV“) měřena pomocí EKG. Existují ovšem i další nástroje pro stanovení hodnot a usnadnění měření, jako jsou například aplikace jako Kubios HRV, Elite HRV, Mobile Lab nebo HRV4Training (Carrasco-

Poyatos et al. 2020). Kubios HRV je snadno použitelný software pro analýzu variability srdeční frekvence, který podporuje několik formátů vstupních dat – data EKG a data RR intervalu. V případě dat z EKG jsou časové momenty R-vlny detekovány pomocí integrovaného detekčního algoritmu QRS. V softwaru jsou počítány běžně používané parametry variability srdeční frekvence v časové a frekvenční oblasti a několik nelineárních parametrů. Také se odvozením z EKG vypočítá respirační frekvence, důležitá pro spolehlivou interpretaci výsledků analýzy variability srdeční frekvence. Výhodou tohoto softwaru je, že je zdarma k dispozici pro operační systémy Windows a Linux (Tarvainen et al. 2014).

3.3.2 Matematické metody analýzy srdeční frekvence

U naměřených dat existuje mnoho potenciálních zdrojů chyb, které mohou způsobit zkreslení spolehlivého měření variability srdeční frekvence. Artefakty v záznamech EKG mohou být způsobeny technickými nebo biologickými faktory. Technické artefakty mohou být výsledkem špatně připevněných elektrod či pohybem psa. Biologické faktory mohou představovat ektopické rytmy, které vznikají mimo srdeční rytmus nebo mimo sinoatriální uzel pravé komory tzn. v jiném místě srdce, dále fibrilace síní nebo komorová tachykardie (způsobuje zrychlení srdeční frekvence nad fyziologickou mez) (Salo et al. 2001; Shaffer & Ginsberg 2017). Z tohoto důvodu je nutné upravovat data R-R intervalu, a to zejména podle metod, které by neměly mít rušivý vliv na analýzu variability srdeční frekvence. Metodou úpravy může být například odstranění abnormálního intervalu R-R bez náhrady nebo pomocí interpolace nulovým či prvním stupněm. Interpolace nulového stupně nahradí abnormální R-R interval lokálním průměrem z předchozích normálních R-R intervalů. Lokální sousedství pro průměr může být například ze třech R-R intervalů. Interpolace prvního stupně nahrazuje abnormální intervaly body získanými z osazené přímky přes abnormální intervaly R-R. Na rozdíl od metody odstranění interpolační metody zachovávají počet vzorků dat (Salo et al. 2001).

Pro analýzu variability srdeční frekvence jsou používány indexy lineárních a nelineárních metod. Mezi lineární metody patří analýza časové domény prováděná statistickými a geometrickými indexy a analýza frekvenční domény (Vanderlei et al. 2009).

- **Časová doména**

Indexy variability srdeční frekvence v časové doméně kvantifikují míru variability v měřeních R-R intervalů. Tyto metody jsou výpočetně nenáročné (Shaffer & Ginsberg 2017). Časové řady R-R intervalu zahrnují N po sobě jdoucích intervalů – $RR = (RR_1, RR_2, \dots, RR_N)$.

Průměrný R-R interval je potom definován jako:

$$E(RR) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N RR_n \quad (1)$$

Kde RR_n označuje hodnotu n -tého intervalu.

Dále lze také vypočítat průměrnou srdeční frekvenci, podle vzorce (Kubios 2022):

$$E(HR) = \frac{60}{E(RR)} \quad (2)$$

Statistické indexy časové domény také zahrnují směrodatnou odchylku po sobě následujících normálních R-R intervalů („*SDNN*-Standard Deviation of NN intervals“), po celou dobu záznamu, měřenou v milisekundách (ms). „Normální“ zde znamená, že byly odstraněny abnormální rytmy – například ektopické rytmy (Shaffer & Ginsberg 2017). *SDNN* představuje sympatickou a parasympatickou aktivitu bez rozlišení mezi výraznou sympatickou aktivitou a zeslabením vagálního tonu (Camm et al. 1996). Zároveň odráží celkovou (krátkodobou i dlouhodobou) odchylku v rámci řady R-R intervalů (Tarvainen et al. 2014). *SDNN* je přesnější při výpočtu ze záznamu trvajících 24 hodin než během kratších období (Shaffer & Ginsberg 2017). Vzorec pro *SDNN* je (Kubios 2022):

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (RR_n - E(RR))^2} \quad (3)$$

Index *SDNN* („Standard Deviation of NN interval Index“) je průměr směrodatných odchylek všech *NN* („normal-to-normal“) intervalů pro každý 5minutový segment 24hodinového záznamu variability srdeční frekvence. Tím dohází k odhadu variability v důsledku faktorů ovlivňující variabilitu srdeční frekvence během pěti minut. Pro výpočet je nutné rozdělit 24hodinový záznam na pětiminutové segmenty, v každém segmentu vypočítat standardní odchylku všech obsažených *NN* intervalů a vypočítat průměr všech těchto směrodatných odchylek (Shaffer et al. 2014).

SDANN („Standard Deviation of the Average NN intervals“) je potom směrodatná odchylka průměrů R-R intervalů v 5minutových segmentech během 24hodinového záznamu v milisekundách. Dále *SDRR* (Standard Deviation of RR intervals) – standardní odchylka R-R intervalů pro všechny sinusové rytmy včetně abnormálních nebo falešných. Abnormální rytmy mohou odrážet například srdeční dysfunkci. Stejně jako předešlé směrodatné odchylky je měřena v milisekundách. Opět je přesnější z 24hodinových záznamů, jelikož toto delší období představuje pomalejší procesy a reakci kardiovaskulárního systému na rozmanitější podněty a pracovní zátěže (Shaffer & Ginsberg 2017).

Parametr *SDSD* („Standard Deviation of Successive Differences“) - směrodatná odchylka po sobě jdoucích rozdílů R-R intervalů je dána vztahem:

$$SDSD = \sqrt{E\{\Delta RR_n^2\} - E\{RR_n\}^2} \quad (4)$$

SDSD je mírou krátkodobé variability pro stacionární řadu R-R intervalu, kdy platí:

$$E\{\Delta RR_n\} = E\{RR_{n+1}\} - E\{RR_n\} = 0 \quad (5)$$

a je rovna parametru *RMSSD* („Root Mean Square of the Successive Differences“), tedy druhé odmocnině průměru čtverců odchylek po sobě následujících sousedních intervalů R-R (Kubios 2022).

RMSSD v milisekundách slouží také jako měřítko krátkodobé variability, představující parasympatickou aktivitu (Camm et al. 1996; Tarvainen et al. 2014). Výsledná hodnota se získá nejprve výpočtem každého po sobě jdoucího časového rozdílu mezi tepey. Poté je každá z hodnot umocněna na druhou a výsledek je zprůměrován před získáním druhé odmocniny hledané veličiny (Shaffer & Ginsberg 2017). Vzorec pro *RMSSD* je (Kubios 2022):

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} (RR_{n+1} - RR_n)^2} \quad (6)$$

Dalším měřítkem vypočítaným z postupných rozdílů R-R intervalu je počet sousedních *NN* intervalů lišících se navzájem o více než 50 ms, označený jako *NN50* (Tarvainen et al. 2014; Shaffer & Ginsberg 2017). Z něho lze vypočítat procento po sobě jdoucích R-R intervalů lišících se o více než 50 ms (*pNN50*) (Camm et al. 1996). Vyjádřené jako (Kubios 2022):

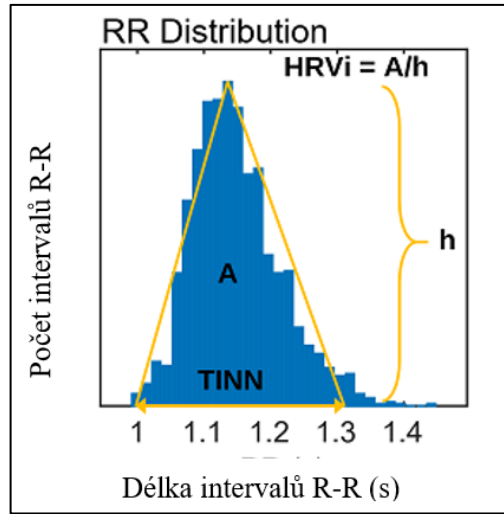
$$pNN50 = \frac{NN50}{N-1} \times 100 \% \quad (7)$$

Posledním indexem je *HR Max – HR Min*.

To je průměrný rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší srdeční frekvencí během každého respiračního cyklu (Shaffer et al. 2014). Tento index odráží respirační sinusovou arytmiu. Pro výpočet je nutný alespoň dvouminutový vzorek (Shaffer & Ginsberg 2017).

Kromě statistických parametrů existují, jak bylo již zmíněno výše, také geometrické metody, které vycházejí z histogramů R-R intervalů (Tarvainen et al. 2014). Nejznámějšími metodami jsou trojúhelníkový index a Poincarého graf (Vanderlei et al. 2009). Trojúhelníkový index (viz obrázek č. 4) lze vypočítat na základě hustoty histogramu normálních intervalů R-R. Ve vodorovné ose *x* je zobrazena délka intervalů R-R, na svislé ose *y* je počet intervalů R-R u každé délky. Spojení bodů histogramu tvoří obrazec ve tvaru trojúhelníku. Šířka základny tohoto trojúhelníku vyjadřuje variabilitu R-R intervalů. Výpočet trojúhelníkového indexu spočívá ve vydělení plochy (na obrázku č. 4 označené jako *A*), odpovídající celkovému počtu R-R intervalů, výškou histogramu (obrázek č. 4 - značeno *h*), tedy $HRVi = A/h$ (Acharya et al. 2006; Vanderlei et al. 2009; Kubios 2022). Dalším geometrickým měřítkem je *TINN* („Triangular Interpolation of NN interval histogram“) – trojúhelníková interpolace histogramu intervalu *NN*, což je základní šířka histogramu hodnocená pomocí trojúhelníkové interpolace,

základní šířka tohoto trojúhelníku se používá jako měřítko indexu variability srdeční frekvence (Acharya et al. 2006; Kubios 2022).



Obrázek č. 4: Trojúhelníkový index a *TINN* (Kubios 2022).

