

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

# **VLIV PONOŘENÍ DO STUDENÉ VODY NA FYZIOLOGICKÉ PARAMETRY: PŘÍPADOVÁ STUDIE**

Bakalářská práce

Autor: Matyáš Křivánek

Studijní program: Tělesná výchova pro vzdělávání

Vedoucí práce: Mgr. Pavel Grepl

Olomouc 2024



## **Bibliografická identifikace**

**Jméno autora:** Matyáš Křivánek

**Název práce:** Vliv ponoření do studené vody na fyziologické parametry: případová studie

**Vedoucí práce:** Mgr. Pavel Grepl

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Rok obhajoby:** 2024

### **Abstrakt:**

Lidé se čím dál častěji otužují ve studené vodě bez předchozí adaptace, což mohou doprovázet určitá zdravotní rizika. Tato bakalářská práce má za cíl zjistit jaké jsou fyziologické změny při ponoření do studené vody bez předchozí adaptace a rizika s tím spojená. V kapitole Přehled poznatků se nacházejí informace o autonomním nervovém systému (ANS), o variabilitě srdeční frekvence (VSF) a jejích ukazatelích a o jednotlivých fyziologických změnách, ke kterým při nebo po ponoření dochází. Výzkum byl proveden na zdravém jedinci ve věku 21 let v terénních podmínkách. Hodnoty pro srdeční frekvenci (SF) a ukazatele VSF byly naměřeny pomocí hrudního pásu, teplota vzduchu a vody pomocí teploměru. Zkoumanými ukazateli VSF byly rMSSD SDNN a SDNN/rMSSD. Pro jednotlivé parametry byly vypočítány vzájemné korelační koeficienty. Z výsledků vyplývá, že čím nižší je hodnota teploty vody, tím více se zvyšuje srdeční frekvence.

### **Klíčová slova:**

Ponoření do studené vody, variabilita srdeční frekvence, srdeční frekvence, teplota vody, fyziologická odpověď

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author:** Matyáš Křivánek  
**Title:** The Influence of Cold Water Immersion on Physiological Parameters: A Case Study

**Supervisor:** Mgr. Pavel Grepl  
**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology  
**Year:** 2024

### **Abstract:**

People are increasingly immersing themselves in cold water without prior adaptation, which may be accompanied by certain health risks. This bachelor thesis aims to determine the physiological changes occurring during immersion in cold water without prior adaptation and the associated risks. The Literature Review chapter contains information on the autonomic nervous system (ANS), heart rate variability (HRV) and its indicators, and the individual physiological changes that occur during or after immersion. The research was conducted on a healthy individual aged 21 in field conditions. Heart rate (HR) and HRV indicators were measured using a chest strap, and air and water temperature were measured using a thermometer. The HRV indicators examined were rMSSD, SDNN and SDNN/rMSSD. Correlation coefficients were calculated for individual parameters. The results indicate that as water temperature decreases, heart rate increases.

### **Keywords:**

Cold water immersion, heart rate variability, heart rate, water temperature, physiological response

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

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Pavla Grepla, uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržel zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. dubna 2024

.....

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Pavlu Greplovi za pomoc a cenné rady, které mi poskytnul při zpracování této práce.

## OBSAH

Obsah .....	7
1 Úvod .....	9
2 Přehled poznatků .....	10
2.1 Srdce .....	10
2.2 Srdeční frekvence .....	11
2.2.1 EKG.....	12
2.3 Variabilita srdeční frekvence.....	12
2.4 Autonomní nervový systém.....	13
2.4.1 Sympatický nervový systém .....	14
2.4.2 Parasympatický nervový systém .....	14
2.4.3 Enterický nervový systém .....	16
2.5 Měření VSF .....	17
2.5.1 Metoda časové domény.....	17
2.5.2 Metoda frekvenční domény.....	18
2.5.3 Pásmo s ultranízkou frekvencí (Ultra Low Frequency Band – ULF) .....	19
2.5.4 Velmi nízkofrekvenční pásmo (Very Low Frequency Band – VLF) .....	19
2.5.5 Nízkofrekvenční pásmo (Low Frequency Band – LF) .....	19
2.5.6 Vysokofrekvenční pásmo (High Frequency Band – HF).....	20
2.5.7 LF/HF .....	20
2.6 Katecholaminy .....	21
2.7 Respirační systém .....	22
2.7.1 Mechanika dýchání .....	22
2.7.2 pCO <sub>2</sub> .....	22
2.8 Fyziologická odpověď organismu na ponoření do studené vody.....	24
2.8.1 Respirační odpověď .....	24
2.8.2 Srdeční odpověď .....	25
2.8.3 Hormonální odpověď .....	25
2.8.4 Regenerační odpověď .....	26
2.9 Otužování.....	28

2.9.1	Historie otužování.....	28
2.9.2	Strategie otužování .....	28
2.9.3	Wim Hofova metoda .....	29
3	Cíle.....	31
3.1	Hlavní cíl.....	31
3.2	Dílčí cíle.....	31
3.3	Výzkumné otázky případně hypotézy.....	31
4	Metodika .....	32
4.1	Výzkumný soubor .....	32
4.2	Metody sběru dat.....	32
4.3	Aplikace Elite HRV .....	32
4.4	Hrudní pás Kalenji Dual Ant+ .....	33
4.5	Prostředí a podmínky .....	33
4.6	Způsob měření.....	33
4.7	Statistické zpracování dat.....	34
5	Výsledky .....	35
5.1	Hodnoty naměřené den před vstupem do vody.....	35
5.2	Hodnoty naměřené v den vstupu do vody.....	36
5.3	Hodnoty naměřené den po vstupu do vody.....	39
5.4	Tabulka korelačních koeficientů .....	40
6	Diskuse.....	42
6.1	Limity studie .....	44
6.2	První výzkumná otázka .....	44
6.3	Druhá výzkumná otázka.....	44
7	Závěry .....	45
8	Souhrn .....	46
9	Summary .....	47
10	Referenční seznam .....	48
11	Přílohy.....	53
11.1	Vzor informovaného souhlasu .....	53



# 1 ÚVOD

Poslední dobou se čím dál tím více lidí snaží otužovat. V roce 2022 to byly téměř 2 miliony dospělých, kteří se otužovali několikrát do roka a 750 tisíc, kteří se ponořovali pravidelně v průběhu roku (Albixon, 2022). Ačkoliv je tato aktivita velice populární, pojí se s ní určitá zdravotní rizika, která mohou být v některých případech i fatální.

Pozitivní vliv ponořování do studené vody (angl. cold water immersion – CWI) byl již v několika studiích potvrzen, především se jednalo o pozitivní vliv na regeneraci po sportovním výkonu (Ascensão et al., 2011; Bailey et al., 2007; Eston & Peters, 1999). Aspekt, který byl zkoumaný o něco méně je vliv CWI na fyziologickou odpověď a adaptaci organismu.

Člověk, který do studené vody vstoupí, vystaví se stresu, na který není zvyklý. Čím je voda studenější, tím je stres a s tím spojené riziko vyšší. Lidé, kteří tedy do studené vody lezou v zimě nebo na konci zimy bez předchozí adaptace a někteří i sami bez dohledu jiné osoby mohou riskovat své zdraví nebo svůj život.

Cílem této bakalářské práce je prozkoumat konkrétní aspekt otužování, a to jeho vliv na fyziologickou adaptaci jednotlivce bez předchozí adaptace a také zjistit, jestli a jakým způsobem je tato náhlá metoda otužování riziková. Zaměřuje se na ponořování do studené vody jako jednu z nejrozšířenějších forem otužování a sleduje její dopad na variabilitu srdeční frekvence. Studie představuje případovou analýzu, kde byly měřeny hodnoty srdeční frekvence u jednoho probanda v terénních podmínkách. Analýzou hodnot variability srdeční frekvence se dají získat informace o reakci těla tuto stresovou situaci (Peabody et al., 2023). S pomocí těchto hodnot se poté dá určit míra rizika pro daného jedince.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Srdce

Srdce (lat. cor) je svalový orgán skládající se ze čtyř dutin, pravé a levé předsíně a pravé a levé komory, nacházející se v oblasti mezihrudí (Orel, 2019). „Velikost srdce odpovídá asi velikosti pěsti člověka, kterému srdce náleží a jeho hmotnost se pohybuje mezi 270-320 gramy“ (Dylevský, 2009, p. 397). Samotná stavba srdeční stěny se skládá ze tří vrstev: srdeční nitroblána (endokard), srdeční svalovina (myokard), osrdečník (perikard), který plní funkci vazivového obalu (Rokyta, 2016). Myokard je typ svalové tkáně, která nepodléhá volnému řízení. Jeho tloušťka se liší v jednotlivých pasážích srdce, nejsilnější je u levé komory (Číhák, 2016a). Myokard je dále rozdělován na pracovní myokard zajišťující jednotlivé srdeční stahy a převodní systém srdeční, který zodpovídá za tvorbu a rozvod elektrických impulzů, které jsou podnětem k vykonání srdeční kontrakce a relaxace (Orel, 2019). Pravé a levé dutiny jsou vzájemně odděleny komorovou a předsíňovou překážkou. Mezi jednotlivými dutinami se nacházejí chlopně, které především zabráňují zpětnému toku krve (Rokyta, 2016). Do srdce vedou jednotlivé cévy, které přivádějí nebo odvádějí krev.

Z pravé komory vystupuje kmen plicnice (truncus pulmonalis), z levé komory vychází srdečnice (aorta). Do pravé předsíně vstupuje horní a dolní dutá žíla (v. cava superior et inferior), do levé předsíně vstupují dvě pravé a dvě levé plicní žíly (vv. Pulmonales; Dylevský, 2009, p. 397)

Hlavní funkcí srdce je přečerpávání krve a zajišťování jejího pohybu v cévách. Tuto srdeční akci nebo také srdeční revoluci zajišťuje pravidelný stah (systola) a relaxace (diastola) srdce (Číhák, 2016a). Při systole dochází ke stažení srdce, což zapříčiní vypuzení krve do oběhu a při diastole dochází k uvolnění srdce, což umožní přítok krve do určité srdeční dutiny (Orel, 2019). Ze srdce proudí krev do velkých tepen, odtud do malých tepen a dále do kapilár, kde dochází k výměně plynů a tekutin mezi tkání a krví (Elišková & Naňka, 2006).

Krev v lidském organismu proudí ve dvou obězích, a to v malém plicním oběhu a velkém tělním oběhu. Do pravé předsíně je nasávána odkysličená krev z těla, která dále pokračuje přes trojcípou chlopně do pravé komory a odtud skrz plicní kmen do plicního řečiště, kde se okysličí (Silbernagl & Despopoulos, 2016). Okysličená krev se vrací čtyřmi plicními komorami zpět do srdce do levé předsíně. Z levé předsíně pokračuje přes

dvojcípou chlopeň do levé komory, kde začíná velký tělní oběh. Z levé komory protéká krev do aorty, která ji rozvádí dále po těle. Zpátky se krev vrací do pravé předsíně. Pumpou pro malý oběh je pravá komora, pro velký oběh levá komora (Dylevský, 2009).

Objem krve, který je srdcem vypuzen při jedné systole (= systolický objem) se obecně uvádí jako 70 – 80ml (Silbernagl & Despopoulos, 2016). Pokud tento údaj vynásobíme průměrnou srdeční frekvencí 70 tepů za minutu, vyjde nám hodnota 4,9 – 5,6 litrů za minutu, což je hodnota pro množství krve vypuzené srdcem za minutu neboli minutový srdeční objem (Rokyta, 2016; Silbernagl & Despopoulos, 2016). Při zvyšujícím se fyzickém zatížení se zvyšuje nejen srdeční frekvence ale i velikost systolického objemu a tím pádem i minutový srdeční objem. „Při maximálním zatížení může hodnota SF u mladých netrénovaných osob dosáhnout více než 200 tepů/min, což při SV = 100 ml odpovídá množství přečerpané krve 20 l/min“ (Botek, Neuls, et al., 2017, p. 41). Zrychlení nebo zpomalení srdeční aktivity zajišťuje především autonomní nervový systém (Rokyta, 2016).