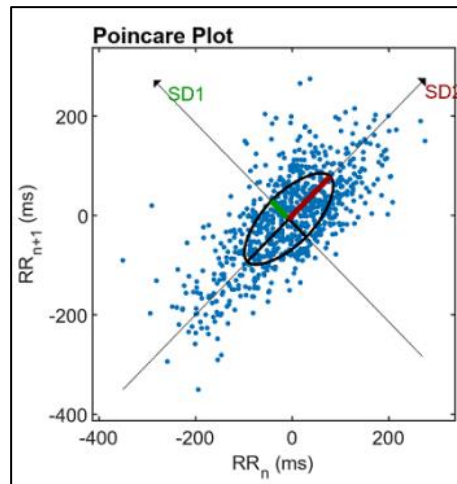
Poincarého graf (viz obrázek č. 5) je geometrická metoda pro dynamickou analýzu variability srdeční frekvence. Tato technika převzatá z nelineárních metod zobrazuje povahu kolísání R-R intervalů. Jedná se o grafické znázornění korelace mezi po sobě následujícími intervaly R-R. Analýza grafu probíhá pomocí výpočtu směrodatných odchylek vzdáleností R-R intervalů. Směrodatné odchylky se označují jako *SD1* a *SD2* (Acharya et al. 2006; Vanderlei et al. 2009). *SD1* popisuje krátkodobou variabilitu způsobenou zejména respiratorní sinusovou arytmií a souvisí s parametrem *SDSD* v časové doméně, podle vzorce (Tulppo et al. 1996; Brennan et al. 2001; Kubios 2022):

$$SD1^2 = \frac{1}{2}SDSD^2 \quad (8)$$

SD2 související s parametry *SDNN* a *SDSD* v časové doméně popisuje dlouhodobou variabilitu (Tulppo et al. 1996; Brennan et al. 2001). Je dána vzorcem (Kubios 2022):

$$SD2^2 = 2SDNN^2 - \frac{1}{2}SDSD^2 \quad (9)$$

Poměr *SD1/SD2* lze vypočítat k popisu vztahu mezi těmito dvěma složkami (Acharya et al. 2006). Kvantitativní dvourozměrná vektorová analýza Poincarého grafu může poskytnout užitečné informace o vagální modulaci dynamiky intervalu R-R během cvičení, které nelze snadno detekovat pomocí lineárních souhrnných měření variability srdeční frekvence nebo přibližnou entropií (viz nelineární metody) (Tulppo et al. 1996).



Obrázek č. 5: Poincarého graf (Kubios 2022).

- **Frekvenční doména**

V metodách frekvenční domény se pro řadu R-R intervalů počítá odhad výkonové spektrální hustoty („Power Spectrum Density – PSD“). *PSD* časových řad poskytuje základní informace o velikosti rozptylu nebo výkonu jako funkce frekvence (Thayer 2009). V analýze variability srdeční frekvence se spektrum odhaduje pomocí metod založených na rychlé Fourierově transformaci („Fast Fourier Transformation – FFT“) nebo parametrickém autoregresním (AR) modelování. Ačkoliv metody založené na *FFT* lze jednoduše realizovat, výhodou autoregresního modelování je nejen vylepšené rozlišení, zejména u krátkých záznamů, ale i možnost rozčlenění na samostatné spektrální složky (Kubios 2022).

Typicky lze rozlišit čtyři frekvenční pásma z 24hodinových záznamů a dvě pásma lze rozeznat ze záznamů krátkodobých. Spektrum je rozděleno na pásma s ultra nízkou frekvencí („Ultra Low Frequency – ULF“), velmi nízkou frekvencí („Very Low Frequency – VLF“), nízkou frekvencí („Low Frequency – LF“) a vysokou frekvencí („High Frequency – HF“). Frekvenční rozsah pásma s ultra nízkou frekvencí je $\leq 0,003$ Hz, pásmo s velmi nízkou frekvencí se vyskytuje v rozsahu 0,003 – 0,04 Hz. Tyto dvě pásma nelze interpretovat v krátkodobých měřeních kvůli jejich nízké frekvenci kmitů. V těch jsou naopak významná spektra s nízkou frekvencí o rozsahu 0,04 – 0,15 Hz a vysokou frekvencí 0,15 – 0,4 Hz. Naměřené výše zmíněné výkonové proměnné se vyjadřují jako absolutní hodnoty výkonu v ms^2 (Thayer 2009; Tarvainen et al. 2014).

Výkon *ULF* generují velmi pomalé biologické procesy, mezi hlavní patří cirkadiální rytmy (Shaffer et al. 2014). Pásmo *VLF* je pravděpodobně spojeno s termoregulací a s kolísáním v systému renin-angiotenzin (zajištění homeostázy organismu) (Thayer 2009).

S výkyvy nízkofrekvenčního pásma jsou spojeny změny krevního tlaku. Tyto krátkodobé odchylky krevního tlaku jsou výsledkem směsí vlivů autonomního nervového systému. Proto je *LF* spojena nejen se sympatickou aktivitou, ale i aktivitou

parasympatickou. Výkon LF také velmi dobře koreluje s výkonem HF (Thayer 2009). Parasympatická aktivita je dále spojena s vyšším frekvenčním rozsahem (HF) (Acharya et al. 2006). HF pásmo se nazývá také respiračním, jelikož odpovídá změnám srdeční frekvence souvisejícími s dýchacím cyklem (Shaffer et al. 2014). Poměr LF/HF potom představuje absolutní a relativní změny mezi sympatickými a parasympatickými tóny (Vanderlei et al. 2009). Předpokladem pro tento poměr tedy je, že LF představuje sympatický nervový systém a HF parasympatický nervový systém. Nízký poměr LF/HF odráží parasympatickou dominanci, zatímco vysoký poměr LF/HF by odrážel dominanci sympatiku (Shaffer & Ginsberg 2017). Tato teorie byla ovšem zpochybněna, jelikož jak již bylo zmíněno výše, LF neodráží pouze aktivitu sympatiku, ale i parasympatiku. Interakce mezi těmito dvěma systémy je složitá a nelineární a zároveň může docházet k ovlivnění příspěvků parasympatiku a sympatiku k poměru LF/HF během měření z důvodu mechaniky dýchání a klidové srdeční frekvence (Billman 2013).

- **Nelineární metody**

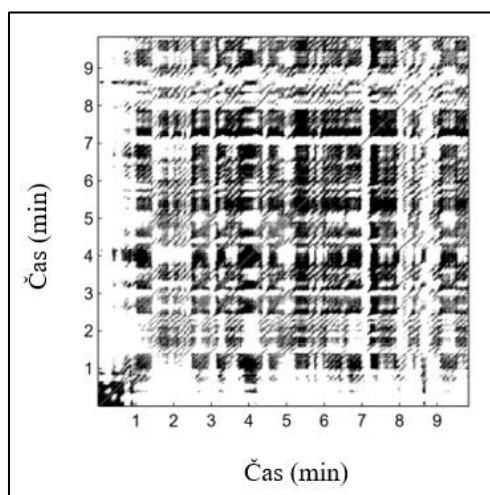
Vzhledem k složitému kontrolnímu systému srdce je pravděpodobně nemožné plně popsat variabilitu srdeční frekvence pomocí lineárních metod. Z tohoto důvodu jsou k vyhodnocení variability srdeční frekvence používány nelineární metody, aby zachytily charakteristiky variability beat-to-beat (Tarvainen et al. 2014). Nelineárnost znamená, že vztah mezi proměnnými nelze vykreslit jako přímkou. Nelineární měření indexují nepředvídatelnost časové řady. Nelineární indexy potom korelují se specifickými měřeními v časové a frekvenční doméně, pokud jsou ovšem vytvářeny stejnými procesy (Shaffer & Ginsberg 2017). Mezi používané metody patří například již zmíněný Poincarého graf. Dalšími metodami jsou aproximační entropie („Approximate Entropy – ApEn“), vzorková entropie („Sample Entropy – SampEn“), rekurentní analýza („Recurrence plot – RP), korelační dimenze (D_2) a detrendovaná analýza fluktuace („Detrended Fluctuation Analysis – DFA), jejichž stručný popis je zmíněn níže (Tarvainen et al. 2014). Přesné způsoby výpočtů těchto nelineárních metod lze nalézt na stránkách Kubios (Kubios 2022).

Aproximační (přibližná) entropie měří pravidelnost a složitost časové řady (Shaffer & Ginsberg 2017). Jejím cílem je odhadnout náhodnost řady dat bez předchozích znalostí o zdroji, který vytvořil tuto datovou sadu (Delgado-Bonal & Marshak 2019). Vysoké hodnoty $ApEn$ naznačují vysokou nepravidelnost, nezávislost mezi daty, nízký počet opakovaných vzorů a náhodnost. Menší hodnoty $ApEn$ poukazují na pravidelnější signál, stálý, dobře predikovatelný, se vzory opakujícími se v celé řadě (Delgado-Bonal & Marshak 2019; Kubios 2022). Výpočet závisí na parametrech N , m a r . Parametr N představuje počet měřených intervalů R-R. Proměnná m se nazývá dimenze vložení a představuje délku zpracovávaných sekvencí. Parametr r je hodnota tolerance (Richman & Moorman 2000; Kubios 2022). Výchozími hodnotami pro parametry m a r je $m=2$ a $r=0,2$ $SDNN$. Jelikož je tolerance stanovena ve vztahu k $SDNN$, nevzniká citlivost na celkovou úroveň variability a lze porovnávat výsledky různých subjektů (Tarvainen et al. 2014).

Vzorková entropie byla navržena stejně jako aproximační entropie k vyhodnocení náhodnosti biologických časových řad, zejména časových řad srdeční frekvence. Na rozdíl od $ApEn$ ale $SampEn$ není závislá na délce záznamu. Vzorková entropie také eliminuje

vlastní shody a díky tomu se snižuje výpočetní čas o polovinu oproti $ApEn$. $SampEn(m, r, N)$ je záporná hodnota logaritmu podmíněné pravděpodobnosti, že dvě podobné sekvence bodů m zůstanou podobné i v dalším bodě $m+1$, přičemž každý vektor bude počítáný přes všechny ostatní vektory kromě sebe (Richman & Moorman 2000).

K analýze složitosti dat je využívána rekurentní analýza („Recurrence Plot analysis – RP“). Její výpočet závisí opět na hodnotách m a r . RP je jednoduše binární čtvercová matice skládající se z hodnot 0 a 1. Pokud jsou vložené vektory časových řad intervalu blízko u sebe, bod v RP získá hodnotu jedna (viz obrázek č. 6) (Tarvainen et al. 2014). Struktura této RP matice zobrazuje krátké diagonální linie, které jsou rovnoběžné s hlavní uhlopříčkou. Délka těchto linií představuje dobu, po kterou jsou dva body blízko sebe (Kubios 2022). Výhodou rekurentní analýzy je neomezenost ve velikosti a stacionárnosti dat (Webber et al. 1994). Nevýhodou této metody je, že výstupní informace jsou kvalitativní (Nayak et al. 2018). Pro kvantifikaci grafů rekurentní analýzy byly navrženy specifické proměnné (Webber et al. 1994). Takovým kvantitativním měřítkem je například míra rekurence (REC), která vyjadřuje poměr jednotek a nul v matici rekurentní analýzy (Kubios 2022).



Obrázek č. 6: Čtvercová matice pro časovou řadu variability srdeční frekvence (černá=1, bílá=0) (Kubios 2022).

Korelační dimenze ($D2$) je další metodou hodnotící složitost dat, a to pomocí odhadu minimálního počtu proměnných potřebných k vytvoření modelu dynamiky systému. Čím více proměnných je potřeba k predikci časové řady, tím větší je její složitost. Sada hodnot, ke kterým se proměnná v dynamickém systému v průběhu času sbírá, se nazývá atraktor (Shaffer & Ginsberg 2017). Výpočet stejně jako u předchozích metod závisí na parametru délky m a hodnotě tolerance r . Výchozími hodnotami jsou $m=10$ a $r=\sqrt{m} SDNN$ (Tarvainen et al. 2014).

Poslední metodou je detrendovaná analýza fluktuace, která extrahuje korelace mezi po sobě jdoucími intervaly R-R v různých časových měřítcích. Výsledkem této analýzy je potom sklon α_1 , který popisuje krátkodobé fluktuace (kolísání) a sklon α_2 popisující dlouhodobé fluktuace. Krátkodobé korelace představují baroreceptorový reflex. Dlouhodobé korelace odrážejí regulační mechanismy, které omezují kolísání tepového cyklu (Kuusela 2012).

4 Metodika

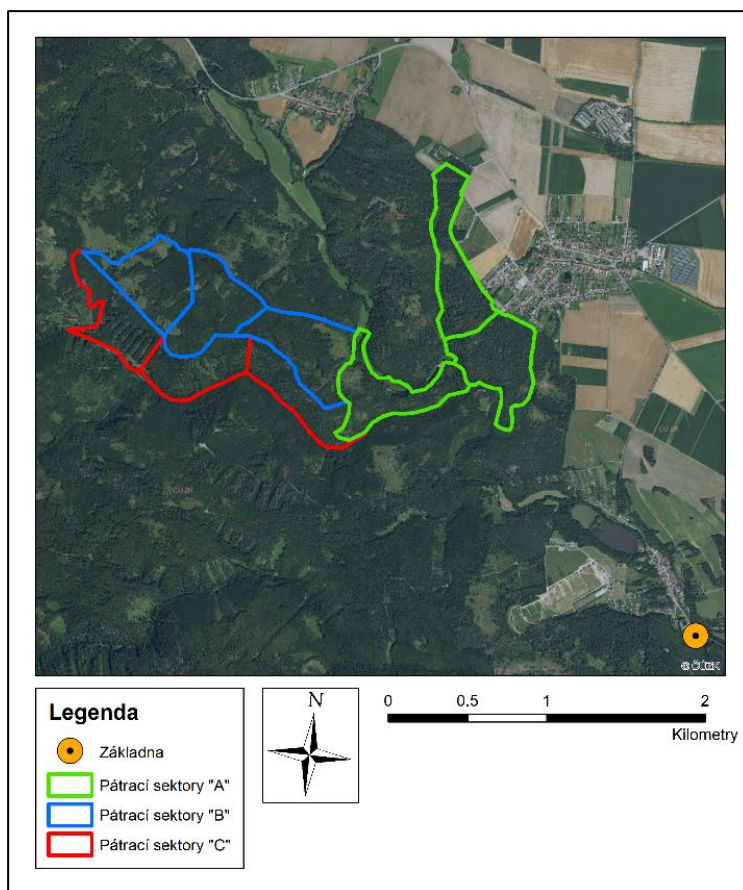
Data pro tuto diplomovou práci byla nashromážděna v rámci grantového projektu „Využití vyspělých technologií a čichových schopností psů pro zvýšení efektivity vyhledávání pohřešovaných osob v terénu – PÁTRAC (VI20172020088)“. Sběr dat probíhal v letech 2017–2019 během pěti rádných cvičení na různých místech České republiky (Pouště, Žihle, Nové Město na Moravě, Hamry a Herlíkovice), přičemž každé místo mělo rozdílnou obtížnost terénu, jako je například sklon terénu nebo vegetační pokryv, čímž se měnila i intenzita pohybového zatížení psa. Z hlediska náročnosti byl vegetační kryt rozdělen do tří kategorií: 1 – snadno přístupný, 2 – středně přístupný a 3 – těžce přístupný. Dále byly na lokalitách pomocí přenosné meteorologické stanice (WH1080, Fine Offset Electronics Co., Ltd., Čína) měřeny meteorologické parametry jako teplota okolí (°C), relativní vlhkost vzduchu (%), směr a rychlost větru (m/s) a tlak vzduchu (hPa/m²). Na všech lokalitách, kromě lokality Pouště (pouze jedno cvičení), probíhala dvě celodenní cvičení s jednodenní pauzou mezi těmito dny.

4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Celkově se projektu zúčastnilo 50 pátracích týmů (psůvod – pes), a to jak od Policie ČR, Hasičského záchranného sboru ČR, Horské služby ČR, o. p. s., tak i dobrovolných kynologických brigád. Z 50 monitorovaných jedinců bylo 42 psů a 8 fen. Všechna zúčastněná plemena byla ovčácká, konkrétně Německý ovčák (nejvíce zastoupen – 33 jedinců), Belgický ovčák Malinois, Australský ovčák, Border kolie a kříženci Německého ovčáka a Belgického ovčáka Malinois. Průměrný věk sledovaných psů činil $5,5 \pm 2,1$ roku (\pm směrodatná odchylka), minimální věk byl 2,1 roku a maximální 10,4 let. Dále bylo zaznamenáno, zda je pes atestovaný nebo nikoli, tzn. zda měl složenou zkoušku na úrovni atestu Ministerstva vnitra ČR (MV ČR), nižší atest než atest MV ČR nebo neměl složený žádný atest, a také zda má psůvod nějakou praxi v oboru či nikoli. Všechny výše zmíněné informace byly zjištěny pomocí dotazníkového šetření. Z celkového počtu 50 jedinců bylo ke statistickému zpracování dat využito 32. Zbýlých 18 psů bylo vyloučeno z důvodu neúplnosti dat.

4.2 Charakteristika sběru dat

Empirické šetření bylo pojato jako intervenční případová studie s jednou experimentální skupinou (VE). Experimentální podnět (PE) měl charakter simulované pátrací akce ve volném terénu. Tyto simulované pátrací akce probíhaly v denní době od 7:00 do 19:00. Sektory, které byly propátrávány, měly plochu cca 20 ha. Celkově bylo vytyčeno 45 sektorů úhrnem na pěti lokalitách, vždy 9 sektorů na každé lokalitě rozdělených po třech do tří skupin: A, B, C (viz obrázek č. 7).



Obrázek č. 7: Rozdělené sektory skupin A, B, C pro simulované pátrací akce.

Do jednotlivých sektorů byl vždy umístěn různý počet figurantů (0–2), o kterém nebyl pátrací tým informován. Úkolem pátracích týmů bylo nejen hledat pohřešované osoby, tedy figuranty, ale také rovnoměrně propátrat celý sektor. Z důvodu simulace opakované akce při skutečném pátrání po pohřešované osobě probíhalo pátrání dvojic psovod – pes (označené jako *VE*) v terénu, pokud možno 3krát za daný den, a to po dobu od 2 do maximálně 5 hodin v každém sektoru (viz tabulka č. 1). Přesuny do jednotlivých sektorů probíhaly buď pěšky nebo autem, podle vzdálenosti sektoru od základny, ze které všechny pátrací týmy vycházely a následně se do ní vždy vracely. Mezi jednotlivými pátracími akcemi měly tyto pátrací týmy pokaždé pauzu, a to od 1 hodiny do 2,5 h. Po pauze byly vyslány do dalšího sektoru z jiné skupiny, tudíž každý psovod absolvoval se svým psem vyhledávání v sektoru všech tří výše zmíněných skupin (případně jen ve dvou, jelikož v některých případech bylo třetí pátrání zpravidla z časových důvodů zrušeno). Schéma výzkumné situace vypadalo následovně:

$$(VE) \text{ v } t_0 \rightarrow (PE) \Delta t_1 \rightarrow (VE) \text{ v } t_1 \rightarrow (PE) \Delta t_2 \rightarrow (VE) \text{ v } t_2 \rightarrow (PE) \Delta t_3 \rightarrow (VE) \text{ v } t_3$$

Schéma výzkumné situace

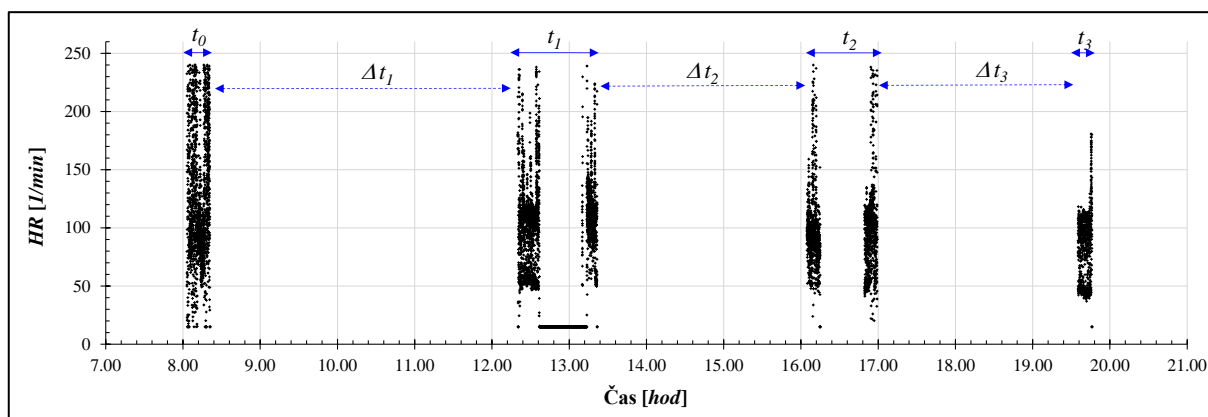
- Legenda:
- (*VE*) – experimentální výběr;
 - (*PE*) – experimentální podnět (intervenční činitel);
 - t_i – doba sběru dat a pauza mezi exp. podněty ($i = 0, 1, 2, 3$)
 - Δt_j – doba působení experimentálního podnětu, ($j = 1, 2, 3$)

Tabulka č. 1: Charakteristika doby zatížení psů během tří cyklů simulovaných pátracích akcí.

	Δt_1 (hod)	Δt_2 (hod)	Δt_3 (hod)
Průměr	4.2	3.2	2.6
SD	0.9	1.2	0.4
Medián	4.0	3.5	2.5
Q ₇₅ - Q ₂₅	1.1	1.2	0.4
Minimum	2.9	2.4	1.7
Maximum	3.9	3.6	2.2

4.3 Experimentální metody

Monitoring srdeční frekvence probíhal pomocí sport-testeru Polar, který zaznamenává interval beat-to-beat. Srdeční frekvence byla měřena u každého psa ideálně šestkrát během dne. V případě zrušení třetího pátrání u některých pátracích týmů z časových důvodů, proběhlo měření srdeční frekvence pouze pětkrát. První měření probíhalo před první pátrací akcí po dobu 15 minut. Další měření proběhla vždy po návratu z terénu na začátku a také na konci pauzy po dobu 15 minut. Během měření byl pes odložen, tedy ležel v klidu, a to na základě empirických zkušeností, kdy nebylo možné u psa snímat srdeční frekvenci v terénu po celou dobu. Při zvýšené svalové aktivitě a větších pohybech dochází totiž k nedostatečnému kontaktu elektrod s kůží a následné ztrátě dat, jak zmiňuje několik studií (Essner et al. 2013; Lensen et al. 2017). Polarový pás byl psovi připevněn za předními končetinami, přičemž elektrody byly umístěny na levé spodní části boku psa. Pro zlepšení vodivosti, zejména u psů s hustou podsadou, byl použit sono-gel. Ukázkou struktury datového souboru získaného z měření srdeční frekvence psa pomocí Polarového pásu zobrazuje obrázek č. 8.