## 2.2 Srdeční frekvence

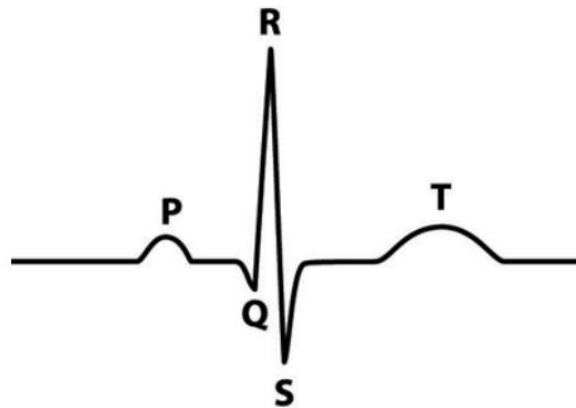
Srdeční frekvence (SF, anglicky Hearth rate, HR) je počet úderů srdce za jednu minutu.

SF je již po mnoho let využívána jako jednoduchý indikátor intenzity zatížení a v klidových podmínkách jako signalizátor funkčního stavu organismu. V minulosti sloužily změny v ranní klidové SF, kterou si sportovci měřili soustavně i přes rok, ke sledování rostoucí únavy či blížících se zdravotních komplikací, přetížení nebo přetrénování apod. (Botek, Neuls, et al., 2017, p. 63)

Hlavní regulaci srdeční činnosti zařizuje autonomní nervový systém. Jak již bylo zmíněno výše, prostřednictvím sympatiku se SF zvyšuje, naopak při působení parasimpatiku se SF snižuje (Orel, 2019). „V případě řízení srdečního rytmu dochází vlivem aktivity ANS, zejména parasympatické (vagové) aktivity, k přirozenému kolísání SF, pro které se vžilo označení variabilita srdeční frekvence (VSF; Botek, Neuls, et al., 2017, p. 63)

### 2.2.1 EKG

„Elektrokardiografie je zaznamenávání všech akčních potenciálů srdečních snímaných z povrchu těla“ (Rokyta, 2016, p. 127). Jedná se o základní vyšetření poruch srdečního rytmu (Rokyta, 2016). „Elektrická aktivita myokardu se dá díky vodivosti tkání snímat na povrchu těla a zaznamenat ve formě elektrokardiogramu, která má svůj typický průběh...“ (Botek et al., 2017, p. 54). Na elektrokardiogramu (EKG křivce) se nachází vlna P, která značí depolarizace síní, dále interval PQ, kdy dochází ke kontrakci síní. Komplex QRS obsahuje negativní kmit Q a S a pozitivní kmit R a značí depolarizaci a kontrakci komor. Segment ST a vlna T označují úsek, kde dochází k repolarizaci komor (Botek, Neuls, et al., 2017; Rokyta, 2016). Křivku EKG můžeme vidět na Obrázku 1.



Obrázek 1. Křivka EKG ((Botek, Neuls, et al., 2017)

### 2.3 Variabilita srdeční frekvence

Pojmem variabilita srdeční frekvence (VSF, nebo také HRV z anglického Heart Rate Variability) se rozumí variace a odchylky jak okamžité srdeční frekvence, tak RR intervalu (intervalu dvou po sobě jdoucích stahů srdce; Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Toto kolísání je dáno především střídáním působení sympatiku a parasympatiku (Malik et al., 1996). Mezi další regulátory VSF patří aferentní impulzy z receptorů plicního rozpětí, arteriové baroreceptory monitorující změny tlaku v krvi, spánková deprivace, pohlaví nebo různé lokální mechanismy (Botek, Krejčí, et al., 2017; Javorka, 2008). Analýza variability srdeční frekvence je jedna z neinvazivních metod zakládající se právě na měření tohoto kolísání srdeční aktivity (Pumprla et al., 2002). Pomocí této analýzy se

dá zjistit spousta důležitých informací jako je kvalita životního stylu, kvalita spánku (Botek, Neuls, et al., 2017) anebo výskyt rizikových srdečních problémů. Vysoká variabilita srdeční frekvence je známkou dobré přizpůsobivosti, což naznačuje, že zdravý jedinec má dobře fungující autonomní kontrolní mechanismy. Naopak nízká variabilita je zpravidla indikátorem abnormální a nedostatečné adaptace autonomního nervového systému z čehož vyplívá přítomnost fyziologické poruchy (Pumprla et al., 2002). Analýza VSF je tudíž používána nejen ve sportovních odvětví, ale především v medicíně, kdy se používá u osob, které prodělali infarkt myokardu (Malik et al., 1996).

## 2.4 Autonomní nervový systém

Autonomní nervový systém nebo také vegetativní nervový systém (dále jen ANS) je nervový systém, který vede nervová vlákna do hladké svaloviny, srdce a žláz. Ačkoliv je ANS podřízen centrálnímu nervovému systému (CNS), je na něm poměrně nezávislý, a tudíž není ovlivnitelný lidskou vůlí. Tato nezávislost je dána především zapojením neuronů v gangliích nenacházejících se v CNS a také neuronů nacházejících se přímo ve stěnách jednotlivých orgánů, které ke své funkci nepotřebují vliv CNS. ANS řídí celou řadu důležitých životních jako například srdeční činnost nebo žlázovou sekreci (Číhák, 2016b).

Centrální část ANS je hierarchicky uspořádána na autonomní jádra v postranních rozích míchy na nejnižší úrovni, zajišťující jednoduché útrobní reflexy, jako je například rozšíření zorniček. Podobná autonomní jádra se nacházejí také na úrovni kmene, ale jsou zde i „jádra retikulární formace, která se již podílejí na řízení složitějších autonomních reakcí, jako je řízení kardiovaskulárního a respiračního systému“ (Rokyta, 2016, p. 352). Poslední nadřazenou částí míchy a kmene je hypotalamus, který je považován za řídicí centrum ANS (Orel, 2019).

Periferní část ANS je složena z nervových vláken dostředivých (aferentních) a odstředivých (eferentních). Aferentní vlákna (menšinová) přivádí informace z vnitřních orgánů a tkání do mozku, eferentní (většinová) naopak vedou informace k hladké svalovině vnitřních orgánů, k myokardu a k různým žlázám (Rokyta, 2016).

ANS se dělí na sympatikus (lat. pars sympathica) a parasympatikus (lat. pars parasympathicus) v závislosti na „funkčních účinků na orgánové systémy“ (Číhák, 2016b, p. 610). Sympatikus je více zaměřen na tvorbu energie a její rychlou aktivaci

v případě obrany nebo útoku (fight or flight), parasymptikus na druhou stranu dlouhodobě udržuje organismus v klidu, napomáhá získávat energii a ukládat ji (Grim et al., 2014). Tyto dva systémy reagují jak na venkovní podněty, tak i na vnitřní podněty těla a snaží se o koordinaci mezi sebou. „Takovéto antagonistické působení obou systému nejde ovšem do důsledků; převažují koordinované působení obou systémů, představující funkční jednotu organismu a udržující optimální stav“ (Čihák, 2016b, p. 610). Kromě sympatiku a parasymptiku existuje také enterický nervový systém, který řídí napětí a pohyb stěn trávicí trubice (Čihák, 2016b).

Jak sympatikus, tak parasymptikus zajišťují spojení CNS s periferními orgány jako je hladká svalovina, cévy anebo žlázy (Grim et al., 2014). Tím, že se jedná visceromotorické systémy, nespojí CNS s orgány přímo, ale pomocí neuronů v gangliích, na které jsou přepojovány (Čihák, 2016b). Pregangliové neurony, nacházející se v míše a v mozgovém kmeni jsou neurony, které vedou signál do ganglií a postgangliové neurony jsou ty, které vedou signál z ganglií dále do místa určení (Grim et al., 2014).

#### **2.4.1 Sympatický nervový systém**

Jak již bylo zmíněno, sympatikus se aktivuje především v situacích, kdy je organismus ve stresu nebo se cítí ohrožen. Při aktivaci sympatiku dochází ke zrychlení srdeční frekvence, zvýšení krevního tlaku, ke snížení činnosti trávicího systému (Orel, 2019). Mimo jiné dochází také k aktivaci dřeně nadledvin. Sympatikus také inervuje většinu cév (Rokyta, 2016). Nervstvo sympatického systému můžeme rozdělit na čtyři oddíly, a to na oddíl krční, hrudní, břišní a pánevní, proto se také sympatickému systému jinak říká cervikothorakolumbalní, jeho pregangliové neurony se nacházejí v oblasti míchy v segmentech C<sub>8</sub>–L<sub>3</sub> (Rokyta, 2016). „Mediátorem pregangliových zakončení je acetylcholin, postgangliových noradrenalin (vyjma cév kosterních svalů a potních žláz, kde jeho funkci zastupuje acetylcholin; Botek, Neuls, et al., 2017, p. 62).

#### **2.4.2 Parasympatický nervový systém**

Parasympatický systém nebo také kraniosakrální autonomní nervový systém, se aktivuje v klidu, pokud organismus odpočívá, po jídle, v bezpečí. Funguje protichůdně oproti sympatiku, tedy tlumí funkce, jejichž aktivity jsou sympatikem zvyšovány (Orel, 2019). Dochází ke zvýšené aktivitě trávicího systému a k ukládání energie ke zpomalení srdeční frekvence a zpomalení dýchání (Rokyta, 2016). Aktivita parasymptiku je

spojena s činností X. hlavového nervu, proto se také hovoří o vagové aktivitě (Botek, Neuls, et al., 2017). „Vagová vlákna jdou ke svalovině srdce bronchů a k orgánům břišní dutiny. S vagem jdou vlákna ke svalovině cév ledvin a k hornímu úseku močovodů. Na končetinách parasympatická inervace zřejmě úplně chybí“ (Dylevský, 2009, p. 474). „Mediátorem pregangliových i postgangliových zakončení parasympatiku je acetylcholin, který se váže v cílové tkáni na cholinergní receptory nikotinového (mozek, kosterní svalstvo) a muskarinového (hladké svaly, žlázy, převodní systém srdeční) typu“ (Botek, Neuls, et al., 2017, p. 62). Funkce sympatiku a parasympatiku na cílový orgán jsou popsány v Tabulce 1.

## Tabulka 1

### *Funkce sympatiku a parasympatiku*

Děj, cílový orgán	Působení	
	Sympatiku	Parasympatiku
Metabolismus	Katabolické děje	Anabolické děje
Tělesná teplota	Zvýšení	Snížení
Srdeční frekvence	Zrychlení	Zpomalení
Koronární tepny	Rozšíření	Zúžení
Krevní tlak	Zvýšení	Snížení
Bronchy	Rozšíření	Zúžení
Svalstvo trávicí trubice	Útlum peristaltiky	Zvýšení peristaltiky
Žlázy trávicí trubice	Snížení sekrece	Zvýšení sekrece
Svěrače (hladké svalstvo)	Konstrikce	Dilatace
Svalovina žlučníku	Snížení stahů	Podpora stahů
Sekrece žluči	Snížení	Zvýšení
Produkce moči	Snížení	Zvýšení
Močový měchýř	Kontrakce svěrače, relaxace Stěny měchýře	Relaxace svěrače, kontrakce Stěny měchýře
Zornice	Mydriáza (rozšíření)	Mióza (zúžení)
Oční víčka	Široké rozevření	Přivření
Sekrece potu	Zvýšení (řídský pot)	-
Sekrece slin	Snížení (husté sliny)	Zvýšení (řidké sliny)
Genitál (muž)	Ejakulace	Vazodilatace (erekce)
Genitál (žena)	Zvýšení kontrakcí dělohy, Vejcovodu	Vazodilatace (prokrvení zevního genitálu)

Upraveno podle Botek, Neuls et al. (2017).

### **2.4.3 Enterický nervový systém**

„Enterický systém je relativně nezávislý, vysoce integrovaný systém, který reguluje řadu funkcí trávicí trubice a k ní připojených (z ní vzniknuvších) orgánů“ (Čihák, 2016b,



p. 625). Pod toto označení spadají nervová ganglia a nervové pleteně uložené ve stěně trávicí trubice (Grim et al., 2014). „Enterický systém je odpovědný za koordinovanou motilitu žaludku a střeva, reguluje sekreci HCl v žaludku, sekreci střevní šťávy, sekreci gastrointestinálních hormonů, transporty iontů ve sliznicích, průtok krve trávicí trubici a růst slizničních buněk“ (Grim et al., 2014, p. 115).

## 2.5 Měření VSF

Měření VSF probíhá za pomoci měření jednotlivých RR intervalů. „Základní jednotkou RR intervalu je sekunda (s), v praxi se často používá milisekunda (ms)...“ (Botek, Krejčí, et al., 2017, p. 48). V závislosti na délce jednotlivých záznamů se zaznamenává krátkodobá variabilita (short-term variability, STV), u které trvá záznam obvykle pět minut, anebo dlouhodobá variabilita (long-term variability, LTV), kdy je variabilita měřena pomocí tzv. holteru celých 24 hodin (Javorka, 2008). Dále se používá také ultra krátký záznam VSF (ultra-short-term variability, UST), který trvá méně než 5 minut (Shaffer et al., 2020). Existuje několik metod pro zpracování tohoto záznamu mezi známější patří spektrální analýza VSF, metoda časové domény, mezi méně používané například nelineární metody (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996).

### 2.5.1 Metoda časové domény

Tato metoda je jednou z nejjednodušších metod, je tedy i nejstarší metodou. Jedná se analýzu intervalu mezi jednotlivými QRS komplexy, konkrétněji mezi R-kmity, proto se také tento interval nazývá RR interval nebo NN (Normal-to-Normal) interval. (Javorka, 2008) „Nejčastěji se vyhodnocuje SDNN (standard deviation of the NN-intervals) – standardní odchylka NN-intervalů. SDNN výrazně závisí na délce záznamu...Vhodné se zdají být 5-minutové (pro STV) a 24-hodinové (pro LTV) záznamy.“ (Javorka, 2008, 48). Rozptyl VSF se zvětšuje zároveň s prodlužováním délky záznamu, proto by neměli být porovnávány údaje s rozdílnou délkou záznamu (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Mezi další časové ukazatele patří:

- SDANN (standard deviation of the average NN intervals) – standardní odchylka NN intervalu v 5-minutových úsecích (jednotkou je ms).
- SDDSD (standard deviation of the successive differences between adjacent NN intervals) – standardní odchylka rozdílů sousedících intervalů (jednotkou je ms).
- rMSSD (square root of the mean squared differences of successive NN intervals) – druhá odmocnina průměru druhých mocnin rozdílu mezi sousedními RR intervaly (jednotkou je ms).
- $\ln(rMSSD)$  – přirozený logaritmus rMSSD, který se používá při umocňování s rMSSD, protože umocněné hodnoty dosahují příliš vysokých čísel, kdežto hodnoty  $\ln(rMSSD)$  se pohybují v řádech jednotek.
- NN50 – počet sousedních RR intervalů, které se liší o více než 50 ms.
- pNN50 – počet NN50 vydělený počtem všech intervalů (vyjádřeno v %).
- SDNN/rMSSD – poměr ukazatelů SDNN a rMSSD, který je vhodnou náhradou poměru LF/HF.

(Botek, Krejčí, et al., 2017; Javorka, 2008; Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996; Vojtěchovský, 2020; Wang & Huang, 2012)

Časové intervaly NN se mohou hodnotit také z geometrického hlediska, a to tak, že se převedou na geometrický obrazec. K tomuto hodnocení je ovšem zapotřebí delšího záznamu, nejméně 20 minut ale ideálně 24 hodin, proto se z hlediska analýzy STV záznamu nepoužívá (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996).

### **2.5.2 Metoda frekvenční domény**

Frekvenční (nebo také spektrální) analýza je další z metod používaných pro hodnocení VSF. Na rozdíl od časové metody „...nehodnotí průběh RR intervalů v čase, ale hodnotí výsledky spektrální analýzy, která obecně představuje soubor metod použitelných pro detekci a hodnocení periodicity v signálu“ (Botek, Krejčí, et al., 2017, p. 55). „Tato metoda využívá pro převod časových rozdílů mezi RR intervaly (v ms) například metodu rychlé Fourierovy transformace, která tyto časové změny převede do frekvenční oblasti za vzniku výkonového spektra v rozsahu 0,02 Hz až 0,5 Hz...“ (Botek,

Neuls, et al., 2017, p. 65). Na určení frekvence a kvantifikaci jednotlivých složek se používají dvě metody – první častější neparametrická metoda rychlé Fourierově transformace (FFT) a druhá, méně častá, parametrická metoda (Javorka, 2008). Obě metody mají své výhody a nevýhody. U první zmíněné je to především jednoduchost použitého algoritmu a rychlé zpracování, u druhé jsou výhody hladší spektrální složky a jednoduchost následného zpracování (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). U spektrální analýzy můžeme rozlišit tři, respektive čtyři frekvenční pásma. Při STV se jedná o pásma tři, při LTV o čtyři (Botek, Krejčí, et al., 2017).

### ***2.5.3 Pásmo s ultranízkou frekvencí (Ultra Low Frequency Band – ULF)***

ULF pásmo má frekvenční rozsah menší než 0,003 Hz, vyskytuje pouze v případě dlouhodobého záznamu (alespoň 24 hodin; Shaffer & Ginsberg, 2017) a „...odráží cirkadiánní rytmus kolísání autonomního tonusu“ (Javorka, 2008, p. 50). Další z faktorů ovlivňujících tuto frekvenci mohou být tělesná teplota nebo metabolismus (Shaffer & Ginsberg, 2017). Ke zvýšení aktivity v tomto pásmu přispívá pravidelný pohyb a sport (Javorka, 2008).

### ***2.5.4 Velmi nízkofrekvenční pásmo (Very Low Frequency Band – VLF)***

Frekvenční rozsah VLF je 0,0033-0,04 Hz a může být monitorováno při záznamu STV, ale pro nejlepší výsledky je ideální LTV záznam (Shaffer & Ginsberg, 2017). Nízký výkon VLF je spojen s větším rizikem celkové mortality a s nižší hladinou testosteronu v krvi (Shaffer & Ginsberg, 2017).

### ***2.5.5 Nízkofrekvenční pásmo (Low Frequency Band – LF)***

Toto frekvenční pásmo je definováno rozsahem 0,04 – 0,15 Hz a jeho aktivita je výsledkem především aktivity baroreceptorů, které jsou ovlivňované funkcí sympatiku a parasimpatiku. „Složka LF frekvenčního spektra se fyziologicky zvýrazní aplikací podnětů, které zvyšují aktivitu sympatiku, t. j. v ortostáze – při postavení se anebo při pasivním vzpřímení na naklápěcím stole (60-90°), duševním strese a mírném fyzickém cvičení u zdravých jedinců“ (Javorka, 2008, 50).

### **2.5.6 Vysokofrekvenční pásmo (*High Frequency Band – HF*)**

Vysokofrekvenční pásmo má frekvenční rozsah 0,15-0,40 Hz a je zároveň nazýváno jako pásmo dýchací, protože odráží vliv respirace na činnost srdce (Shaffer & Ginsberg, 2017). „...je považován za ukazatele parasympatické kontroly srdce a je ovlivněn především kolísáním vagové aktivity“ (Javorka, 2008, p. 49). Při nádechu se rychlost srdeční frekvence zrychluje, naopak při výdechu zpomaluje. V noci se může výkon vysokofrekvenčního pásma zvyšovat, ve dne naopak snižovat (Shaffer & Ginsberg, 2017).

### **2.5.7 LF/HF**

Poměr LF – HF se používá ke kvantitativnímu určení hodnoty sympatovagové rovnováhy. Čím vyšší je hodnota poměru, tím vyšší je dominance sympatiku a naopak (von Rosenberg et al., 2017). Spolehlivost tohoto poměru byla několikrát zpochybněna. Například Billman (2013) ve své studii uvádí, že komplexní vzájemné působení sympatiku a parasympatiku nelze vyjádřit pouze lineárním číslem. Dalším argumentem proti spolehlivosti je fakt, že variabilita v nízkofrekvenčním pásmu není pouze indexem aktivity sympatiku, ale zhruba polovina je tvořena aktivitou parasympatiku (Shaffer & Ginsberg, 2017). Ve specifických situacích by vhodnou náhradou LF/HF mohl být SDNN/rMSSD, například při měření vleže (Wang & Huang, 2012).

## 2.6 Katecholaminy

Katecholaminy jsou stresové hormony vznikající v dřeni nadledvin. Mezi ně řadíme adrenalin (epinefrin), noradrenalin (norepinefrin; Orel, 2019). Noradrenalin a adrenalin jsou hlavní hormony, jejichž koncentrace se v těle zvyšuje při fyzické zátěži (Zouhal et al., 2008). Můžou také fungovat jako neurotransmitery. Jejich syntéza probíhá na dvou úrovních: (i) koncové části sympatického nervového vlákna pro noradrenalin; a (ii) chromafinní buňky dřene nadledvin pro linii indukovanou adrenalinem i noradrenalinem. Tudíž je noradrenalin považován za neurotransmitter a hormon, a adrenalin pouze za hormon (Zouhal et al., 2008). „Noradrenalin je mediátorem postgangliových vláken sympatiku. V mozkovém kmeni se noradrenergní neurony vyskytují v locus coeruleus, další oblastí s noradrenergní aferentací je mozeček a epifýza“ (Rokyta, 2016, p. 50). Látky důležité pro vznik noradrenalinu jsou aminokyseliny fenylalanin a tyrozin. Existují dohromady čtyři receptory,  $\alpha_1$   $\alpha_2$   $\beta_1$   $\beta_2$ , kdy receptory  $\alpha_1$   $\alpha_2$  více reagují s noradrenalinem a receptory  $\beta_1$   $\beta_2$  více reagují s adrenalinem (Rokyta, 2016).

## 2.7 Respirační systém

Respirace (dýchání) je proces, při kterém dochází k výměně plynů mezi atmosférou, krví a tkáňovými buňkami (Dylevský, 2009). Samotný cyklus se skládá ze tří fází, přičemž respirační systém se přímo podílí pouze na prvních dvou. Jsou jimi plicní ventilace, kdy dochází k výměně plynů mezi plicemi a atmosférou, difúze plynů neboli přestup dýchacích plynů přes alveolo-kapilární membránu do krve a transport dýchacích plynů krví, při které je potřeba součinnosti i oběhového systému (spolu s dýchacím tvoří takzvaně kardiopulmonální systém; Dylevský, 2009). Nejdůležitějším orgánem dýchací soustavy jsou plíce, do kterých proudí vzduch z vnějšího prostředí dýchacími cestami, skládajícími se z dutiny nosní a ústní, nosohltanu, hrtanu, průdušnic a průdušek, které ústící do plicních laloků (Botek, Neuls, et al., 2017).

### 2.7.1 Mechanika dýchání

Dýchání se dělí na aktivní nádech a pasivní výdech. Jednomu nádechu a výdechu se říká dechový cyklus. „Během klidného dýchání je výdech třikrát delší než nádech. Při normálním klidovém dýchání, kdy dechový objem dospělého muže činí 400-500 ml vzduchu, je dechová frekvence 15-16 cyklů za minutu“ (Rokyta, 2016, p. 96) Minutová plicní ventilace se tedy v průměru pohybuje kolem 7 l/min. Při fyzické zátěži se minutová plicní ventilace zvedá a u trénovaných jedinců může dosahovat až 180-200 l/min (Botek, Neuls, et al., 2017). Centrální a periferní chemoreceptory reagují na změny parciálních tlaků  $O_2$  a  $CO_2$ , na základě čehož dochází k regulaci dýchání (Botek, Neuls, et al., 2017).