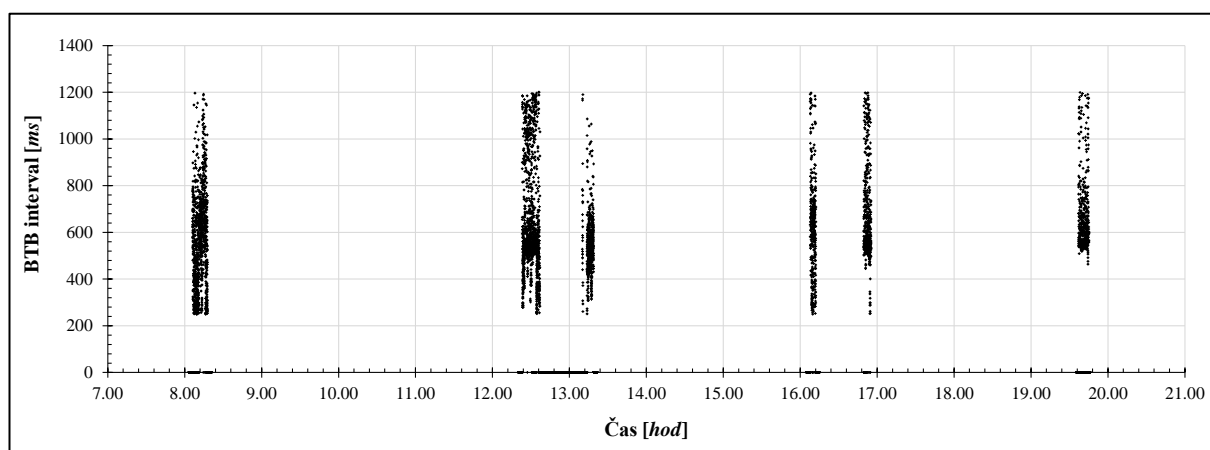


Obrázek č. 8: Ukázkou struktury datového souboru záznamu srdeční frekvence.

Osa x znázorňuje denní dobu, během které se pátrací týmy (psovod-pes) účastnily simulovaných pátracích akcí. Začátek před prvním pátráním byl přibližně v 8 hodin a konec s posledním měřením srdeční frekvence se pohyboval kolem 20. hodiny. Lze tedy říci, že psovod se svým psem strávil jednotlivými pátracími akcemi s přestávkami cca 12 hodin za den.

4.4 Metody statistického zpracování dat

Statistické zpracování experimentálních dat bylo provedeno následujícím způsobem. V rámci průzkumové analýzy dat (EDA) byly ve všech záznamech srdeční frekvence detekovány a odstraněny odlehlé hodnoty. Byly eliminovány artefakty spojené jednak s výpadkem detekovaného signálu, jednak s neodpovídající fyziologickou interpretací, viz obrázek č. 9. Z tohoto důvodu byly prahové filtry nastaveny tak, aby pro další analýzy byly zohledněny pouze hodnoty beat-to-beat intervalů v rozmezí 240 až 1200 ms (odpovídá 50 až 250 bpm). Vzhledem k relativně častým výpadkům záznamu srdeční frekvence bylo tímto způsobem odfiltrováno cca 15 až 20 % hodnot.



Obrázek č. 9: Ukázka zredukovaného datového záznamu srdeční frekvence.

S přihlédnutím k hlavnímu cíli práce jsme se při zpracování datových souborů zaměřili na dva statistické znaky. Prvně nás zajímalo, jak se v průběhu pátrací akce mění klidová srdeční frekvence. Ze statistického hlediska jsme se tedy zaměřili na variabilitu střední hodnoty srdeční frekvence (E (HR)). Odhad její hodnoty jsme na sledované jednotce (na konkrétním psovi v daný čas) provedli jednak pomocí aritmetického průměru, jednak s využitím mediánu. K zobecňujícím úvahám jsme pak v rámci sledovaného výběru (skupina psů v daný čas) využili skupinový průměr a medián. V tomto smyslu jsou taktéž konstruovány grafy v kap. 5. 1. Tedy za ukazatele centrální polohy střední hodnoty klidové frekvence byly vybrány: průměr z průměrů, průměr z mediánů, medián z průměrů a medián z mediánů. Intervalové odhady (95%) byly napočítány pro průměry z průměrů a průměry z mediánů.

V druhém případě (kap. 5.2 níže) nás zajímal vliv zatížení psů během pátrací akce na variabilitu srdeční frekvence (HRV). Vzhledem k relativně častým výpadkům záznamu srdeční frekvence nebylo možné smysluplně provést analýzu HRV ve frekvenční doméně či s pomocí

nelineárních metod. Analýza HRV byla tedy provedena pouze v časové doméně, a to s využitím ukazatelů *SDNN* a *pNN50*. Odhad středních hodnot těchto ukazatelů (*E (SDNN)* a *E (pNN50)*) byl proveden stejným způsobem jako u *E (HR)*). Tedy s využitím aritmetického průměru (včetně 95 % IS) a mediánu v daném skupinovém výběru.

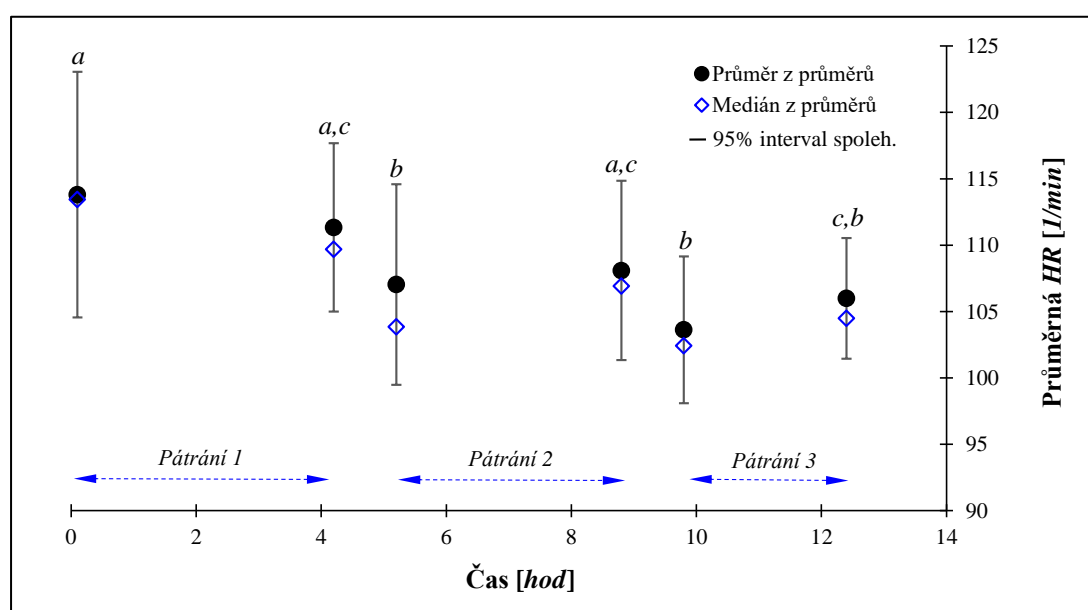
K posouzení statistické významnosti v rozdílech středních hodnot sledovaných ukazatelů byla vzhledem k vícečetnému párovému srovnání využita Friedmanova ANOVA. K identifikaci rozdílů mezi dvěma konkrétními výběry byl jako post-hoc test využit Wicoxonův párový test. Hodnota statistické významnosti je vyjádřena pomocí hodnoty *p-value*. Signifikantní rozdíly byly detekovány na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$. Ke statistickému zpracování dat byl využit SW Statistica 14.0 a MS Excel 2020.

5 Výsledky

Zpracování dat bylo rozděleno do dvou částí, a to do analýzy variability střední hodnoty klidové srdeční frekvence (HR) během pátrací akce a analýzy variability srdeční frekvence (HRV) jako takové. Výsledky těchto analýz jsou zapsány níže.

5.1 Analýza variability střední hodnoty klidové srdeční frekvence

Na základě metodického přístupu k odhadu střední hodnoty klidové srdeční frekvence (viz kapitola 4.4 výše) jsou výsledky našich zjištění zpracovány v obrázcích č. 10 a č. 11. Z variability průměrné srdeční frekvence (HR) lze konstatovat následující.



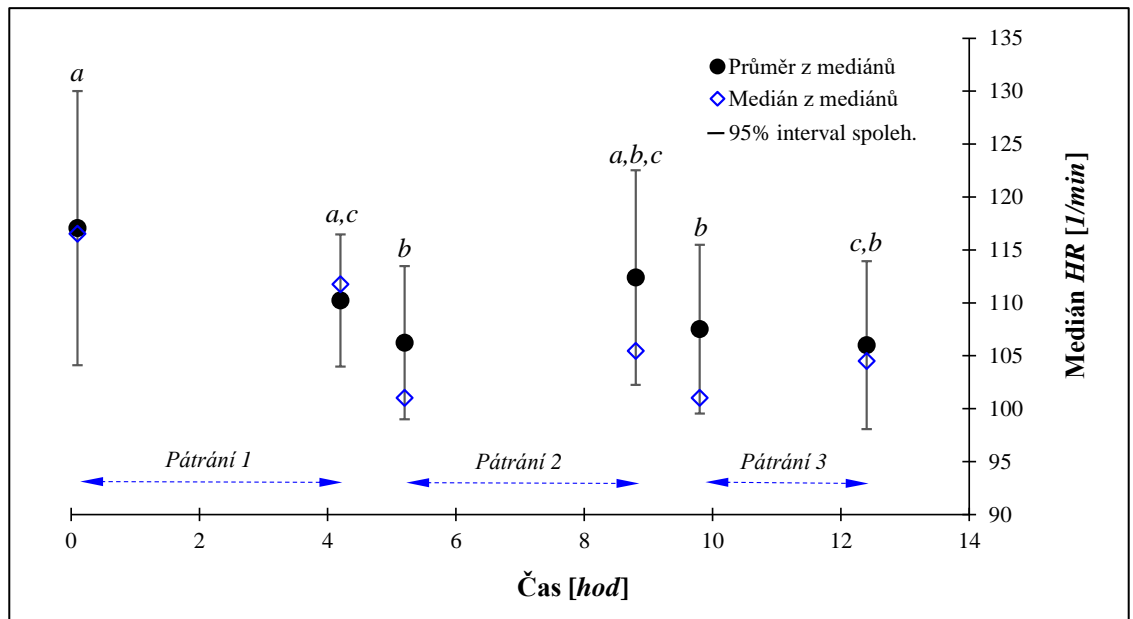
Obrázek č. 10: Průměrné srdeční frekvence v jednotlivých fázích pátrací akce.

Legenda:

- Časová osa je uvedena pouze pro lepší orientaci ve variabilitě střední hodnoty srdeční frekvence během pátrací akce. Hodnota 0 na ose x znázorňuje začátek 1. simulované pátrací akce. Doba trvání jednotlivých pátracích cyklů je převzata z tabulky č. 1. Průměrná doba mezi pátracími cykly byla 1 hodina.
- Výsledky post-hoc testů jsou znázorněny symboly a , b , c ... Dva výběry se od sebe statisticky významně neliší právě tehdy, pokud jsou označeny stejným písmenem viz tabulka č. 2 níže.