### 2.7.2 $pCO_2$

Parciální tlak  $CO_2$  ( $pCO_2$ ) je měření koncentrace oxidu uhličitého v žilní nebo tepenné krvi. Obvykle se vyjadřuje v jednotkách milimetrů rtuťového sloupce (mmHg) nebo kilopascálech (kPa). Obvyklá hodnota  $pCO_2$  se udává v hodnotách mezi 35 a 45 mmHg, nebo mezi 4.7 a 6.0 kPa (Messina & Patrick, 2022). Čím vyšší je hladina  $pCO_2$  v krvi, tím je krev kyselejší a dochází k narušení acidobazické rovnováhy. Organismus, který se snaží o udržení acidobazické rovnováhy reaguje na zvýšenou koncentraci rychlým a hlubokým dýcháním, aby se hodnota snížila a došlo opět k rovnováze (Adrogué & Madias, 2010). O rychlost a hloubku nádechů se stará inspirační (vdechové)

centrum, které dostává informace z chemoreceptorů velkých cév,... „například z receptoru ve stěně krkavice, který je citlivý na změny kyselosti a  $pO_2$  protékající krve“ (Dylevský, 2009, p. 351).

## 2.8 Fyziologická odpověď organismu na ponoření do studené vody

Organismus, který je po určitou dobu ponořen do studené vody, vykazuje určité fyziologické odpovědi. Tyto odpovědi můžeme rozlišit na ty, ke kterým dochází ještě při ponoření, ať už okamžitě do několika vteřin anebo postupně. Zde patří odpověď respiračního systému a kardiovaskulárního systému, stejně tak jako hormonální odpověď. Další kategorií je ta, kdy se odpověď organismu projeví až po určité době od ponoření do vody.

### 2.8.1 Respirační odpověď

K respirační odpovědi organismu dochází v naprosté většině případů v prvních několika vteřinách od vstupu do vody. Tato odpověď vrcholí do 30 vteřin a v prvních třech minutách se jedinec ponořený do vody adaptuje (Datta & Tipton, 2006). V prvotním okamžiku dochází ke zvýšení počtu dechů, ke zvýšení dechového objemu a rezervního inspiračního objemu (Tipton et al., 1991).

Dle Coopera, Martina a Ribena (1976), kteří zkoumali změnu  $p\text{CO}_2$  v lidském těle, dochází ve vodě s teplotou  $10\text{ }^\circ\text{C}$  k prohloubenému dýchání, a tedy i k poklesu parciálního tlaku  $\text{CO}_2$  v krvi. Podle další studie dochází ke značnému nárůstu minutové plicní ventilace v závislosti na teplotě vody (Keatinge & Evans, 1961). Z této studie vyplývá, že při ponoření do studené vody o teplotě  $5\text{ }^\circ\text{C}$  po dobu 20 minut v klidu dochází k nárůstu průměrné minutové plicní ventilace na  $25\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  oproti ponoření do vody o teplotě  $35\text{ }^\circ\text{C}$  kdy se průměrná minutová plicní ventilace pohybovala kolem  $10\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . V případě konání fyzické aktivity v 5stupňové vodě se tato hodnota pohybovala kolem  $38\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ , zatímco ve vodě o teplotě  $35\text{ }^\circ\text{C}$  jen kolem  $24\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Zároveň byla zjištěna souvislost mezi teplotou vody a velikostí poklesu parciálního tlaku, kdy platí čím nižší teplota vody, tím větší pokles parciálního tlaku (Cooper et al., 1976).



### **2.8.2 Srdeční odpověď**

Další fyziologickou odpovědí na CWI je změna srdeční frekvence. Podle několika studií (Cooper et al., 1976; Keatinge & Evans, 1961) dochází okamžitě při ponoření (do 2-3 vteřin) k srdeční tachykardii (zvýšená tepová frekvence). U Keatingovi a Evansovi (Keatinge & Evans, 1961) studie lze pozorovat změnu srdeční frekvence v rozdílných teplotách vody. V případě teploty 5 °C se jedná o nárůst v první minutě od ponoření až o 20 tepů za minutu, načež se tato hodnota s časem dále příliš nemění. V případě vyšších teplot (15–35 °C) dochází k podobnému nárůstu v prvních minutách, ovšem po 10 minutách dosahuje tato hodnota nižší úrovně než byla hodnota srdeční frekvence před ponořením. V jiné studii (Keatinge et al., 1964), která se věnovala změně srdeční frekvence při pobytu pod studenou sprchou, se zjistil podobný nárůst v tepové frekvenci minutu po spuštění tekoucí vody.

Co se týče změny srdeční frekvence v případě pravidelného vystavování se studené vodě, dochází ke snížení. Podle Goldeny a Tiptona (1988) se při opakovaném vystavení se studené vodě (deset vystavení v rámci deseti dnů) počáteční tepová frekvence, měřená minutu po vstupu do vody, snížila poslední den v průměru o 30 tepů oproti dnu prvnímu.

Další změnou, která byla vypořádována je změna krevního tlaku, respektive jeho zvýšení v prvních vteřinách od vystavení se studené vodě. U testovaných subjektů dosahoval systolický a diastolický tlak naměřený těsně před studenou sprchou průměrné hodnoty 134/78 mmHg a po prvních 2-3 vteřinách tato hodnota stoupla na 175/93 mmHg (Keatinge et al., 1964).

Ve stejné studii byl také zjištěn zvýšený srdeční výdej při pobytu pod tekoucí studenou vodou u dvou ze 22 testovaných subjektů, a to u prvního subjektu ze 7,9 l/min na 12,4 l/min, a u druhého ze 6,5 l/min na 13,0 l/min (Keatinge et al., 1964).

### **2.8.3 Hormonální odpověď**

Při náhlém vystavení chladu dochází u savců k zahřátí organismu dvěma způsoby. Prvním způsobem je mechanický třas svalů, druhým je zvýšená produkce hormonů a ostatních biomechanických procesů nezávislých na svalovém třasu (Arnett & Watts, 1960).

Jánský et al. (1996) ve své studii zjistil, že ponoření do studené vody má vliv na zvýšení množství katecholaminu, konkrétně noradrenalinu, v krevní plazmě. U měřených osob probíhal odběr krevních vzorků těsně před ponořením a těsně po ponoření. Výsledky ukazují značný nárůst dosahující až čtyřnásobné hodnoty oproti stavu před ponořením. Ponoření subjektů do studené vody vyvolává značnou aktivaci sympatického nervového systému (Janský et al., 1996).

Při ponoření do vody o teplotě 10 °C se dle studií Johnsona et al. (1977) výrazně zvýšila koncentrace noradrenalinu v krevní plazmě. Tento nárůst pokračoval až na maximální hodnotu  $1171 \pm 226$  pg/ml po 45 minutách. Zároveň se také zvýšila hodnota pro bazální metabolismus, a to v průměru na 2,7násobek hodnoty naměřené před ponořením do vody (Johnson et al., 1977). Zároveň bylo zjištěno, že při přechodu ze studené vody do teplé (27 °C, postupným zvyšováním až na 40 °C) docházelo k prudkému poklesu jak hodnot koncentrace noradrenalinu, tak hodnot bazálního metabolismu (Johnson et al., 1977).

S podobným, výsledkem přišel i LeBlanc, Cote, Jobin a Labrie (1979), kteří také našli souvislost mezi zvýšenou koncentrací noradrenalinu a ponořením se do studené vody. Hodnoty koncentrace nebyly tak vysoké, ovšem může to být dáno tím, že testované subjekty měli ve vodě ponořené pouze ruce, a ne celé tělo, jak tomu bylo v předchozích studiích.

Z předchozích studií také vyplývá, že k výraznému nárůstu hodnoty koncentrace katecholaminu dochází pouze v případě noradrenalinu. V případě adrenalinu je tento nárůst téměř zanedbatelný.

#### **2.8.4 Regenerační odpověď**

Podle různých studií (Bailey et al., 2007; Eston & Peters, 1999) má ponoření do studené vody vliv také na svalovou regeneraci po fyzické zátěži. Eston a Peters (1999), kteří testovali tento vliv na cvičením vyvolané svalové poškození horní končetiny, zjistili, že skupina dívek, která byla po cvičení vystavena regeneraci ve studené vodě (kryoterapie), dosahovala v následujících dnech od zátěže lepších výsledků než skupina, která vodě vystavena nebyla. Na dívkách byly měřeny následující kritéria: množství kreatinkinázy v krevní plazmě, velikost izometrické síly horní končetiny, velikost úhlu v uvolněném loketním kloubu, svalová citlivost a obvod horní končetiny. Tyto údaje byly měřeny těsně před fyzickou zátěží a poté každých 24 hodin po dobu tří dnů (Eston &

Peters, 1999). Ve všech těchto měřeních dosahovaly dívky, které absolvovaly kryoterapii lepších výsledků než druhá skupina dívek. Nejvýznamnějším zjištěním byla závislost kryoterapie na rychlosti regenerace svalového zkrácení. Dle Estona a Peterse (1999) výsledky podporují tvrzení, že kryoterapie může snížit rozsah zkrácení svalu a jeho pojivové tkáně po namáhavém excentrickém cvičení.

Podobnou studii provedl Bailey et al. (2007), v níž byl měřen vliv kryoterapie na svalové poškození dolních končetin po fyzické zátěži. Ve studii bylo měřeno mimo jiné maximální izometrická kontrakci kolenních flexorů a extenzorů na dynamometru a vnímaná bolest jednotlivých měřených osob. V obou případech dosahovaly opět osoby, které absolvovaly kryoterapii, lepších výsledků než osoby, které regenerovaly bez pomoci kryoterapie.

Vliv na rychlost regenerace má také teplota vody. Ve své studii se kolektiv Ascensão et al. (2011) věnoval rozdílu rychlosti regenerace ve studené vodě (10°C) a ve vodě teplé (35°C). Skupina dvaceti fotbalových hráčů absolvovala test fyzické zátěže před fotbalovým zápasem a několikrát po něm, zároveň jim byl odebírán krevní vzorek, ze kterého byla zkoumána hladina kreatinkinázy a hladina myoglobinu. Hráči, kteří absolvovali regeneraci ve studené vodě dosahovali lepších výsledků ve fyzických testech a zároveň byla jejich hodnota aktivity kreatinkinázy nižší a hladina myoglobinu klesala rychleji na původní úroveň než u hráčů, kteří regenerovali v teplé vodě.

## 2.9 Otuzování

### 2.9.1 Historie otuzování

Otuzování je přivykání organismu všelikým vlivům povětrnosti, namáhání tělesnému i rozmanitému střádání, čímž tělo sílí a povšechná jeho energie i jednotlivé výkony tělesné se zvyšují. Nejčastější otuzovací metody jsou: důsledné omývání těla studenou vodou, sprchy, koupání, pravidelné procházky, prováděné vytrvale za každé pohody, přiměřený oděv, nepřipouštějící, aby tělo se v něm zapařilo, přebývání ve světnicích dobře větraných a nepřetopených, přiměřený tělocvik, rozumný sport a náležitá strava. (Otto, 1902, p. 992)

V dnešní době se pojmem otuzování myslí především vystavování se chladu, ať už ve formě pobytu na studeném vzduchu, ledové koupeli nebo sprše. Historii otuzování můžeme dohledat až do Starověku. Sám Sokrates se otuzoval každý den, Seneca se celý rok koupal v řece Tibeře a lékař starověké Číny Fu-Su psal o pozitivních dopadech studeného klimatu na lidský organismus (Dinka et al., 2008).