Na obrázku č. 10 můžeme vidět, že střední hodnota klidové srdeční frekvence byla nejvyšší před první simulovanou pátrací akcí a během dne měla klesající tendenci, přičemž na konci pauzy dosahovala střední hodnota klidové srdeční frekvence vždy nižších hodnot než na začátku pauzy, tedy po návratu z terénu. Střední hodnota klidové srdeční frekvence byla tedy vyšší po prvním pátrání než před druhým. Dále byla tato hodnota vyšší po druhém pátrání než před třetím, ale zároveň byla střední hodnota klidové srdeční frekvence po druhém pátrání nižší než po prvním pátrání. Střední hodnota klidové srdeční frekvence po posledním třetím pátrání byla oproti hodnotě před třetím pátráním vyšší a v porovnání s hodnotou po druhém pátrání opět nižší. Z čehož lze dedukovat klesající tendenci v těchto hodnotách. Dále zde můžeme

pozorovat, že střední hodnota klidové srdeční frekvence z hlediska průměru se pohybovala cca 100-115 bpm.



Obrázek č. 11: Mediány srdeční frekvence v jednotlivých fázích pátrací akce.

Legenda:

- Časová osa je uvedena pouze pro lepší orientaci ve variabilitě střední hodnoty srdeční frekvence během pátrací akce. Hodnota 0 na ose x znázorňuje začátek simulované pátrací akce. Doba trvání jednotlivých pátracích cyklů je převzata z tabulky č. 1. Průměrná doba mezi pátracími cykly je 1 hodinu.
- Výsledky post-hoc testů jsou znázorněny symboly a , b , c ... Dva výběry se od sebe statisticky významně neliší právě tehdy, pokud jsou označeny stejným písmenem viz tabulka č. 2.

Na obrázku zobrazujícím hodnoty mediánu srdeční frekvence lze opět pozorovat, že střední hodnota klidové srdeční frekvence byla nejvyšší před první pátrací akcí a následně vždy vyšší po návratu z terénu, tedy na začátku pauzy vyšší než na konci. To znamená, že střední hodnota klidové srdeční frekvence byla vyšší po prvním pátrání než před druhým pátráním, a po druhém pátrání než před třetím pátráním. Přičemž po návratu z druhé simulované pátrací akce byla sledována vyšší střední hodnota klidové srdeční frekvence než po akci první. Zároveň lze vidět, že střední hodnota klidové srdeční frekvence byla po třetím pátrání nižší než před třetím pátráním. Střední hodnota klidové srdeční frekvence z hlediska mediánů se pohybovala přibližně mezi 100-120 bpm.

Tabulka č. 2: Výsledky testování hypotézy o shodě středních hodnot klidových srdečních frekvencí v jednotlivých fázích pátrací akce.

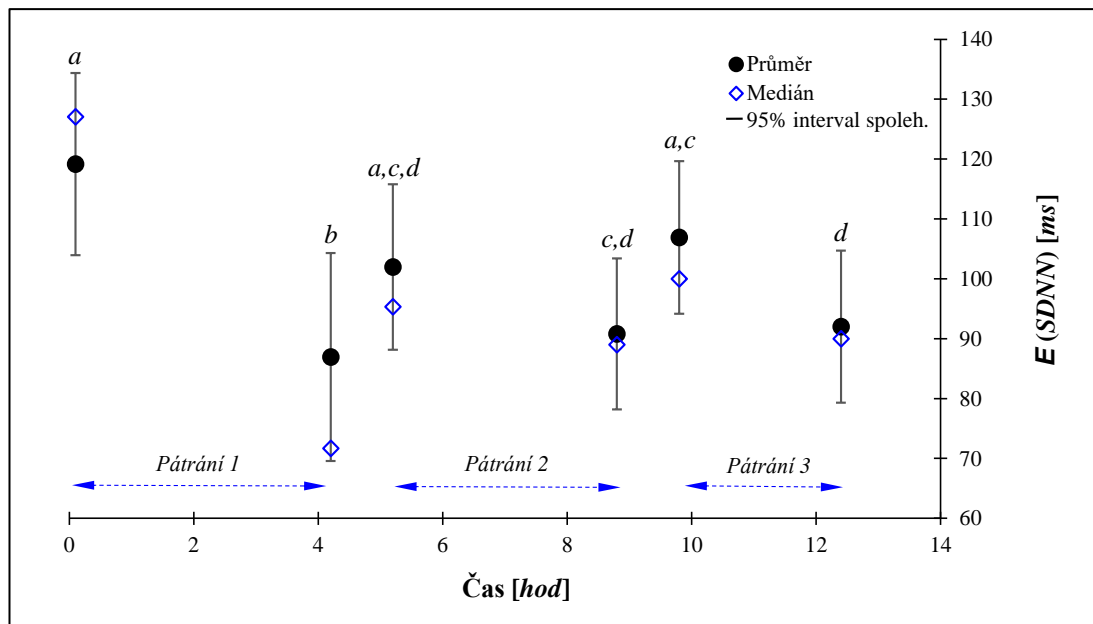
A) Průměrná HR					
Friedmanova ANOVA (N = 32, df = 5) = 12.454, p = 0.029					
Post-hoc testy	Před pátr. 1	Po pátr. 1	Před pátr. 2	Po pátr. 2	Před pátr. 3
Před pátráním 1	-				
Po pátrání 1	0.571	-			
Před pátráním 2	0.047	0.030	-		
Po pátrání 2	0.203	0.381	0.047	-	
Před pátráním 3	0.013	0.010	0.571	0.030	-
Po pátrání 3	0.038	0.102	0.390	0.420	0.29
B) Medián HR					
Friedmanova ANOVA (N = 32, df = 5) = 11.423, p = 0.044					
post-hoc testy	Před pátr. 1	Po pátr. 1	Před pátr. 2	Po pátr. 2	Před pátr. 3
Před pátráním 1	-				
Po pátrání 1	0.623	-			
Před pátráním 2	0.034	0.015	-		
Po pátrání 2	0.165	0.102	0.123	-	
Před pátráním 3	0.014	0.029	0.413	0.418	-
Po pátrání 3	0.042	0.356	0.374	0.812	0.29

Na hladině $\alpha = 0.05$ byly prokázána signifikantní variabilita střední hodnoty klidové srdeční frekvence.

Výsledky jak pro analýzu průměru, tak mediánu HR byly více méně shodné. Přičemž mezi hodnotami mediánu srdeční frekvence na začátku a na konci pauzy byl signifikantní rozdíl oproti hodnotám průměru srdeční frekvence pouze v první pauze mezi pátráními, tedy mezi hodnotami po pátrání 1 a před pátráním 2. Rozdíly v hodnotách průměrů a mediánů lze pozorovat v tabulce č. 3 (4. řádek, 3. sloupec a 5. řádek 4. sloupec). Způsob odhadu střední hodnoty klidové srdeční frekvence nemá na závěry o změnách tohoto parametru během pátrací akce vliv.

5.2 Analýza variability srdeční frekvence

Analýza variability srdeční frekvence (HRV) během přerušované pátrací akce byla hodnocena podle parametrů *SDNN* a *pNN50* viz obrázky č. 12 a 13.



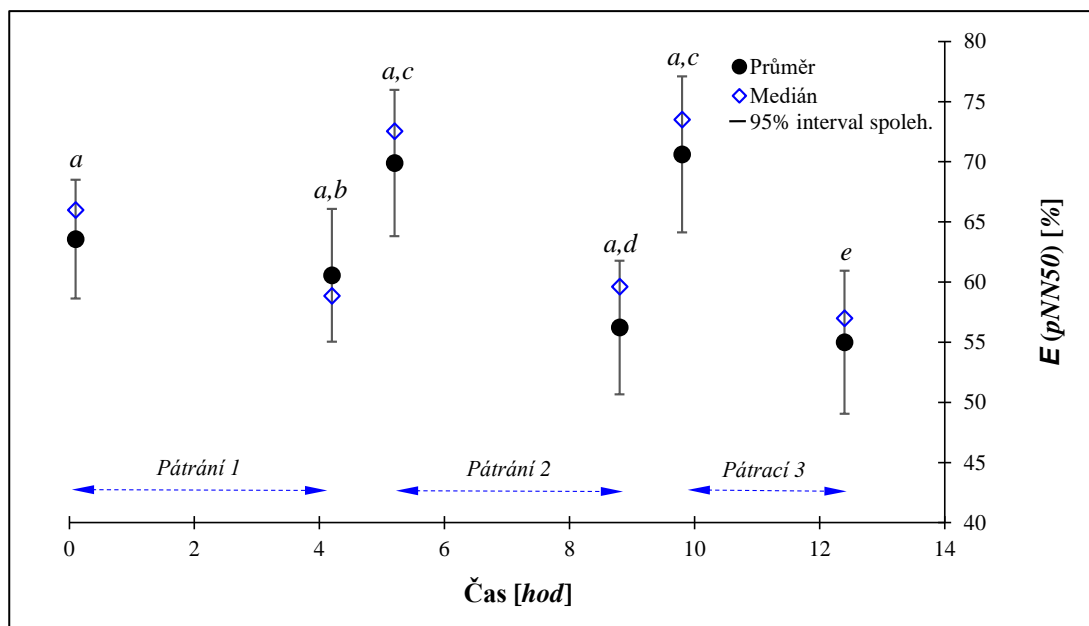
Obrázek č. 12: Variabilita srdeční frekvence (*SDNN*) v jednotlivých fázích pátrací akce.

Legenda:

- Časová osa je uvedena pouze pro lepší orientaci ve variabilitě střední hodnoty srdeční frekvence během pátrací akce. Hodnota 0 na ose x znázorňuje začátek simulované pátrací akce. Doba trvání jednotlivých pátracích cyklů je převzata z tabulky č. 1. Průměrná doba mezi pátracími cykly je 1 hodinu.
- Výsledky post-hoc testů jsou znázorněny symboly a , b , c ,... Dva výběry se od sebe statisticky významně neliší právě tehdy, pokud jsou označeny stejným písmenem viz tabulka č. 3.

Z obrázku č. 12 lze usuzovat, že variabilita srdeční frekvence se měnila v čase, přičemž po pátrací akci se snižovala a následně se během odpočinku opět zvyšovala. Tedy, že hodnoty variability srdeční frekvence byly před pátrací akcí vždy vyšší než po akci. Největší rozdíl v poklesu hodnot *SDNN* byl patrný před prvním pátráním a po prvním pátrání. Dále docházelo k snížení variability srdeční frekvence po druhém pátrání oproti hodnotám před druhým pátráním, a stejně tak byly hodnoty variability srdeční frekvence po třetím pátrání nižší než před ním. Rozsah variability srdeční frekvence (*SDNN*) byl přibližně 15 ms.

Dále byla hodnota variability srdeční frekvence hodnocena parametrem $pNN50$ viz obrázek č. 13.



Obrázek č. 13: Variabilita srdeční frekvence ($pNN50$) v jednotlivých fázích pátrací akce.