Mezi novodobé průkopníky otuzování patří Vincenz Priessnitz (1799-1851) pocházející z Jeseníků, na kterého později navázal Sebastian Kneipp (1821-1897; Dinka et al., 2008). Oba se zasadili o rozšíření otuzování a léčbu vodou obecně mezi širokou veřejností. Priessnitz prosazoval léčení výhradně se studenou vodou a rozdíl od Kneippa, který metodiku práce se studenou vodou vylepšil a zároveň k ní přidal metodiku práce s vodou teplou a k tomu další pilíře jako například užívání léčivých bylin, dostatek pohybu, nebo zdravou výživu (Dinka et al., 2008).

Jedna z nejznámějších osob moderní doby, propagující právě otuzování je Nizozemec Wim Hof, který vymyslel Wim Hofovu metodu, díky níž dokázal vydržet v extrémních mínusových teplotách bez známky ohrožení zdraví (Hof & de Jong, 2021).

### 2.9.2 Strategie otuzování

Existují různé názory ohledně správného postupu, jak se otuzovat. Na následujících řádcích budou popsány dva nejpoužívanější způsoby otuzování, a to postup při kterém se daná osoba začíná otuzovat postupně po částech těla a nejprve při mírně studené vodě a postup, při kterém se osoba již při prvním otuzování celá ponoří do studené vody.

V případě, že daná osoba s otuzováním začíná a není tudíž na náhlou teplotní změnu okolního prostředí zvyklá, mělo by mít otuzování nejprve formu potírání se mokřím

ručníkem, houbičkou nebo jinou pomůckou. Voda by neměla být příliš studená a její teplota by se měla snižovat až postupem času. Další fázi otužování jsou studené sprchy. I v tomto případě by voda neměla být příliš studená a doba strávená ve sprše příliš dlouhá, ze začátku postačí několik vteřin. Třetí fázi otužování je ponoření celého těla do vody. S touto fází se doporučuje začít na přelomu léta a podzimu, kdy se již začíná pomalu ochlazovat, ale teplota vody a vzduchu není dostatečně nízká na to, aby došlo k různým zdravotním komplikacím. Tento způsob je především bezpečnější (Komárek, n.d.)

Druhým způsobem, který byl použit pro tuto studii, je náhlé ponoření do studené vody. Tento způsob šetří především čas, protože k pocítění pozitivních účinků na tělo nám stačí pouze několik vteřin pobytu ve studené vodě na rozdíl od pobytu ve vodě vlažné. Ve studenější vodě s teplotou 4,4 °C stačí průměrně 20 sekund ke zvýšení vylučování epinferinu o 200-300 %, oproti tomu ve vodě o teplotě 14 °C je potřeba k dosažení podobným hodnotám čas mnohem delší v řádu několika desítek minut (Mattuš, 2021). Při každém ponoru je důležité zhluboka a kontrolovaně dýchat. V případě ponoření hlavy pod vodu by měla být vždy přítomna další osoba, která by mohla zasáhnout v případě komplikace. Poté co člověk z vody vyleze, neměl by se okamžitě utírat do ručníku a oblékat, ale měl by se zahrát ideálně fyzickou aktivitou (kliky, dřepy aj; Mattuš, 2021)

Mimo tyto dva postupy existuje několik dalších forem otužování. Mezi ně patří například studená sprcha nebo ledové mýdlo, kdy si osoba potírá po těle zmrzlou kostku ledu. K metodám otužování mimo vodu patří venkovní procházky v zimě s minimem oblečení, anebo chůze bosky ve sněhu.

### ***2.9.3 Wim Hofova metoda***

Wim Hofova metoda (WHM) je metoda spojená s otužováním, kterou vymyslel Nizozemec Wim Hof a mimo chladovou terapii zahrnuje také správné dýchání a nastavení mysli (Hof & de Jong, 2021). Tato metoda byla zkoumána na Univerzitě RadBound v Amsterodamském lékařském centru a na univerzitách v New Yorku a Bostnu (Hof & de Jong, 2021). Při těchto studiích bylo zjištěno, že Wim Hof je schopen kontrolovat svůj autonomní nervový systém, a tudíž dokáže vydržet déle v extrémních podmínkách. Tento závěr byl ovšem zjištěn pouze u jednoho jedince, tudíž jej nelze pokládat za spolehlivou hypotézu (Radboud University Nijmegen Medical Centre, 2011).

Jak již bylo zmíněno, metoda spočívá jak na chladové terapii, která může mít jakoukoliv podobu – studená sprcha, studená koupel, pobyt v nádrži s ledem, tak ve způsobu dýchání a v nastavení mysli (Hof & de Jong, 2021). Kontrolované dýchání by nám mělo nejenom pomoci k větší schopnosti zvládat chlad, ale také ke snížení vysokého krevního tlaku, získávání více energie, nebo ke zmenšení bolesti hlavy, krku, zad a kloubů (Hof & de Jong, 2021). Co se týče správného nastavení mysli, je podle Wim Hofa důležité si uvědomit, že lidské tělo je schopno zvládnout více, než si myslí. „Aby Wim Hof demonstroval, že nastavení mysli je důležitější než fyzický trénink, podstoupil následující extrémní výzvu. Uběhl maraton za polárním kruhem.... Wim ovšem žádný tréninkový program nevyužil a sotva si šel zaběhat. Trénoval jen chlad a zejména nastavení mysli“ (Hof & de Jong, 2021).

## **3 CÍLE**

### **3.1 Hlavní cíl**

Hlavním cílem práce je charakterizovat změny fyziologických parametrů při šestitýdenním ponořování do studené vody u zdravého muže bez postupné adaptace.

### **3.2 Dílčí cíle**

- 1) Popsat vliv ponoření do studené vody na ukazatele aktivity parasympatiku
- 2) Popsat vliv ponoření do studené vody na ukazatele sympatovagové balance
- 3) Popsat vliv teploty vody na ukazatele aktivity parasympatiku
- 4) Popsat vliv teploty vody na ukazatele sympatovagové balance
- 5) Popsat vliv času ve vodě na ukazatele aktivity parasympatiku
- 6) Popsat vliv času ve vodě na ukazatele sympatovagové balance

### **3.3 Výzkumné otázky případně hypotézy**

Jaký vliv má otužování bez postupné adaptace při nízkých teplotách na fyziologické charakteristiky jedince?

Je vhodné provést rozsáhlejší studii s cílem zjistit potenciální rizika spojená s tímto přístupem?

## **4 METODIKA**

Výzkum probíhal od března do dubna 2023 ve venkovních prostorách v Mlýnském potoce v Olomouci.

### **4.1 Výzkumný soubor**

Testovaný jedinec byl muž ve věku 21 let, pohybově aktivní. Jedinec před samotným testováním neabsolvoval žádný jiný výzkum nebo proces, zahrnující pravidelné vystavování se studené vodě a nebral léky, které by mohly zkreslit měření. Před absolvováním výzkumu osoba vyplnila informovaný souhlas. Kdykoli mohla z výzkumu vystoupit.

### **4.2 Metody sběru dat**

Jedinec oslovil studenta se zkoumaným problémem sám, tento problém byl nadále představen vedoucímu práce, který jej schválil jako téma bakalářské práce.

### **4.3 Aplikace Elite HRV**

Elite HRV je aplikace pro mobilní telefony a ostatní zařízení vyvinutá v USA v Severní Karolíně. Uživatelům poskytuje informace o jejich naměřené srdeční aktivitě jako je srdeční frekvence nebo variabilita srdeční frekvence. Tyto hodnoty si uživatel může ukládat a poté vzájemně porovnávat. Zároveň uživatelům umožňuje k měřením přidávat jednotlivé subjektivní pocity jako je kvalita spánku nebo pocit nachlazení a sledovat tím vzájemnou spojitost. V aplikaci jsou k jednotlivým hodnotám uvedeny vysvětlivky, aby byly snadno pochopitelné i pro širokou veřejnost. Poslední z možností, které aplikace poskytuje je poslech podcastů a četba vědeckých studií týkajících se právě srdeční aktivity.

Informace o kvalitě srdeční aktivity uživatelům ukazuje HRV skóre, které je založeno na hodnotách rMSSD a uvádí se na škále 1-100, s tím, že čím větší je skóre, tím lepší je zdraví jedince, jeho fyzická kondice a funkční věk (Elite HRV, 2023). Celosvětově je u uživatelů aplikace průměrné skóre 59,3. Obrázek 2 ukazuje hodnoty skóre a rMSSD v závislosti na věku a pohlaví.



Age Range	Gender	rMSSD	ln(rMSSD)	Elite HRV	HRV4Training	Bioforce	ithlete
18-25	Male	86.5	4.5	68.7	86.5	89.2	89.2
	Female	68.7	4.2	65.1	68.7	84.6	84.6
25-35	Male	66.0	4.2	64.5	66.0	83.8	83.8
	Female	55.7	4.0	61.8	55.7	80.4	80.4
35-45	Male	50.4	3.9	60.3	50.4	78.4	78.4
	Female	45.6	3.8	58.7	45.6	76.4	76.4
45-55	Male	39.6	3.7	56.7	39.6	73.6	73.6
	Female	41.7	3.7	57.4	41.7	74.6	74.6
55-65	Male	32.1	3.5	53.3	32.1	69.4	69.4
	Female	32.5	3.5	53.5	32.5	69.6	69.6
65-75	Male	30.6	3.4	52.7	30.6	68.4	68.4
	Female	24.8	3.2	49.4	24.8	64.2	64.2
75+	Male	33.1	3.5	53.9	33.1	70.0	70
	Female	25.5	3.2	49.9	25.5	64.8	64.8

Obrázek 2. Velikost skóre a dalších parametrů v aplikaci Elite HRV (Moore, 2021)

#### 4.4 Hrudní pás Kalenji Dual Ant+

K měření jednotlivých údajů (srdeční frekvence, variabilita srdeční frekvence) byl použit hrudní pás značky Kalenji Dual Ant+ s funkcí Bluetooth a možností bezdrátového připojení s mobilním telefonem. Rozsah srdeční frekvence, kterou pás dokáže změřit je 30-240 úderů za minutu, přesnost měření by měla být  $\pm 1$  úder za minutu. Dva svody umístěné na samotném pásu monitorují elektrickou aktivitu srdce. Svody jsou napojeny na vysílač, který poté tyto hodnoty odesílá pomocí rozhraní Bluetooth do mobilního telefonu. Za předpokladů, že se pás správně nasadí, nachází se svody cca 2 cm pod prsními bradavkami, a tudíž je měření spolehlivější než měření z chytrých hodinek.

#### 4.5 Prostředí a podmínky

Měření a testování probíhalo ve venkovních podmínkách v tekoucí vodě, přesněji v Mlýnském potoce v Olomouci, kdy byla osoba ponořena do výši ramen, hlava zůstala nad vodou. Vzhledem k tomu, že se teplota vody měnila s rostoucí teplotou okolí, nebylo možné dosáhnout při každém měření stejných podmínek. Průměrná teplota vody byla 6,3 °C (nejnižší 3,8 °C, nejvyšší 11 °C), průměrná teplota vzduchu 9,2 °C (nejnižší 1,2 °C, nejvyšší 17,9 °C).

#### 4.6 Způsob měření

Měření probíhalo dvakrát týdně po dobu šesti týdnů vždy alespoň s jednodenním rozstupem mezi měřeními. Ráno ihned po probuzení, kdy si testovaná osoba pomocí hrudního pásu s bluetooth připojením a mobilní aplikace Elite HRV změřila klidovou srdeční frekvence a hodnoty pro variabilitu srdeční frekvence. Měřená osoba byla v poloze leh, samotné trvání měření bylo nastaveno přímo v aplikaci – 1 minuta. Poté

osoba provedla měření těsně před vstupem do vody v sedě. Samotný pobyt ve vodě probíhal v Mlýnském potoce v Olomouci. Před vstupem byla změřena teplota vody a teplota vzduchu pomocí digitálního teploměru ThermoPro TP-01H s přesností na 0,5 °C. Měřená osoba poté vstoupila do tekoucí vody a setrvala v ní v sedu s vodou po krk a měřila čas pobytu pomocí digitálních hodinek. Tento čas nebyl předem stanoven, osoba se snažila ve vodě setrvat do tepelného diskomfortu. Po vylezení z vody došlo k dalšímu měření, opět v sedě. Poslední měření probíhalo vždy den po samostatném vstupu do vody, opět ráno ihned po probuzení v leže.

#### **4.7 Statistické zpracování dat**

Naměřené hodnoty budou zaznamenány do tabulky v programu Excel, kde bude vypočítán průměr hodnot, směrodatná odchylka, medián a minimální a maximální hodnoty. Poté budou hodnoty převedeny do programu Statistica a zde budou vypočítány jednotlivé korelační koeficienty, které budou určeny dle Evans (1996) jako  $r = 0,00 - 0,19$  „velmi slabá“;  $r = 0,20 - 0,39$  „slabá“;  $r = 0,40 - 0,59$  „střední“;  $r = 0,60 - 0,79$  „silná“;  $r = 0,80 - 1,00$  „velmi silná“. Hodnota statistické významnosti byla zvolena  $p = 0,05$ .

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Hodnoty naměřené den před vstupem do vody

**Tabulka 2**

*Hodnoty HRV skóre, rMSSD, SDNN a SDNN/rMSSD naměřené den před vstupem do vody*

Den	HRV skóre	rMSSD (ms)	SDNN (ms)	SDNN/rMSSD
07.03.2023	57	40,31	94,15	2,34
09.03.2023	64	62,84	112,76	1,79
13.03.2023	58	43,43	73,60	1,69
16.03.2023	61	43,21	84,73	1,96
20.03.2023	60	48,98	89,47	1,83
23.03.2023	64	65,40	125,73	1,92
27.03.2023	60	49,97	93,21	1,87
30.03.2023	54	34,09	111,35	3,27
05.04.2023	67	57,01	94,57	1,66
10.04.2023	62	54,70	105,03	1,92
Průměr	60,7	49,99	98,46	2,02
SD	2,9	7,99	12,21	0,31
Medián	60,5	49,48	94,36	1,89
Maximum	67	65,40	125,73	3,27
Minimum	54	34,09	73,60	1,66

*Poznámka. SD = Směrodatná odchylka*

V Tabulce 2 se nachází hodnoty HRV skóre, rMSSD, SDNN a SDNN/rMSSD, které byly naměřeny ráno ihned po probuzení v den před samotným vstupem do vody. Maximální hodnota HRV skóre dosahovala 67, minimální 54. Maximální hodnota rMSSD byla naměřena jako 65,40 ms, minimální 34,09 ms. Maximální hodnota SDNN byla 125,73 ms, minimální 73,60. Maximální hodnota SDNN/rMSSD dosahovala 3,27, minimální 1,66. Průměr HRV skóre byl 60,7, průměr rMSSD 49,99 ms, průměr SDNN 98,46 ms a průměr SDNN/rMSSD 2,02.

## 5.2 Hodnoty naměřené v den vstupu do vody

**Tabulka 3**

*Hodnoty HRV skóre, rMSSD, SDNN a SDNN/rMSSD naměřené ráno v den vstupu do vody*

Den	HRV skóre	rMSSD(ms)	SDNN (ms)	SDNN/rMSSD
08.03.2023	60	50,99	103,51	2,03
10.03.2023	55	36,53	84,52	2,31
14.03.2023	61	53,75	118,68	2,21
17.03.2023	55	36,56	89,43	2,45
21.03.2023	55	36,21	85,04	2,35
24.03.2023	55	36,73	69,99	1,91
28.03.2023	64	64,82	105,95	1,63
31.03.2023	66	73,11	148,39	2,03
06.04.2023	60	49,03	97,38	1,99
11.04.2023	67	77,39	93,25	1,20
Průměr	59,80	51,51	99,61	2,01
SD	3,84	12,60	15,61	0,26
Medián	60,00	50,01	95,32	2,03
Maximum	67,00	77,39	148,39	2,45
Minimum	55,00	36,21	69,99	1,20

*Poznámka.* SD = Směrodatná odchylka

V Tabulce 3 se nachází hodnoty HRV skóre, rMSSD, SDNN a SDNN/rMSSD, které byly naměřeny ráno ihned po probuzení v den samotného vstupu do vody. Maximální hodnota HRV skóre dosahovala 67, stejně jako v Tabulce 1, minimální 55. Maximální hodnota rMSSD byla naměřena jako 77,39 ms, minimální 36,21 ms. Maximální hodnota SDNN byla 148,39 ms, minimální 69,99 ms. Maximální hodnota SDNN/rMSSD dosahovala 2,45, minimální 1,20. Průměr HRV skóre byl 59,8, průměr rMSSD 51,51 ms, průměr SDNN 99,61 ms a průměr SDNN/rMSSD 2,01.

#### Tabulka 4

*Hodnoty SF, teploty vzduchu a vody, času stráveného ve vodě a době kdy k měření došlo naměřené těsně před vstupem*

Den	SF	teplota vzduchu	teplota vody	čas	doba ve vodě
08.03.2023	88	7,5 °C	3,8 °C	9:16	0:01:00
10.03.2023	90	13,1 °C	5,1 °C	9:55	0:01:38
14.03.2023	79	9,5 °C	4,6 °C	8:48	0:02:04
17.03.2023	81	7,5 °C	4,1 °C	10:12	0:02:32
21.03.2023	69	11,2 °C	7,2 °C	8:50	0:03:00
24.03.2023	67	17,9 °C	8,9 °C	9:54	0:07:00
28.03.2023	88	1,2 °C	5,6 °C	8:55	0:03:00
31.03.2023	69	6,9 °C	5,8 °C	8:31	0:03:00
06.04.2023	63	21,0 °C	11,0 °C	8:00	0:08:10
11.04.2023	81	6,5 °C	6,9 °C	9:26	0:03:05
Průměr	77,50	9,5 °C	6,3 °C		0:03:27
SD	8,40	4,7 °C	1,8 °C		0:01:39
Medián	80,00	9,5 °C	5,7 °C		0:03:00
Maximum	90,00	21,0 °C	11,0 °C		0:08:10
Minimum	63,00	1,2 °C	3,8 °C		0:01:00

*Poznámka. SF = srdeční frekvence, čas = doba, kdy se vstup uskutečnil, SD = směrodatná odchyl*

V Tabulce 4 jsou vypsány hodnoty srdeční frekvence před ponorem, teploty vody a vzduchu, času, kdy došlo ke vstupu, doby pobytu ve vodě. Průměrná teplota vody dosahovala 6,3 °C, průměrná teplota vzduchu 9,5 °C, průměrný čas strávený ve vodě 3 minuty 27 sekund.

## Tabulka 5

*Hodnoty SF, RMSSD, SDNN, SDNN/RMSSD a HRV skóre naměřené těsně po výstupu z vody.*

Den	SF	RMSSD (ms)	SDNN (ms)	SDNN/RMSSD	HRV
08.03.2023	76,00	73,03	131,10	1,80	66,00
10.03.2023	93,00	41,09	49,02	1,19	57,00
14.03.2023	87,00	63,57	80,39	1,26	64,00
17.03.2023	81,00	88,61	146,10	1,65	69,00
21.03.2023	80,00	105,60	212,11	2,01	72,00
24.03.2023	71,00	142,20	226,03	1,59	76,00
28.03.2023	104,00	85,95	94,54	1,10	69,00
31.03.2023	88,00	42,85	58,49	1,36	58,00
06.04.2023	59,00	85,98	125,08	1,45	69,00
11.04.2023	85,00	52,51	104,70	1,99	61,00
Průměr	82,40	78,14	122,76	1,54	66,10
SD	9,00	23,53	45,33	0,27	4,90
Medián	83,00	79,49	114,89	1,52	67,50
Maximum	104,00	142,20	226,03	2,01	76,00
Minimum	59,00	41,09	49,02	1,10	57,00

*Poznámka: SD = Směrodatná odchylka*

V Tabulce 5 se nachází hodnoty Srdeční frekvence, rMSSD, SDNN, SDNN/rMSSD a HRV skóre které byly naměřeny ihned po výstupu z vody. Maximální hodnota SF dosahovala 104 tepů za minutu, minimální 59. Maximální hodnota rMSSD byla naměřena jako 142,20 ms, minimální 41,09 ms. Maximální hodnota SDNN byla 226,03 ms, minimální 49,02 ms. Maximální hodnota SDNN/rMSSD dosahovala 2,01, minimální 1,10. Maximální hodnota skóre HRV byla 76, minimální 57. Průměr SF byl 82,40, průměr rMSSD 78,14 ms, průměr SDNN 122,76, průměr SDNN/rMSSD 1,54 a průměr HRV skóre byl 66,10.

### 5.3 Hodnoty naměřené den po vstupu do vody

**Tabulka 6**

*Hodnoty HRV skóre, rMSSD, SDNN a SDNN/rMSSD naměřené den po vstupu*

Den	HRV skóre	rMSSD (ms)	SDNN (ms)	SDNN/rMSSD
09.03.2023	64	62,84	112,76	1,79
11.03.2023	64	64,49	120,10	1,86
15.03.2023	62	57,52	91,03	1,58
18.03.2023	66	72,62	98,44	1,36
22.03.2023	52	29,81	72,97	2,45
25.03.2023	66	70,70	116,40	1,65
29.03.2023	61	54,32	94,29	1,74
01.04.2023	73	116,40	188,77	1,62
07.04.2023	60	49,03	97,38	1,99
12.04.2023	59	46,68	112,83	2,42
Průměr	62,70	62,44	110,50	1,84
SD	3,90	14,97	19,68	0,27
Medián	63,00	60,18	105,60	1,77
Maximum	73,00	116,40	188,77	2,45
Minimum	52,00	29,81	72,97	1,36

*Poznámka.* SD = směrodatná odchylka

V Tabulce 6 se nachází hodnoty HRV skóre, rMSSD, SDNN a SDNN/rMSSD, které byly naměřeny ráno ihned po probuzení den otužování. Maximální hodnota HRV skóre dosahovala 73, minimální 52. Maximální hodnota rMSSD byla naměřena jako 116,40 ms, minimální 29,81 ms. Maximální hodnota SDNN byla 188,77 ms, minimální 72,97 ms. Maximální hodnota SDNN/rMSSD dosahovala 2,45, minimální 1,36. Průměr HRV skóre byl 62,70, průměr rMSSD 62,44 ms, průměr SDNN 110,50 a průměr SDNN/rMSSD 1,84.

## 5.4 Tabulka korelačních koeficientů

**Tabulka 7**

*Korelační koeficienty měřených parametrů*

	SDNN/rMSSD den před	rMSSD před vstupem	SDNN před vstupem	SF před vstupem	Teplota vzduchu	Teplota vody	Čas	Doba ve vodě
Teplota vzduchu	-0,33	-0,54	-0,44	-0,64*	1	0,73*	-0,12	0,74*
Teplota vody	-0,26	-0,06	-0,30	-0,78	0,73*	1	-0,43	0,94*
Čas	-0,16	-0,42	-0,57	0,48	-0,12	-0,43	1	-0,31
Doba ve vodě	-0,23	-0,13	-0,29	-0,78	0,74	0,94*	-0,31	1
SF po výstupu	0,14	0,35	-0,30	0,68*	-0,80*	-0,64*	0,20	-0,67*
rMSSD po výstupu	-0,35	-0,53	-0,61	-0,45	0,39	0,45	0,16	0,57
SDNN po výstupu	-0,28	-0,53	-0,64*	-0,48	0,37	0,40	0,20	0,44
SDNN/rMSSD po výstupu	-0,01	-0,06	-0,36	-0,23	0,06	0,13	0,15	-0,00
rMSSD den po	0,83*	0,27	0,61	-0,07	-0,15	0,26	0,06	-0,09
SDNN den po	0,88*	0,47	0,61	-0,11	-0,12	-0,10	-0,06	-0,06

Poznámka: *den před* = hodnoty měřené den před vstupem, *před vstupem* = hodnoty měřené těsně před vstupem, *po výstupu* = hodnoty měřené ihned po výstupu, *den po* = hodnoty měřené den po vstupu

\*  $p = < 0,05$



V Tabulce 7 se nacházejí vypočítané pearsonovy korelační koeficienty. Nejvyšší korelační koeficienty byly naměřeny u hodnot SDNN/rMSSD den před a rMSSD den po ( $R=0,83$ ) a SDNN den po ( $R=0,88$ ), dále mezi srdeční frekvencí po výstupu a teplotou vody ( $R=-0,64$ ), teplotou vzduchu ( $R=-0,80$ ) a dobou strávenou ve vodě ( $R=-0,67$ ). Naopak nízký korelační koeficient byl naměřen mezi rMSSD po výstupu a teplotou vzduchu ( $R=0,39$ ), teplotou vody ( $R=0,45$ ), dobou strávenou ve vodě ( $R=0,57$ ) a mezi rMSSD před vstupem a časem kdy k měření došlo ( $R=-0,42$ ).