Legenda:

- Časová osa je uvedena pouze pro lepší orientaci ve variabilitě střední hodnoty srdeční frekvence během pátrací akce. Hodnota 0 na ose x znázorňuje začátek simulované pátrací akce. Doba trvání jednotlivých pátracích cyklů je převzata z tabulky č. 1. Průměrná doba mezi pátracími cykly je 1 hodinu.
- Výsledky post-hoc testů jsou znázorněny symboly a , b , c . Dva výběry se od sebe statisticky významně liší právě tehdy, pokud nejsou označeny žádným stejným písmenem, viz tabulka č. 3.

Stejně tak jako u $SDNN$ bylo u parametru $pNN50$ patrné, že hodnoty variability srdeční frekvence byly po akci vždy nižší než před akcí. Po prvním pátrání byly hodnoty nižší než před prvním pátráním a zároveň byly nižší i než před druhým pátráním. To samé po druhém pátrání byly hodnoty variability srdeční frekvence nižší než před druhým pátráním a zároveň opět nižší než před třetím pátráním. V těchto dvou pauzách lze dobře vidět, jak se variabilita srdeční frekvence v důsledku odpočinku opět zvýšila. Po třetím pátrání došlo k poklesu variability srdeční frekvence oproti hodnotám před třetím pátráním. Oproti parametru $SDNN$ nevykazoval první sloupec významný rozdíl. Ten byl pozorován až mezi hodnotami před třetím a po třetím pátrání. U hodnot po prvním pátrání, po druhém pátrání a po třetím pátrání se nacházel klesající trend. Rozsah variability srdeční frekvence ($pNN50$) byl $\pm 15\%$.

Tabulka č. 3: Výsledky testování hypotézy o shodě variabilit srdeční frekvence v jednotlivých fázích pátrací akce.

A) SDNN					
Friedmanova ANOVA (N = 32, df = 5) = 17.279, p = 0.004					
Post-hoc testy	Před pátr. 1	Po pátr. 1	Před pátr. 2	Po pátr. 2	Před pátr. 3
Před pátráním 1	-				
Po pátrání 1	0.006	-			
Před pátráním 2	0.076	0.039	-		
Po pátrání 2	0.022	0.045	0.723	-	
Před pátráním 3	0.210	0.035	0.586	0.650	-
Po pátrání 3	0.035	0.049	0.682	0.713	0.026
B) pNN50					
Friedmanova ANOVA (N = 32, df = 5) = 13.151, p = 0.022					
post-hoc testy	Před pátr. 1	Po pátr. 1	Před pátr. 2	Po pátr. 2	Před pátr. 3
Před pátráním 1	-				
Po pátrání 1	0.523	-			
Před pátráním 2	0.287	0.006	-		
Po pátrání 2	0.463	0.039	0.031	-	
Před pátráním 3	0.084	0.010	0.568	0.024	-
Po pátrání 3	0.023	0.019	0.009	0.011	0.040

Podle *SDNN* byla nejvyšší HRV na začátku pátrací akce. Pak již jen klesala. Podle *pNN50* tomu tak není. V kontextu dalších hodnot bylo těžké rozlišit u parametru *pNN50* trend. Na rozdíl od *SDNN* bylo u *pNN50* pozorováno více signifikantních rozdílů, a to zejména u hodnot před a po posledních dvou pátrání.

Celkově lze tuto výsledkovou část zhodnotit následovně. Zátěž typu přerušovaná pátrací akce má vliv na HRV. Během pauzy dochází k částečné obnově variability, celkově má však klesající trend.

6 Diskuze

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zjistit, jaký vliv má intenzita pohybového zatížení na variabilitu srdeční frekvence psa domácího během pátracích akcí ve volném terénu. Na naměřených datech byly vypočítány nejdříve střední hodnoty klidové srdeční frekvence – průměr a medián. Bylo zjištěno, že střední hodnoty klidové srdeční frekvence byly nejvyšší před prvním pátráním, což mohlo být způsobené jak transportem psa, jeho stresem před pátrací akcí, tak i stresem psovoda, jehož vliv na fyziologické reakce psa potvrdily například studie Slotta-Bachmayra & Schwarzenbergera (2007) a Liteho et al. (2010). Zjištění, že hodnoty klidové srdeční frekvence před první pátrací akcí byly významně vyšší než hodnoty klidové srdeční frekvence po návratu z terénu patrně z důvodu vzrušení psa před prací, se shoduje se studií Diveria et al. (2016). Rozrušení psa před pátrací akcí způsobující zvýšení srdeční frekvence demonstruje i studie Lopedoteho et al. (2020). Autoři zde porovnávali klidové hodnoty srdeční frekvence měřené doma a hodnoty srdeční frekvence před prací v terénu, přičemž hodnoty srdeční frekvence před prací byly vyšší oproti klidovým hodnotám z domova.

V dalších měřeních naší studie potom dosahovala střední hodnota klidové srdeční frekvence vždy vyšších hodnot po pátrání než před pátráním. Po návratu z terénu byl během hodinové pauzy pokaždé zaznamenán signifikantní pokles středních hodnot klidové srdeční frekvence z hlediska průměru. Vzhledem k poznatkům z literatury (Reece 2011), tedy že srdeční frekvence má tendenci během prvních minut po fyzické námaze rychle klesat a posléze se nadále zpomalovat, lze z našich výsledků usuzovat, že všichni psi, kteří se účastnili naší studie byli v dobré fyzické kondici. Přičemž porovnávat kvalitu fyzické kondice mezi jednotlivci lze tak, že jedinci s rychlejším zpomalením srdeční frekvence po zátěži mají lepší kondici oproti jedincům s pomalejším snížením hodnot srdeční frekvence (Munoz et al. 2006). Střední hodnota klidové srdeční frekvence v rámci naší studie z hlediska průměru byla cca 100-115 bpm a z hlediska mediánu 100-120 bpm. Ve srovnání s běžnými klidovými hodnotami srdeční frekvence u psů, které činí 70-120 bpm (Reece 2011), lze námi zjištěné hodnoty průměru a mediánu považovat za fyziologické, tedy dosahujících hodnot považovaných za normu.

Dále byla na naměřených datech hodnocena variabilita srdeční frekvence pomocí směrodatné odchylky po sobě následujících normálních R-R intervalů (*SDNN*) a procentem po sobě jdoucích R-R intervalů lišících se o více než 50 ms (*pNN50*). Hypotézou práce bylo, že s přibývajícím mírou pohybového zatížení psa domácího v kontextu pátracích akcí, bude variabilita jeho srdeční frekvence klesat, protože variabilita srdeční frekvence je nepřímo úměrná velikosti zatížení organismu. Bylo pozorováno snížení variability srdeční frekvence bezprostředně po simulované pátrací akci, přičemž během pauz mezi jednotlivými pátráními, kdy pes v klidu ležel, docházelo k opětovnému částečnému zvýšení hodnot variability srdeční frekvence na základě regenerace organismu. Nejsme ovšem schopni říci, do jaké míry byla variabilita skutečně regenerována, jelikož pes byl sice v klidu fyzicky, ale nevíme, nakolik byl během pauzy před dalším pátráním v klidu po psychické stránce. Vzhledem k výše zmíněným studiím (Diverio et al. 2016; Lopedote et al. 2020) je ale možné předpokládat, že pes byl před jednotlivými pátracími akcemi rozrušen. Navíc, jak bylo již také zmíněno výše, stres ovlivňuje nejen srdeční frekvenci, ale i její variabilitu (Tsuji et al. 1996). Dále je nutné podotknout, že docházelo pouze k částečné obnově variability srdeční frekvence během pauzy pravděpodobně

také proto, že obnovení funkce autonomního nervového systému na základní úroveň se může z hlediska času pohybovat i v rámci několika hodin po aerobním cvičení s vysokou intenzitou (Hautala et al. 2001). Vzhledem k tomu, že pauzy mezi jednotlivými pátracími akcemi trvaly maximálně 2,5 h (ale spíše méně, min. 1 hod.), patrně nemohlo dojít k úplnému zotavení autonomního nervového systému a variabilita srdeční frekvence se tedy nemohla zvýšit zpět na hodnoty naměřené před pátrací akcí. Na základě zjištěných poznatků, tedy že hodnoty variability srdeční frekvence se pokaždé částečně obnovily, můžeme ale usuzovat, že pokud je psovi poskytnutý dostatečný odpočinek po jednotlivém pátrání v terénu, může být poté znovu nasazen do akce, a to i opakovaně během téhož dne. Důležité je ovšem myslet i na to, že adaptace jedince na fyzickou aktivitu je závislá už na výchozí úrovni jeho autonomního nervového systému (Hautala et al. 2009). Naše poznatky o možném opakovaném nasazení pátracího psa během dne do akce se shodují s výsledky studie Schneidera et al. (2009), kde se psi účastnili tří denního pátrání, u kterého jim byla po jednotlivém vyhledávání poskytnuta vždy hodinová pauza, aniž by vykazovali známky únavy. Dobré je také zmínit, že zkušenější psi dokážou během těchto pátracích akcí předvídat, šetřit energii a pauzy mezi vyhledáváními využít k relaxaci a zotavení, tzn. že dokážou efektivněji využívat svou energii oproti mladším a méně zkušeným psům a zároveň, že zkušenější a vhodně vycvičení psi stráví kratší čas prohledáváním dané oblasti (Jones et al. 2004; Slotta-Bachmayr & Schwarzenberger 2007).

Ačkoliv docházelo k opětovnému částečnému navýšení variability srdeční frekvence psů během odpočinkové pauzy, celkově měla variabilita srdeční frekvence klesající trend. V odborné literatuře se mi nepodařilo dohledat žádné podobné studie. Z tohoto důvodu lze říci, že zjištěná data jsou celosvětově jedinečná a přináší důležitá zjištění ohledně práce a využitelnosti pátracích psů při hledání pohřešovaných osob. Podle parametru *SDNN* byla variabilita srdeční frekvence nejvyšší na začátku pátracího dne a poté už pouze klesala. Zatímco podle parametru *pNN50* tomu tak nebylo. Zároveň *pNN50* vykazoval mnohem více signifikantních rozdílů ve variabilitě srdeční frekvence. Mohlo to být způsobeno tím, že *pNN50* selhává, pokud jde o vyšší zóny tepové frekvence. Naopak pro klidnější režim je *pNN50* oproti *SDNN* citlivějším ukazatelem, zejména co se týče obnovy původní variability srdeční frekvence. Tyto úvahy o větší robustnosti metody *SDNN* nebo metody *pNN50* je ovšem potřeba ověřit dalšími výzkumy.

7 Závěr

Empirické šetření této diplomové práce potvrdilo, že zátěž typu přerušované pátrací akce má zásadní vliv na variabilitu srdeční frekvence. Výsledky statistického zpracování dat poukazují na vliv pohybového zatížení na střední hodnoty klidové srdeční frekvence a variabilitu srdeční frekvence. Střední hodnoty klidové srdeční frekvence se po vyhledávání v terénu vždy zvýšily a poté při odpočinku klesaly. Hodnoty variability srdeční frekvence vykazovaly bezprostředně po zátěži snížení a během klidového režimu psa v průběhu pauzy mezi jednotlivými pátráními docházelo ke zvýšení, tedy částečnému obnovení původních hodnot. Ve variabilitě srdeční frekvence byl nicméně pozorován celkově klesající trend.

Tato práce poukázala na to, že variabilita srdeční frekvence by mohla být kvalitním ukazatelem zatížení psa při pátrací akci ve volném terénu. Ačkoliv je pes velmi dobrým pomocníkem při pátrání, kde může svou prací nahradit i několik lidí, o vlivu tohoto pohybového zatížení na jeho organismus není zatím mnoho známo. Tato problematika začala být řešena až v posledních letech. Sledování poklesu či obnovy hodnot variability srdeční frekvence, které přináší předložená diplomová práce, poskytuje návod k objektivnímu posouzení reálného zatížení pátracích psů. Výsledky práce mají potenciál umožnit další zefektivnění práce pátracích týmů během pátrání po pohřešovaných osobách, a to zejména v oblasti nasazování jednotlivých psů do akce.

Z empirických zkušeností je patrné, že další studium srdeční frekvence a její variability u záchranářských a pátracích psů bude v budoucnu velkým přínosem. Doporučujeme ovšem provádět další studie pomocí metodicky vhodnějších přístrojů, jako je například EKG Holter, jelikož je schopen sběru dat nejen při odpočinku, ale i během pohybu. Oproti monitoru Polar u něj nedochází ke ztrátám dat a poskytuje dostatečně hustý záznam dat potřebný k analýze variability srdeční frekvence.

8 Literatura

- Acharya UR, Joseph KP, Kannathan N, Lim CM, Suri JS. 2006. Heart rate variability: a review. *Medical & biological engineering & computing* **44**:1031-1051.
- Ahlstrom O, Skrede A, Speakman J, Redman P, While SG, Hove K. 2006. Energy expenditure and water turnover in hunting dogs: a pilot study. *The Journal of Nutrition* **136**:2063S-2065S.
- Aubert AE, Sepe B, Beckers F. 2003. Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Medicine* **33**:889-919.
- Baatz G. 2006. *EKG u psa a kočky*. Grada Publishing, Praha.
- Baisan A, Condurachi EI, Vulpe V. 2020. Short-term heart-rate variability in healthy small and medium-sized dogs over a five-minute measuring period. *Journal of Veterinary Research* **64**:161-167.
- Barrett PM, Komatireddy R, Haaser S, Topol S, Sheard J, Encinas J, Fought AJ, Topol EJ. 2014. Comparison of 24-hour Holter Monitoring with 14-day Novel Adhesive Patch Electrocardiographic Monitoring. *The American Journal of Medicine* **127**:95.e11-95.e17.
- Berntson GG, Bigger JT, Eckberg DL, Grossman P, Kaufmann PG, Malik M, Nagaraja HN, Porges SW, Saul JP, Stone PH, VanderMolen MW 1997. Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology* **34**:623-648.
- Billman GE. 2013. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in Physiology* **4**:26.
- Botek M, McKune AJ, Krejci J, Stejskal P, Gaba A. 2013. Change in Performance in Response to Training Load Adjustment Based on Autonomic Activity. *International Journal of Sports Medicine* **35**:482-488.
- Brennan M, Palaniswami M, Kamen P. 2001. Do existing measures of Poincaré plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* **48**:1342-1347.
- Bushberg JT, Tupin JP. 2017. RF Safety Analysis of a Novel Ultra-wideband Fetal Monitoring System. *Health Physics Society Journal* **112**:478-485.
- Cablk ME, Sagebiel JC, Heaton JS, Valentin C. 2008. Olfaction-based Detection Distance: A Quantitative Analysis of How Far Away Dogs Recognize Tortoise Odor and Follow It to Source. *Sensors* **8**:2208-2222.
- Camm AJ, Malik M, Bigger JT, Breithardt G, Cerutti S, Cohen RJ, Coumel P, Fallen EL, Kennedy HL, Kleiger RE, Lombardi F, Malliani A, Moss AJ, Rottman JN, Schmidt G, Schwartz PJ, Singer DH. 1996. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal* **17**:354-381.
- Carrasco-Poyatos M, Gonzales-Quilez A, Martinez-Gonzales-Moro I, Granero-Gallegos A. 2020. HRV-Guided Training for Professional Endurance Athletes: A Protocol for a Cluster-Randomized Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **17**.
- Cruz Aleixo AS, Alfonso A, Oba E, Ferreira de Souza F, Salgueiro Cruz RK, Fillippi MG, Chiacchio SB, Tsunemi M, Gomes Lourenco ML. 2017. Scaling Relationships Among

- Heart Rate, Electrocardiography Parameters, and Body Weight. *Topics in Companion Animal Medicine* **32**:66-71.
- Delgado-Bonal A, Marshak A. 2019. Approximate Entropy and Sample Entropy: A Comprehensive Tutorial. *Entropy* **21**.
- Detweiler DK. 2010. The dog electrocardiogram: A critical review. *Comprehensive Electrocardiology 1861-1908*.
- Diverio S, Barbato O, Cavallina R, Guelfi G, Iaboni M, Zasso R, Di Mari W, Santoro MM, Knowles TG. 2016. A simulated avalanche search and rescue mission induces temporary physiological and behavioural changes in military dogs. *Physiology & Behavior* **163**:193-202.
- Early JB, Arnott ER, Wade CM, McGreevy PD. 2016. Interval dogs: Results and evaluation of Global Positioning System units in measuring athletic performance in stock-herding dogs. *Journal of Veterinary Behavior-Clinical Applications and Research* **14**:1-4.
- Essner A, Sjostrom R, Ahlgren E, Lindmark B. 2013. Validity and reliability of Polar® RS800CX heart rate monitor, measuring heart rate in dogs during standing position and at trot on a treadmill. *Physiology & Behavior* **114**:1-5.
- Essner A, Sjostrom R, Gustas P, Edge-Hughes L, Zetterberg L, Hellstrom K. 2015a. Validity and reliability properties of canine short-term heart rate variability measures-a pilot study. *Journal of Veterinary Behavior-Clinical Applications and Research* **10**:384-390.
- Essner A, Sjostrom R, Ahlgren E, Gustas P, Edge-Hughes L, Zetterberg L, Hellstrom K. 2015b. Comparison of Polar® RS800CX heart rate monitor and electrocardiogram for measuring inter-beat intervals in healthy dogs. *Physiology & Behavior* **138**:247-253.
- Fang Y, Chen M, Zheng X. 2015. Extracting features from phase space of EEG signals in brain-computer interfaces. *Neurocomputing* **151**:1477-1485.
- Freedman AH, Gronau I, Schweizer RM, Ortega-Del Vecchyo D, Han EJ, Silva PM, Galaverni M, Fan ZX, Marx P, Lorente-Galdos B, Beale H, Ramirez O, Hormozdiari F, Alkan C, Vila C, Squire K, Geffen E, Kusak J, Boyko AR, Parker HG, Lee C, Tadigotla V, Siepel A, Bustamante CD, Harkins TT, Nelson SF, Ostrander EA, Marques-Bonet T, Wayne RK, Novembre J. 2014. Genome Sequencing Highlights the Dynamic Early History of Dogs. *Plos Genetics* **10**.
- Fuentes LV, Johnson L, Dennis S. 2010. *BSAVA A manual of canine and feline cardiorespiratory medicine*, 2nd edition. British Small Animal Veterinary Association, Great Britain.
- Gazit I, Terkel J. 2003. Explosives detection by sniffer dogs following strenuous physical activity. *Applied Animal Behaviour Science* **81**:149-161.
- Greatbatch I, Gosling RJ, Allen S. 2015. Quantifying Search Dog Effectiveness in a Terrestrial Search and Rescue Environment. *Wilderness & Environmental Medicine* **26**:327-334.
- Grossman P, Karemaker J, Wieling W. 1991. Prediction of tonic parasympathetic cardiac control using respiratory sinus arrhythmia: the need for respiratory control. *Psychophysiology* **28**:201-216.
- Hampson BA, McGowan CM. 2007. Physiological responses of the Australian cattle dog to mustering exercise. *Equine and Comparative Exercise Physiology* **4**:37-41.

- Hanton G, Rabernampianina Y. 2006. The electrocardiogram of the Beagle dog: reference values and effect of sex, genetic strain, body position and heart rate. *Laboratory animals* **40**:123-136.
- Hare E, Kelsey KM, Serpell JA, Otto CM. 2018. Behavior Differences Between Search-and-Rescue and Pet Dogs. *Frontiers in Veterinary Science* **5**.
- Hautala A, Tulppo MP, Makikallio TH, Laukkanen R, Nissila S, Huikuri HV. 2001. Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology* **21**:238-245.
- Hautala AJ, Kiviniemi AM, Tulppo MP. 2009. Individual responses to aerobic exercise: The role of the autonomic nervous system. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* **33**:107-115.
- Hayano J, Yasuma F. 2003. Hypothesis: respiratory sinus arrhythmia is an intrinsic resting function of cardiopulmonary system. *Cardiovascular Research* **58**:1-9.
- Jonckheer-Sheehy VSM, Vinke CM, Ortolani A. 2012. Validation of a Polar ® human heart rate monitor for measuring heart rate and heart rate variability in adult dogs under stationary conditions. *Journal of Veterinary Behavior-Clinical Applications and Research* **7**:205-212.
- Jones KE, Dashfield K, Downend AB, Otto CM. 2004. Search-and-rescue dogs: an overview for veterinarians. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **225**:854-860.
- Katayama M, Kubo T, Mogi K, Ikeda K, Nagasawa M, Kikusui T. 2016. Heart rate variability predicts the emotional state in dogs. *Behavioural Processes* **128**:108-112.
- Khan MG. 2005. EKG a jeho hodnocení. Grada, Praha.
- Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, Tulppo MP. 2007. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology* **101**:743-751.
- Kuipers H. 1998. Training and overtraining: an introduction. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **30**:1137-1139.
- Kuusela T. 2012. Methodological Aspects of Heart Rate Variability Analysis. Pages 9-42 in Kamath MV, Watanabe M, Upton A, editors. *Heart Rate Variability (HRV) Signal Analysis: Clinical Applications*. CRC Press, Boca Raton.
- Ladha C, Belshaw Z, O'Sullivan J, Asher L. 2018. A step in the right direction: an open design pedometer algorithm for dogs. *BMC Veterinary Research* **14**.
- Landis-Hanna A, Wakshlag J, Krauss M, Tupin P, Goldfain A. 2016. An Investigation of Ultra-Wideband Radar Technology to Evaluate Canine Heart Rate and Respiratory Rate. *Journal of Veterinary Internal Medicine* **30**:1524-1525.
- Lehnert M, Botek M, Sigmund M, Smékal D, Šťastný P, Malý T, Háp P, Bělka J, Neuls F. 2014. Kondiční trénink. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Lehrer PM, Gevirtz R. 2014. Heart rate variability biofeedback: how and why does it work? *Frontiers in Psychology* **5**:756.
- Lensen RCMM, Betremieux C, Bavegems V, Sys SU, Moons CPH, Diederich C. 2017. Validity and reliability of cardiac measures during behavioural tests in pet dogs at home. *Applied Animal Behaviour Science* **186**:56-63.