## 6 DISKUSE

Tato práce měla za cíl charakterizovat změny fyziologických parametrů po šestitýdenním ponořování do studené vody bez předchozí adaptace. Mnohé již dříve zpracované studie na téma ponořování se do studené vody se zaměřovaly především na regenerační účinek studené vody po fyzické zátěži. Člověk, který se ponoří bez předchozí adaptace do studené vody vystaví své tělo stresové situaci, která může mít pozitivní, ale v případě neopatrnosti i negativní dopad na organismus. V závislosti na teplotě vody, době, která byla ve vodě strávena, nebo například na sympato-vagové rovnováze se fyziologická odpověď organismu může lišit. Pomocí korelační analýzy bylo zjištěno, že srdeční frekvence měřená po výstupu se zvyšuje tím více, čím má voda nižší teplotu, zároveň se ovšem snižuje, čím déle ve vodě člověk zůstane. Zároveň také byla zjištěna pozitivní vzájemná korelace mezi celkovou sympato-vagovou rovnováhou měřenou v den před vstupem a celkovým výkonem ANS a ukazatelem parasympatické aktivity naměřeným den po vstupu.

Stres, kterému je tělo vystaveno při ponoření se dá určit například pomocí biomarkerů stresu ve slinách (Kelly et al., 2022) nebo pomocí měření hodnot variability srdeční frekvence (Peabody et al., 2023). Vzhledem k tomu, že metoda měření hodnot variability srdeční frekvence je metoda neinvazivní, finančně nenáročná a v praxi lehce proveditelná byla právě tato použita.

Z hodnot srdeční frekvence, které byly naměřeny těsně před ponorem do vody, která měla průměrně  $6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1,76\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a těsně po vyplývá, že srdeční frekvence se po výstupu zvýšila v průměru ze 77,5 úderů za minutu ( $\pm 8,4$ ) na 82,4 úderů za minutu ( $\pm 9,0$ ), tedy o 5 úderů za minutu (tj. o 6,32%). K podobným závěrům došel také Šrámek et al., (2000), který zjišťoval změnu srdeční frekvence při ponoru do vody. Ve své studii zjistil, že při ponoru do vody o teplotě  $14^{\circ}\text{C}$  dochází v prvních deseti minutách ponoru k navýšení srdeční frekvence v průměru o 3 údery za minutu. Domníváme se, že čím nižší je teplota vody, tím více se zvyšuje srdeční frekvence do prvních deseti minut ponoru. Toto tvrzení by mohl podpořit i naměřený korelační koeficient pro vztah mezi teplotou vody a srdeční frekvencí naměřenou po výstupu z vody, kdy  $R = -0,64$ . Organismus totiž v prvních třech minutách zažívá chladový šok a v závislosti na rychlosti ponoru, teplotě vody ale i na množství odhalené pokožky a teplotních vrstev na něj reaguje zvýšením srdečního výdeje. Pokud je tento srdeční výdej příliš vysoký, může dojít až k srdeční zástavě (Buck et al., 2019). Další nebezpečí, se kterým se při otužování může jedinec

setkat je tzv. autonomní konflikt, kdy dochází ke střídání aktivity sympatiku a parasympatiku což může vést k srdeční arytmii, která by mohla zapříčinit smrt (Shattock & Tipton, 2012). Není ovšem jisté, zdali je toto riziko u adaptovaných jedinců nižší nebo stejné jako u jedinců bez předchozí adaptace. Vystává tedy otázka, zdali je možné zmírnit toto riziko pomocí adaptace na studenou vodu.

Vzájemná negativní korelace byla také zjištěna mezi srdeční frekvencí po výstupu a teplotou vzduchu kdy  $R=-0,80$ , což by znamenalo, že čím nižší je teplota vzduchu, tím vyšší bude srdeční frekvence po výstupu. K podobným výsledkům došel Madaniyazi et al. (2016), ve které zjistil, že čím je teplota okolního vzduchu nižší, tím je i vyšší srdeční frekvence. Vliv na změnu srdeční frekvence měl i čas, který testovaná osoba ve vodě strávila. Čím byl tento čas delší, tím byla srdeční frekvence po výstupu nižší. Korelační koeficient byl naměřen jako  $R= - 0,67$ . Tato skutečnost je pravděpodobně dána tím, že teplo zvyšuje propustnost membrány srdečního svalu pro ionty, které srdeční frekvenci ovlivňují (Hall, 2016).

Jak již bylo výše zmíněno mezi hodnotami SDNN/rMSSD naměřenými den před vstupem a hodnotami rMSSD a SDNN naměřenými den po vstupu byla vypočítána pozitivní korelace, kdy u SDNN/rMSSD a rMSSD  $R=0,83$  a u SDNN/rMSSD a SDNN  $R=0,88$ . To by znamenalo, že pokud je naměřena vysoká hodnota celkové sympatovagové rovnováhy v první den, je vhodné vlézt do studené vody v den druhý, protože ačkoliv bude tělo vystaveno stresové situaci, tak třetí den by celkový výkon ANS a parasympatická aktivita měly být vyšší. Kim et al. (2023) ve své studii zjistil, že hodnoty VSF se dají predikovat pomocí fyzické charakteristiky, složení těla a proměnných srdeční frekvence. V této bakalářské práci kvůli absenci kontrolní skupiny není možné určit jaký má vstup do studené vody vliv na změnu hodnot VSF naměřených den po vstupu, předpokládáme ovšem, že zde vliv je a tudíž se zde pouze nabízí výzkumná otázka, kterou by bylo možné zpracovat v rozsáhlejší studii.

Proband po skončení experimentu, uvedl že se cítil být nemocen, konkrétně při prvním a druhém měření. Následně uvedl, že se jeho stav nezhoršil, naopak se výrazně zlepšil. To by potvrdzovaly hodnoty HRV a rMSSD naměřené před vstupem a den po vstupu, kdy HRV skóre bylo lepší průměrně o 6,5 bodů a rMSSD průměrně o 19,91 ms. Měření variability srdeční frekvence je ovšem pouze jednou z metod, jak měřit fyziologickou odpověď organismu na stres, jak již bylo zmíněno výše. Dalšími ukazateli celkového zdraví u jedince by byly teplota těla, srdeční tep, dechová frekvence a krevní

tlak (Sapra et al., 2024), které ovšem u této studie nebyly měřeny, tudíž se pouze otevírá otázka, zdali může mít ponoření do studené vody pozitivní vliv na nemoc.

## **6.1 Limity studie**

Možnými limitami studie mohou být nedostatek testovaných probandů, stejně tak jako malý počet měření a absence kontrolní skupiny. Nicméně cíle studie byly nastaveny adekvátně možnostem případové studie. Testování probíhalo v terénních podmínkách, takže teplota vody ani teplota vzduchu nebyla vždy stejná. Další limitou je absence měření spánku, který se výraznou měrou podílí na hodnotách VSF (Sajjadih et al., 2020). Také měření hodnot VSF neprobíhalo vždy ve stejných polohách těla, ráno byly hodnoty měřeny vleže a před vstupem a po vstupu ve stoje. V průběhu experimentu proband uvedl že se cítí nemocen, což mohlo mít také vliv na hodnoty VSF. Zároveň byla v této práci zkoumána akutní odpověď organismu na ponoření do studené vody, a ne celková adaptace, kterou by bylo možné zjistit pomocí složitějších statistických metod, například pomocí analýzy kovariance (ANCOVA) nebo pomocí lineárního smíšeného modelu.

## **6.2 První výzkumná otázka**

Výsledky naznačují, že ponořování do studené vody bez předchozí adaptace má určitý vliv na fyziologické charakteristiky testovaného jedince. Především tedy na změnu srdeční frekvence v závislosti na teplotě vody, vzduchu a době strávenou ve vodě. Také se ukazuje, že studená voda by mohla mít vliv na změnu parametrů variability srdeční frekvence a na celkové zdraví jedince.

## **6.3 Druhá výzkumná otázka**

Výše zmíněné výsledky ukazují, že s ponořováním do studené vody bez předchozí adaptace se pojí určitá rizika, není ovšem jasné, zdali je toto riziko u adaptovaných jedinců vyšší nebo nižší. Bylo by tudíž vhodné provést rozsáhlejší studii, ve které by se mohly určit míra rizika pro adaptované a neadaptované jedince a také potvrdit nebo vyvrátit teorie vyplývající z výsledků této studie. Tento výzkum by mohl být proveden v magisterské etapě studia.

## 7 ZÁVĚRY

Teplota vody, vzduchu a čas strávený ve vodě se promítá do změny srdeční frekvence měřené ihned poté, co testovaná osoba vylezla z vody. Pokud by tyto změny byly příliš velkého rázu, mohlo by dojít k ohrožení na životě. Zároveň by takovýto vstup do vody mohl ovlivňovat celkový výkon ANS a parasympatickou aktivitu dne po vstupu. Pozitivní vliv by ponoření mohlo mít také na celkové zdraví testovaného jedince. Aby se tyto výsledky mohly potvrdit, bylo by potřeba provést rozsáhlejší studii s větším počtem měření a testovaných osob.

## 8 SOUHRN

Ponořování do studené vody zažívá u běžné populace velký nárůst na popularitě. Lidé se chodívají otužovat do studené vody pro její pozitivní účinek jak na psychické zdraví, tak na mentální. Často ovšem bez vědomí rizik s tímto koníčkem spojených.

Hlavním cílem této práce bylo zjistit, jaký vliv má ponořování do studené vody bez předchozí adaptace na fyziologické charakteristiky testovaného jedince.

Testování probíhalo v terénních podmínkách v tekoucí vodě s proměnnou teplotou. Testovaný jedinec byl muž ve věku 21 let, sportovně aktivní. Měření probíhalo pomocí hrudního pásu Kalenji Dual Ant+. Měřenými parametry byly hodnoty variability srdeční frekvence (rMSSD, SDNN), srdeční frekvence, doba strávená ve vodě, teplota vody a teplota vzduchu. Měření probíhalo vždy v den před samotným vstupem, v den vstupu před vstupem a po a v den po vstupu. Naměřené hodnoty byly poté zapsány do excelové tabulky a poté pomocí programu Statistica vypočítány korelační koeficienty dle Pearsona.

Srdeční frekvence po výstupu je negativně ovlivňována teplotou vody a teplotou vody, tedy čím nižší je teplota, tím vyšší je srdeční frekvence po výstupu. Čas strávený ve vodě také negativně ovlivňuje srdeční frekvenci, tedy čím delší je čas, tím nižší je srdeční frekvence. Vzájemná pozitivní korelace byla zjištěna u hodnot SDNN/rMSSD den před vstupem a rMSSD a SDNN den po vstupu.

## 9 SUMMARY

Cold water immersion is experiencing a significant increase in popularity among the general population. People engage in cold water immersion for its positive effects on both mental and psychological health, often without being aware of the associated risks.