- Lichtenberger J, Meurs KM, Côté E. 2018. Preliminary Assessment of a Novel 14-Day Electrocardiographic Adhesive Patch Monitor in Dogs. *Journal of the American Animal Hospital Association* **54**:138-143.
- Lit L, Boehm D, Marzke S, Schweitzer J, Oberbauer AM. 2010. Certification testing as an acute naturalistic stressor for disaster dog handlers. *Stress-The International Journal on the Biology of Stress* **13**:392-401.
- Lopedote M, Valentini S, Musella V, Vilar JM, Spinella G. 2020. Changes in Pulse Rate, Respiratory Rate and Rectal Temperature in Working Dogs before and after Three Different Field Trials. *Animals* **10**.
- McKenzie EC, Jose-Cunilleras E, HinchCliff KW, Holbrook TC, Royer C, Payton ME, Williamson K, Nelson S, Willard MD, Davis MS. 2007. Serum chemistry alterations in Alaskan sled dogs during five successive days of prolonged endurance exercise. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **230**:1486-1492.
- Menchetti L, Iaboni M, Santoro MM, Guelfi G, Diverio S. 2022. How Do Avalanche Dogs (and Their Handlers) Cope with Physical Exercise? Heart Rate Changes during Endurance in a Snowy Environment. *Animals* **12**.
- Miklósi A, Polgárdi R, Topál J, Csányi V. 2000. Intentional behaviour in dog-human communication: an experimental analysis of “showing“ behaviour in the dog. *Animal Cognition* **3**:159-166.
- Munoz A, Cuesta I, Riber C, Gata J, Trigo P, Castejon FM. 2006. Trot asymmetry in relation to physical performance and metabolism in equine endurance rides. *Equine Veterinary Journal* **38**:50-54.
- Nakahara E, Maruno Y, Kubo T, Ouchi R, Katayama M, Fujiwara K, Nagasawa M, Kikusui T, Ikeda K. 2016. Canine Emotional States Assessment with Heart Rate Variability. 2016 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA) 1-3.
- Nayak SK, Bit A, Dey A, Mohapatra B, Pal K. 2018. A Review on the Nonlinear Dynamical System Analysis of Electrocardiogram Signal. *Journal of Healthcare Engineering* **2018**.
- Nelson DL, Cox MM. 2002. *I principi di biochimica di Lehninger*. Zanichelli, Torino.
- Peng CK, Hausdorff JM, Goldberger AL. 2000. Fractal mechanisms in neural control: Human heartbeat and gait dynamics in health and disease. Pages 66-96 in Walleczek J, editor. *Self-Organized Biological Dynamics and Nonlinear Control: Toward Understanding Complexity, Chaos and Emergent Function in Living Systems*. Cambridge University Press, New York.
- Pumpřla J, Howorka K, Groves D, Chester M, Nolan J. 2002. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *International Journal of Cardiology* **84**:1-14.
- Reece WO. 2011. *Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat, 2., rozšířené vydání*. Grada, Praha.
- Ren LY, Koo YS, Wang HF, Wang YZ, Liu QH, Fathy AE. 2015. Noncontact Multiple Heartbeats Detection and Subject Localization Using UWB Impulse Doppler Radar. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* **25**:690-692.

- Richman JS, Moorman JR. 2000. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* **278**:H2039-H2049.
- Robbins PJ, Ramos MT, Zanghi BM, Otto CM. 2017. Environmental and physiological factors associated with stamina in dogs exercising in high ambient temperatures. *Frontiers in veterinary science* **4**:144.
- Rong Y, Bliss DW. 2019. Smart Homes: See Multiple Heartbeats Through Wall Using Wireless Signals. *IEEE Radar Conference (RadarConf)*. IEEE 1-6.
- Rovira S, Munoz A, Benito M. 2008. Effect of exercise on physiological, blood and endocrine parameters in search and rescue-trained dogs. *Veterinarni Medicina* **53**:333-346.
- Salo MA, Huikuri HV, Seppanen T. 2001. Ectopic Beats in Heart Rate Variability Analysis: Effects of Editing on Time and Frequency Domain Measures. *Annals of Noninvasive Electrocardiology* **6**:5-17.
- Santos POPR, Santos EA, Reis AC, Santos AMMR, Kuster MCC, Trivilin LO, Aptekmann KP. 2018. Effect of exercise on cardiovascular parameters in search and rescue-trained dogs. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia* **70**:1036-1044.
- Shaffer F, McCraty R, Zerr CL. 2014. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology* **5**:1040.
- Shaffer F, Ginsberg JP. 2017. An Overview of Heart Rate variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health* **5**.
- Shivik JA. 2002. Odor-Adsorptive Clothing, Environmental Factors, and Search-Dog Ability. *Wildlife Society Bulletin* **30**:721-727.
- Schneider M, Wilhelm S, Scheideler A, Erhard M. 2009. Effectiveness of and physical and mental strain in search and rescue dogs during a three-day search operation. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*. **2**:82.
- Schöberl I, Kortekaas K, Schöberl FF, Kotrschal K. 2015. Algorithm-supported visual error correction (AVEC) of heart rate measurements in dogs, *Canis lupus familiaris*. *Behavior research methods* **47**:1356-1364.
- Slotta-Bachmayr L, Schwarzenberger F. 2007. Faecal cortisol metabolites as indicators of stress during training and search missions in avalanche dogs. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* **94**:110-117.
- Spoo JW, Zoran DL, Downey RL, Bischoff K, Wakshlag J. 2015. Serum biochemical, blood gas and antioxidant status in search and rescue dogs before and after simulated fieldwork. *Veterinary Journal* **206**:47-53.
- Svartberg K. 2001. Shyness–boldness predicts performance in working dogs. *Applied Animal Behaviour Science* **79**:157-174.
- Tarvainen MP, Niskanen JP, Lipponen JA, Ranta-aho PO, Karjalainen PA. 2014. Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* **113**:210-220.
- Thayer JF. 2009. Heart Rate Variability: A Neurovisceral Integration Model. *Encyclopedia in Neuroscience* 1041-1047.
- Tsuji H, Larson MG, Venditti FJ, Manders ES, Evans JC, Feldman CL, Levy D. 1996. Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. *Circulation* **94**:2850–2855.

- Tulppo MP, Makikallio TH, Takala TES, Seppanen T, Huikuri HV. 1996. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* **271**:H244-H252.
- Vanderlei LCM, Pastre CM, Hoshi RA, de Carvalho TD, de Godoy MF. 2009. Basic notions of heart rate variability and its clinical applicability. *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular* **24**:205-217.
- Varga B, Gergely A, Galambos A, Kis A. 2018. Heart Rate and Heart Rate Variability during Sleep in Family Dogs (*Canis familiaris*). Moderate Effect of Pre-Sleep Emotions. *Animals* **8**.
- von Borell E, Langbein J, Despres G, Hansen S, Letierrier C, Marchant-Forde J, Marchant-Forde R, Minero M, Mohr E, Prunier A, Valance D, Veissier I. 2007. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals-A review. *Physiology&Behavior* **92**:293-316.
- Wang P, Qi F, Liu M, Liang F, Xue H, Zhang Y, Lv H, Wang J. 2019. Noncontact Heart Rate Measurement Based on an Improved Convolutional Sparse Coding Method Using IR-UWB Radar. *IEEE Access* **7**:158492-158502.
- Wang P, Ma Y, Liang F, Zhang Y, Yu X, Li Z, An Q, Lv H, Wang J. 2020. Non-Contact Vital Signs Monitoring of Dog and Cat Using a UWB Radar. *Animals* **10**:205.
- Webber CL, Zbilut JP. 1994. Dynamical Assessment of Physiological Systems and States Using Recurrence Plot Strategies. *Journal of Applied Physiology* **76**:965-973.
- Williamson JR, Hess AR, Smalt CJ, Sherrill DM, Quatieri TF, O'Brien C. 2016. Using Collar-worn Sensors to Forecast Thermal Strain in Military Working Dogs. 2016 IEEE 13th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks 281-286.
- Witte TH, Wilson AM. 2005. Accuracy of WAASenabled GPS for the determination of position and speed over ground. *Journal of Biomechanics* **38**:1717-1722.
- Zeagler C, Byrne C, Valentin G, Freil L, Kidder E, Crouch J, Starner T, Jackson MM. 2016. Search and rescue: Dog and handler collaboration through wearable and mobile interfaces. *Association for Computing Machinery*. 1-9.

Internetové zdroje:

- Moravskoslezský kynologický svaz. 2020. Pracovní plemena. Available from <http://www.msks.cz/24861-pracovni-plemena> (accessed December 2020).
- Kubios. 2022. HRV Analysis Methods. Available from <https://www.kubios.com/hrv-analysis-methods/> (accessed March 2022).
- PetPace 2022. Smart-sensing collar. Available from <https://petpace.com/smart-sensing-collar/> (accessed April 2022).
- Search and Rescue Dog Association Scotland (SARDA). 2021. A brief history of Search and Rescue Dogs. Available from <http://www.sarda-scotland.org/history/> (accessed May 2021).
- Voyce. 2020. Capabilities. Available from <https://www.voyce.com/capabilities> (accessed November 2021).

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

- ApEn – approximate entropy/aproximační entropie
APM – adhesive patch monitor/ monitor EKG ve formě adhezivní náplasti
ATP – adenosintrifosfát
BPM – beat per minute/úder za minutu
D2 – korelační dimenze
DFA – detrended fluctuation analysis/analýza fluktuace
EKG – elektrokardiografie
FFT – fast Fourier transformation/rychlá Fourierova transformace
GPS – globální polohovací systém
HF – high frequency/vysoká frekvence
HR – heart rate/srdeční frekvence
HRV – heart rate variability/variabilita srdeční frekvence
LF – low frequency/nízká frekvence
Ms – milisekunda
MV ČR – Ministerstvo Vnitřní České republiky
NN – normal-to-normal interval
NN50 – počet sousedních NN intervalů lišících se navzájem o více než 50 ms
pNN50 – procento po sobě jdoucích R-R intervalů lišících se o více než 50 ms
PSD – power spectrum density/výkonová spektrální hustota
REC – míra rekurence
RMSSD – root mean square of the successive differences/druhá odmocnina průměru čtverců odchylek po sobě následujících sousedních intervalů R-R
RP – recurrence plot/rekurentní analýza
SampEn – sample entropy/vzorková entropie
SAR – search and rescue/pátrací a záchranný
SD – standard deviation/směrodatná odchylka
SDANN – standard deviation of the average NN interval/směrodatná odchylka průměrů R-R intervalů
SDNN – standard deviation of NN intervals/směrodatná odchylka po sobě následujících R-R intervalů
SDRR – standard deviation of the RR intervals/standartní odchylka R-R intervalů pro všechny sinusové rytmy včetně abnormálních nebo falešných
SDSD – standard deviation of successive differences/směrodatná odchylka po sobě jdoucích rozdílů R-R intervalů
TINN – triangular interpolation of NN interval histogram/trojúhelníková interpolace histogramu intervalu NN
ULF – ultra low frequency/ultra nízká frekvence
VLF – very low frequency/velmi nízká frekvence