The main aim of this study was to investigate the influence of cold water immersion without prior adaptation on the physiological characteristics of the tested individual. Testing was conducted in outdoor conditions in flowing water with variable temperature. The tested individual was a 21-year-old male who was physically active in sports. Measurements were taken using the Kalenji Dual Ant+ chest strap. The measured parameters included heart rate variability values (rMSSD, SDNN), heart rate, time spent in the water, water temperature, and air temperature. Measurements were taken on the day before immersion, on the day of immersion prior to immersion, immediately after immersion, and on the day after immersion. The recorded values were then entered into an excel table and Pearson correlation coefficients were calculated using the Statistica software.

Heart rate after emerging from the water was negatively influenced by water temperature, meaning that lower temperatures resulted in higher heart rates after emerging. The duration spent in the water also negatively affected heart rate, with longer durations leading to lower heart rates. A positive correlation was found between SDNN/rMSSD values on the day before immersion and rMSSD and SDNN on the day after immersion.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Adrogué, H. J., & Madias, N. E. (2010). Respiratory Acidosis, Respiratory Alkalosis, and Mixed Disorders. *Comprehensive Clinical Nephrology: Fourth Edition*, 176–189 Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-05876-6.00014-9>
- Albixon. (2022, February 11). *Češi se vrhli na otužování, za dva roky přibylo přes 400 tisíc nových otužilců*. <https://www.albixon.cz/clanky/cesi-a-otuzovani/>
- Arnett, E. L., & Watts, D. T. (1960). Catecholamine excretion in men exposed to cold. *Journal of Applied Physiology*, 15(3), 499–500. <https://doi.org/10.1152/jappl.1960.15.3.499>
- Ascensão, A., Leite, M., Rebelo, A. N., Magalhães, S., & Magalhães, J. (2011). Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *Journal of Sports Sciences*, 29(3), 217–225. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.526132>
- Bailey, D. M., Erith, S. J., Griffin, P. J., Dowson, A., Brewer, D. S., Gant, N., & Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of Sports Sciences*, 25(11), 1163–1170. <https://doi.org/10.1080/02640410600982659>
- Billman, G. E. (2013). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in Physiology*, 4(26), 1–6 <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00026>
- Botek, M., Krejčí, J., & McKune, A. J. (2017). *Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: historie, současnost a perspektiva*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část I.)*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Buck, P., Roberts, W., & Minehane, K. (2019). The Consequences of Cold Water Immersion: Impacts and Treatment. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 11(4). <https://doi.org/10.25035/ijare.11.04.01>
- Číhák, R. (2016a). *Anatomie 3. Svazek I, Nauka o cévách. Třetí, upravené a doplněné vydání*. Grada Publishing.
- Číhák, R. (2016b). *Anatomie 3. Svazek III, Periferní nervový systém, kůže a kožní orgány, smyslové orgány. Třetí, upravené a doplněné vydání*. Grada Publishing.



- Cooper, K. E., Martin, S., & Riben, P. (1976). Respiratory and other responses in subjects immersed in cold water. *OF APPLIED PHYSIOLOGY*, 40(6), 903-910.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1976.40.6.903>
- Datta, A., & Tipton, M. (2006). Respiratory responses to cold water immersion: Neural pathways, interactions, and clinical consequences awake and asleep. In *Journal of Applied Physiology*, 100(6), 2057–2064.  
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01201.2005>
- Dinka, P., Caban, E., Čelko, J., Gúth, A., Rapák, J., & Zálešáková, J. (2008). *Voda a chlad: Prevencia – Liečba – Rehabilitácia*. Formát.
- Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie*. Grada Publishnig.
- Elišková, M., & Naňka, O. (2006). *Přehled anatomie*. Karolinum.
- Elite HRV. (2023, December 1). *What are HRV score, RMSSD, ln(RMSSD), SDNN and PNN50?* <https://help.elitehrv.com/article/68-what-are-hrv-score-rmssd-ln-rmssd-sdnn-nn50-and-pnn50>
- Eston, R., & Peters, D. (1999). Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of Sports Sciences*, 17(3), 231–238.  
<https://doi.org/10.1080/026404199366136>
- Evans, J. D. (1996). *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Thomson Brooks/Cole Publishing Co.
- Golden, F. S., & Tipton, M. J. (1988). Human adaptation to repeated cold immersions. *The Journal of Physiology*, 396(1), 349–363.  
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1988.sp016965>
- Grim, M., Druga, R., & Smetana, K. (2014). *Základy anatomie. 4b. Periferní nervový systém, smyslové orgány a kůže*. Galén.
- Hall, J. E. (2016). *Guyton and hall textbook of medical physiology* (13th ed.). Elsevier.
- Hof, W., & de Jong, K. (2021). *Cesta ledového muže*. Jota.
- Janský, L., Šrámek, P., Šavlíková, J., Uličný, B., Janáková, H., & Horký, K. (1996). Change in sympathetic activity, cardiovascular functions and plasma hormone concentrations due to cold water immersion in men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(1–2), 148–152.  
<https://doi.org/10.1007/BF00376507>
- Javorka, K. (2008). *Variabilita frekvencie srdca: Mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Oveta.

- Johnson, D. G., Hayward, J. S., Jacobs, T. P., Collis, M. L., Eckerson, J. D., & Williams, R. H. (1977). Plasma norepinephrine responses of man in cold water. *Journal of Applied Physiology*, *43*(2), 216–220. <https://doi.org/10.1152/jappl.1977.43.2.216>
- Keatinge, W. R., & Evans, M. (1961). The respiratory and cardiovascular response to immersion in cold and warm water. *Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences*, *46*(1), 83–94. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.1961.sp001519>
- Keatinge, W. R., Mcilroy, M. B., Goldfien, A., & Cardiovascular, A. G. (1964). Cardiovascular responses to ice-cold showers. *Journal of Applied Physiology*, *19*(6), 1145-1150. <https://doi.org/10.1152/jappl.1964.19.6.1145>
- Kelly, K. R., Arrington, L. J., Bernardis, J. R., & Jensen, A. E. (2022). Prolonged Extreme Cold Water Diving and the Acute Stress Response During Military Dive Training. *Frontiers in Physiology*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.842612>
- Kim, S.-W., Park, H.-Y., Jung, H., Park, S.-A., & Lim, K. (2023). Development of a Heart Rate Variability Prediction Equation Through Multiple Linear Regression Analysis Using Physical Characteristics and Heart Rate Variables. *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*, *60*. <https://doi.org/10.1177/00469580231169416>
- Komárek, V. (n.d.). *Jak se otužovat*. Otuzilci. [http://www.otuzilci.cz/pages/jak\\_ot.htm](http://www.otuzilci.cz/pages/jak_ot.htm)
- LeBlanc, J., Cote, J., Jobin, M., & Labrie, A. (1979). Plasma catecholamines and cardiovascular responses to cold and mental activity. *Journal of Applied Physiology*, *47*(6), 1207–1211. <https://doi.org/10.1152/jappl.1979.47.6.1207>
- Madaniyazi, L., Zhou, Y., Li, S., Williams, G., Jaakkola, J. J. K., Liang, X., Liu, Y., Wu, S., & Guo, Y. (2016). Outdoor Temperature, Heart Rate and Blood Pressure in Chinese Adults: Effect Modification by Individual Characteristics. *Scientific Reports*, *6*(1), 21003. <https://doi.org/10.1038/srep21003>
- Malik, M., Camm, A. J., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J., Coumel, P., Fallen, E. L., Kennedy, H. L., Kleiger, R. E., Lombardi, F., Malliani, A., Moss, A. J., Rottman, J. N., Schmidt, G., Schwartz, P. J., & Singer, D. H. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. In *European Heart Journal*, *17*(3), 354-381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
- Mattuš, L. (2021). *Chladová terapie*. BizBooks.

- Messina, Z., & Patrick, H. (2022). *Partial Pressure of Carbon Dioxide*. StatPearls Publishing.
- Moore, J. (2021, March 10). *Normative HRV Scores by Age and Gender [Heart Rate Variability Chart]*. HRV Score population comparison with normal HRV values for age, gender, and various HRV platforms. Elite HRV. <https://elitehrv.com/normal-heart-rate-variability-age-gender>
- Orel, M. (2019). *Anatomie a fyziologie lidského tělo pro humanitní obory*. Grada Publishing.
- Otto, J. (1902). *Ottův slovník naučný: Illustrovaná encyklopedie obecných vědomostí*. 18. Navary - Oživnutí. Otto.
- Peabody, J. E., Ryznar, R., Ziesmann, M. T., & Gillman, L. (2023). A Systematic Review of Heart Rate Variability as a Measure of Stress in Medical Professionals. *Cureus*, 15(1). <https://doi.org/10.7759/cureus.34345>
- Pumprla, 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), 1–14. doi:10.1016/s0167-5273(02)00057-8
- Radboud University Nijmegen Medical Centre. (2011, April 22). *Research on “Iceman” Wim Hof suggests it may be possible to influence autonomic nervous system and immune response*. ScienceDaily. [www.sciencedaily.com/releases/2011/04/110422090203.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2011/04/110422090203.htm).
- Rokyta, R. (2016). *Fyziologie. Třetí, přepracované vydání*. Galén.
- Sajjadih, A., Shahsavari, A., Safaei, A., Penzel, T., Schoebel, C., Fietze, I., Mozafarian, N., Amra, B., & Kelishadi, R. (2020). The Association of Sleep Duration and Quality with Heart Rate Variability and Blood Pressure. *Tanaffos*, 19(2), 135–143.
- Sapra, A., Malik, A., & Bhandari, P. (2024). *Vital Sign Assessment*. StatPearls Publishing.
- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5(September) 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Shaffer, F., Meehan, Z. M., & Zerr, C. L. (2020). A Critical Review of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Norms Research. *Frontiers in Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.594880>

- Shattock, M. J., & Tipton, M. J. (2012). 'Autonomic conflict': a different way to die during cold water immersion? *The Journal of Physiology*, 590(14), 3219–3230. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.229864>
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (2016). *Atlas fyziologie člověka*. Grada Publishing.
- Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology. (1996). Heart Rate Variability. *Circulation*, 93(5), 1043–1065. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Tipton, M. J., Stubbs, D. A., & Elliott, D. H. (1991). Human initial responses to immersion in cold water at three temperatures and after hyperventilation. *Journal of Applied Physiology*, 70(1), 317–322. <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.70.1.317>
- Vojtěchovský, O. (2020, December 14). *Statistické základy HRV*. [ondrej-vojtechovsky.cz](https://ondrej-vojtechovsky.cz). <https://ondrej-vojtechovsky.cz/statisticke-zaklady-hrv/>
- von Rosenberg, W., Chanwimalueang, T., Adjei, T., Jaffer, U., Goverdovsky, V., & Mandic, D. P. (2017). Resolving ambiguities in the LF/HF ratio: LF-HF scatter plots for the categorization of mental and physical stress from HRV. *Frontiers in Physiology*, 8(JUN). <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00360>
- Wang, H. M., & Huang, S. C. (2012). SDNN/RMSSD as a surrogate for LF/HF: A revised investigation. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/931943>
- Zouhal, H., Jacob, C., Delamarche, P., & Gratas-Delamarche, A. (2008). Catecholamines and the Effects of Exercise, Training and Gender. *Sports Medicine*, 38(5), 401–423. [doi:10.2165/00007256-200838050-00004](https://doi.org/10.2165/00007256-200838050-00004)

## 11 PŘÍLOHY

### 11.1 Vzor informovaného souhlasu

#### Informovaný souhlas

**Název studie (projektu):**

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný(á) souhlasím s mou účastí ve studii. Je mi více než 18 let.
2. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Pokud je studie randomizovaná, beru na vědomí pravděpodobnost náhodného zařazení do jednotlivých skupin lišících se léčbou.
3. Porozuměl(a) jsem tomu, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve studii je dobrovolná a na vlastní nebezpečí.
4. Při zařazení do studie budou moje osobní data uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti mých osobních dat. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být moje osobní údaje poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
5. Porozuměl jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis účastníka:

Podpis osoby pověřené touto studií:

Datum:

Datum: