



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra biomedicínské techniky

Využitie parametru perfúzny index v praxi

Use of the Perfusion index parameter in practice

Diplomová práca

Študijný program : Biomedicínska a klinická technika

Študijný odbor : Biomedicínsky inžinier

Vedúci práce : MUDr. Lenka Horáková

Bc. Denisa Juhásová

Kladno 2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Juhásová** Jméno: **Denisa** Osobní číslo: **452962**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Biomedicínský inženýr**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití parametru Perfuzní index v praxi

Název diplomové práce anglicky:

Use of the Perfusion Index parameter in practice

Pokyny pro vypracování:

Analyzujte vlastnosti perfuzního indexu při měřeních realizovaných oxymetry MASIMO. Navrhněte a realizujte experiment pro analýzu vývoje perfuzního indexu v závislosti na teplotě místa měření a vyhodnoťte jej. Dále analyzujte data získaná z lavinových experimentů a zaměřte se na vliv ETCO₂ na vývoj perfuzního indexu a závislost vyhodnoťte.

Seznam doporučené literatury:

- [1] John G. Webster, Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, ed. 6, Wiley, 2006, ISBN 978-0-471-26358-6
- [2] Rafi, J., Kulhanek, F., Kudrna, P., et al., Response time of indirectly accessed gas exchange depends on measurement method, Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik, 2017, doi:10.1515/bmt-2017-0070
- [3] Walter Boron, Emile L. Boulpaep, Textbook of Medical Physiology, ed. 2nd, Elsevier, 2009, ISBN 978-1-4160-3115-4

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

MUDr. Lenka Horáková

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Petr Kudrna, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **10.02.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **19.09.2021**

prof. Ing. Peter Kneppo, DrSc., dr.h.c.,
podpis vedoucí(ho) katedry

prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.,
podpis děkana(ky)

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu s názvom „Využitie parametru perfúzny index v praxi“ vypracovala samostatne a použila k tomu úplný zoznam citácii použitých prameňov, ktoré uvádzam v zozname priloženom k diplomovej práci.

Nemám závažný dôvod proti užitiu tohoto školského diela v zmysle § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov.

V Kladne dňa

.....

Bc. Denisa Juhásová

POĎAKOVANIE

Rada by som poďakovala vedúcej mojej diplomovej práce MUDr. Lenke Horákovej za cenné rady a trpezlivosť. Ďalej by som chcela vyjadriť moju vďaku Ing. Petrovi Kudrnovi, PhD za pomoc a rady pri realizovaní vlastného experimentu. Taktiež ďakujem mojej rodine za podporu počas celého štúdia.

ABSTRAKT

Názov práce: Využitie parametru perfúzny index v praxi

Cieľom diplomovej práce bolo zistiť vplyv teploty ruky na parameter perfúzny index (PI). Ďalej bolo cieľom zistiť vzájomný vzťah medzi hyperkapniou a perfúznym indexom.

Vplyv teploty na perfúzny index bol zisťovaný klinickou štúdiou, ktorej sa celkovo zúčastnilo 26 probandov (13 mužov, 13 žien). Experiment pozostával zo záznamu perfúzneho indexu počas ohriatia a ochladenia ľavej ruky. Dáta boli porovnané medzi skupinami probandov i medzi jednotlivými situáciami merania.

Vzťah medzi hyperkapniou a perfúznym indexom bol zisťovaný z dát získaných štúdiou dýchania v simulovaných lavínových podmienkach.

Hlavným zistením vplyvu teploty ruky na PI je, že počas ochladenia nastáva pokles hodnoty perfúzneho indexu. Po ukončení ochladzovania dochádza k opätovnému nárastu PI. Vplyvom hypertermie dochádzalo k rôznym reakciám parametru perfúzny index a jednoznačný trend PI nebolo možné určiť.

Zo simulovaných lavínových experimentov vyplýva, že hyperkapnia spôsobuje nárast hodnoty PI. Maximálna hodnota perfúzneho indexu bola dosiahnutá až po odznení hyperkapnie.

Kľúčové slová

Perfúzny index, hypotermia, hypertermia, hyperkapnia

ABSTRACT

The title of the Thesis: Use of the perfusion index parameter in practice

The aim of the diploma thesis was to determine the effect of hand temperature on the perfusion index (PI) parameter. Furthermore, the aim was to determine the relationship between hypercapnia and the perfusion index.

The effect of temperature on the perfusion index was determined by a clinical trial involving a total of 26 probands (13 men, 13 women). The experiment consisted of recording the perfusion index during heating and cooling of the left hand. The data were compared between groups of probands and between individual phases of the study.

The relationship between hypercapnia and perfusion index was determined from data obtained from a study of breathing into simulated avalanche snow.

The main finding of the effect of hand temperature on PI is that during cooling there is a decrease in the value of the perfusion index. After cooling, the PI increases again. Due to hyperthermia, different reactions of the perfusion index parameter occurred and a clear PI trend could not be determined.

The simulated avalanche experiments show that hypercapnia causes an increase in PI. The maximum value of the perfusion index was reached only after the hypercapnia.

Keywords

Perfusion index, hypothermia, hyperthermia, hypercapnia

Obsah

Zoznam symbolov a skratiek	9
Zoznam obrázkov	10
Zoznam tabuliek	11
1 Úvod	12
1.1 Pulzná oxymetria.....	12
1.2 Perfúzny index.....	14
1.3 Oxid uhličitý a EtCO ₂	15
2 Prehľad súčasného stavu.....	17
3 Ciele práce	18
4 Metódy	19
4.1 Vplyv teploty miesta merania na PI	19
4.1.1 Použité prístroje.....	19
4.1.2 Subjekty štúdie a karta probanda.....	21
4.1.3 Popis experimentu a príprava merania	21
4.1.4 Meranie PI pri rôznych teplotách ruky.....	23
4.1.5 Ukončenie merania	24
4.1.6 Spracovanie dát	24
4.1.7 Štatistické spracovanie dát	29
4.2 EtCO ₂ a PI.....	30
4.2.1 Popis štúdie.....	30
4.2.2 Spracovanie dát z experimentov v simulovanej lavíne	31
5 Výsledky.....	35
5.1 Výsledky experimentu vplyvu teploty ruky na PI.....	35
5.2 EtCO ₂ a PI	43
6 Diskusia.....	46
6.1 Vplyv teploty na PI	46
6.1.1 PI v klúde	46
6.1.2 Vplyv tepla na PI.....	47
6.1.3 Vplyv chladu na PI	48
6.1.4 Zhrnutie výsledkov experimentu	50

6.1.5	Limitácie štúdie	50
6.2	Vzťah medzi hyperkapniou a perfúznym indexom.....	51
7	Záver	53
	Zoznam použitej literatúry	54
	Príloha A: Žiadosť o prejednanie výskumného projektu v etickej komisii FBMI ČVUT	56
	Príloha B: Syllabus výskumného projektu	57
	Príloha C: Informovaný súhlas	59
	Príloha D: Karta probanda.....	62
	Príloha E: Protokol merania.....	64
	Príloha F: Obsah priloženého CD	67

Zoznam symbolov a skratiek

Zoznam symbolov

Symbol	Jednotka	Význam
A	-	Absorbancia
ε	l/mol/cm	Molárny extinkčný koeficient
c	mol/l	Molárna koncentrácia
l	m	Vzdialenosť
PI	%	Perfúzny index
I_P	-	Absorbancia pulzatilnej zložky
I_{NP}	-	Absorbancia nepulzatilnej zložky
$EtCO_2$	%, mmHg	Koncentrácia oxidu uhličitého na konci výdychu (End-Tidal Carbon Dioxide)
SpO_2	%	Saturácia krvi kyslíkom
λ	m	Vlnová dĺžka

Zoznam skratiek

Skratka	Význam
CO ₂	Oxid uhličitý
LED	Dióda emitujúca svetlo (Light Emitting Diode)

Zoznam obrázkov

Obrázok 1.1: Usporiadanie prstového snímača pre pulznú oxymetriu [2]	13
Obrázok 1.2: Znázornenie závislosti stálej a premennej zložky absorbcie na čase [5] ..	14
Obrázok 1.3: Kapnografická krivka [2]	15
Obrázok 4.1: Masimo Radical 97 (Masimo Corporation, USA) [19]	20
Obrázok 4.2: Vodný kúpeľ BW-10 (Alfamedic, CZ). Fotografia: autor	20
Obrázok 4.3: Meracia sústava. Fotografia: autor	22
Obrázok 4.4: Ohriatie ruky probanda pri teplote 40 °C. Fotografia: autor	23
Obrázok 4.5: Zníženie teploty periférie. Fotografia: autor	24
Obrázok 4.6: Graf záznamu PI jedného probanda v kľude	25
Obrázok 4.7: Graf záznamu PI jedného probanda po ohriatí ľavej ruky	26
Obrázok 4.8: Graf záznamu PI jedného probanda počas ochladenia ľavej ruky	26
Obrázok 4.9: Graf záznamu PI jedného probanda po ochladení ľavej ruky	27
Obrázok 4.10: Graf vývoja PI počas 2 minút v kľude pre všetkých 12 mužov	28
Obrázok 4.11: Graf vývoja PI počas 2 minút v kľude pre všetkých 13 žien	28
Obrázok 4.12: Schéma experimentu [23]	31
Obrázok 4.13: Graf vývoja SpO ₂ v čase s vyznačeným pripojením (červená čiara) a odpojením probanda (zelená čiara) od dýchacej sústavy	32
Obrázok 4.14: Graf vývoja EtCO ₂ v čase s vyznačeným pripojením (červená čiara) a odpojením probanda (zelená čiara) od dýchacej sústavy	33
Obrázok 4.15: Graf vývoja PI v čase s vyznačeným pripojením (červená čiara) a odpojením probanda (zelená čiara) od dýchacej sústavy	33
Obrázok 4.16: Záznam PI pre 13 náhodne vybraných meraní počas 3 minút pred pripojením probanda k sústave simulujúcej lavínu	34
Obrázok 5.1: Krabicové grafy všetkých porovnávaných situácií pre skupinu mužov, ľavá ruka	36
Obrázok 5.2: Krabicové grafy všetkých porovnávaných situácií pre skupinu mužov, pravá ruka	36
Obrázok 5.3: Krabicové grafy všetkých porovnávaných situácií pre skupinu žien, ľavá ruka	37

Obrázok 5.4: Krabicové grafy všetkých porovnávaných situácií pre skupinu žien, pravá ruka	37
Obrázok 5.5: Krabicové grafy Δ PI medzi pravou a ľavou rukou pre skupinu mužov ...	40
Obrázok 5.6: Krabicové grafy Δ PI medzi pravou a ľavou rukou pre skupinu žien	40
Obrázok 5.7: Krabicové grafy vývoja PI počas všetkých 4 úsekov merania	44
Obrázok 5.8: Krabicové grafy vývoja EtCO ₂ počas 3 úsekov merania	44

Zoznam tabuliek

Tabuľka 4.1: Tabuľka probandov	21
Tabuľka 4.2: Základné údaje o probandoch štúdie [17]	31
Tabuľka 5.1: Mediány hodnôt PI pre jednotlivé merania	35
Tabuľka 5.2: Porovnanie PI medzi mužmi a ženami pre jednotlivé merania	38
Tabuľka 5.3: Vzájomné porovnanie jednotlivých meraných úsekov pre mužov a ženy	39
Tabuľka 5.4: Porovnanie mediánov PI medzi pravou a ľavou rukou	39
Tabuľka 5.5: Porovnanie Δ PI medzi jednotlivými meraniami	41
Tabuľka 5.6: Vývoj PI počas 4 minút po ohriatí ľavej ruky	41
Tabuľka 5.7: Počty probandov pre jednotlivé druhy reakcií pri porovnaní okamžitých hodnôt pred a po ohriatí ľavej ruky	42
Tabuľka 5.8: Mediány a medzikvartilové rozpätia PI a EtCO ₂ v jednotlivých fázach experimentu	43
Tabuľka 5.9: Porovnanie PI a EtCO ₂ medzi jednotlivými úsekmi experimentu	45

1 Úvod

V súčasnej dobe sa kladie stále vyšší dôraz na kvalitu zdravotnej starostlivosti. S pokrokom sa zdravotnícke prístroje zdokonalili natoľko, že sú schopné zaznamenávať naraz čoraz viac parametrov monitorujúcich stav pacienta. Pre správne vyhodnotenie stavu pacienta sú tieto parametre kľúčové a poznanie ich vzájomných súvislostí uľahčuje určenie diagnózy.

Táto práca sa zaoberá vplyvom teploty a množstva oxidu uhličitého na konci výdychu na parameter perfúzny index. Perfúzny index (PI) bol po prvý krát použitý a implementovaný spoločnosťou Masimo v roku 1995. Odvtedy vzniklo na trhu veľké množstvo prístrojov, ktoré sú schopné daný parameter zaznamenávať. Meranie perfúzneho indexu je súčasťou niektorých pokročilejších pulzných oxymetrov. V súčasnosti existujú takéto typy pulzných oxymetrov v niekoľkých variantách: pre použitie v klinickej praxi vrátane anesteziológie a intenzívnej starostlivosti, napríklad od výrobcu Masimo a pre prácu v teréne či domácej starostlivosti, napríklad od spoločností Beurer, Innovo, Medical CSE apod [1].

Napriek tomu, že sa perfúzny index používa v klinickej praxi stále častejšie, ďalšie možnosti jeho využitia, rovnako ako vzájomné vzťahy s inými parametrami, podliehajú aktuálne mnohým štúdiám. Hlavnou motiváciou vytvorenia predkladanej práce bola práve vysoká aktuálnosť témy a zároveň možnosť uskutočnenia vlastnej štúdie. Zámerom je prispieť k ozrejmieniu súvislostí medzi perfúznym indexom a ďalšími parametrami.

V prvej časti diplomovej práce sú vysvetlené základné pojmy a použité fyzikálne princípy. Následne je vytvorený experiment, ktorého cieľom je zistiť vplyv teploty miesta merania na perfúzny index. Ďalšia časť je venovaná spracovaniu a vyhodnoteniu dát z experimentu v simulovanom lavínovom snehu, pričom je skúmaný vzťah množstva oxidu uhličitého na konci výdychu a perfúzneho indexu.

1.1 Pulzná oxymetria

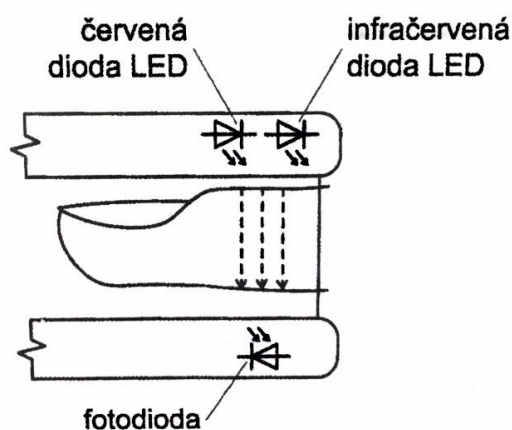
Pulzná oxymetria je neinvazívna diagnostická metóda založená na spektrálnej analýze elektromagnetického žiarenia prechádzajúceho prekrveným tkanivom s rôznou absorpciou tohoto žiarenia.

Fyzikálny princíp oxymetrie je založený na Lambert-Beerovom zákone. Ten hovorí, že absorbanca roztoku určitej látky pre monochromatické žiarenie je priamo úmerná jej koncentrácii v danom roztoku. V pulznej oxymetrii je krv považovaná za homogénny roztok, tzn. veľkosť krvných častíc je zanedbaná. Vzorec pre výpočet absorbancie je:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l, \quad (1.1)$$

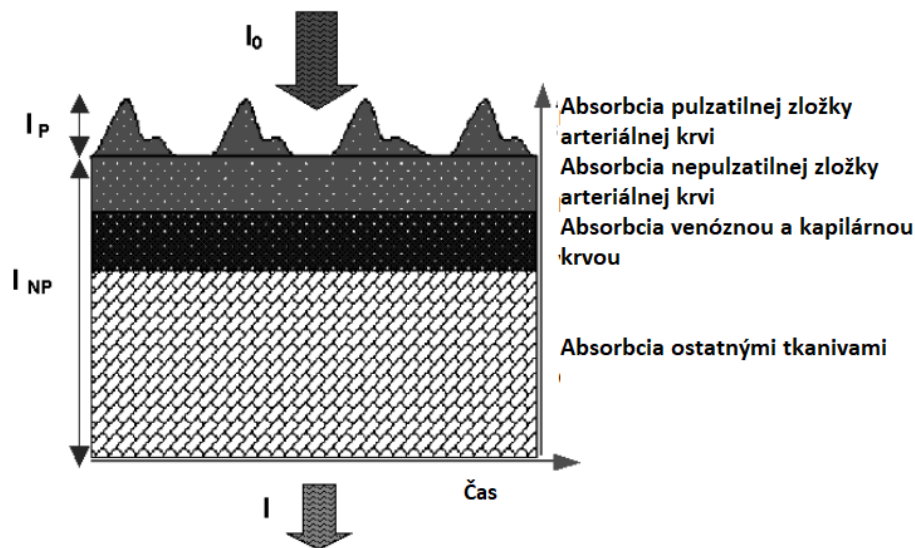
kde A je absorbanca, ε je molárny extinkčný koefinient, c je koncentrácia rozpustenej látky a l je vzdialenosť, ktorú prejde žiarenie v roztoku. [2, 3]. V prípade, že je možné zmerať hodnotu absorbancie, sa dá následne zo znalosti extinkčných koeficientov a dráhy žiarenia určiť koncentrácia rôznych druhov tkanív [4, 5].

V pulznej oxymetrii sa využívajú ako zdroje žiarenia dve LED diódy, pričom jedna emituje červené žiarenie (približne 660 nm) a druhá infračervené žiarenie (približne 950 nm)[2]. Pomocou fotodiódy sa meria intenzita svetelného žiarenia, ktoré prešlo tkanivom. Skúmané tkanivo musí byť dobre prekrvené, a z tohoto dôvodu sa k meraniu používa najčastejšie prst alebo ušný lalôčik. Schéma prstového snímača je znázornená na obrázku 1.1:



Obrázok 1.1: Usporiadanie prstového snímača pre pulznú oxymetriu [2]

Žiarenie prechádzajúce tkanivami je pohlcované jeho zložkami, ktoré sa delia na premenné a stále. Medzi stále zložky patria kosti, pokožka, svaly a nepulzatilná zložka krvi. Premenná zložka vzniká na základe pulzatilného charakteru krvného toku a je tvorená periodickými zmenami objemu krvi závisiacimi na tepovej frekvencii. Dochádza tak k zmenám absorbancie žiarenia. Premenná zložka tvorí približne 2 % zo všetkých tkanív absorbujúcich dané žiarenie, viz obrázok 1.2 [2, 3, 6].



Obrázok 1.2: Znáozornenie závislosti stálej a premennej zložky absorbcie na čase [5]

1.2 Perfúzny index

Perfúzny index (PI) udáva pomer medzi absorbanciou premennej a stálej zložky pri prechode žiarenia tkanivom. Získava sa z pletyzmografického signálu pulzných oxymetrov a patrí medzi neinvazívne a kontinuálne metódy zisťovania perfúzie periférií. Perfúzny index je počítaný nezávisle na saturácii krvi kyslíkom či srdčej frekvencii. Zmeny hodnôt periférnej perfúzie sú spôsobené variáciou premennej zložky pričom stála zložka zostáva nemenná. Z tohoto dôvodu je možné pozorovať zmeny v pomere udávajúcom perfúzny index:

$$PI = \frac{I_P}{I_{NP}}, \quad (1.2)$$

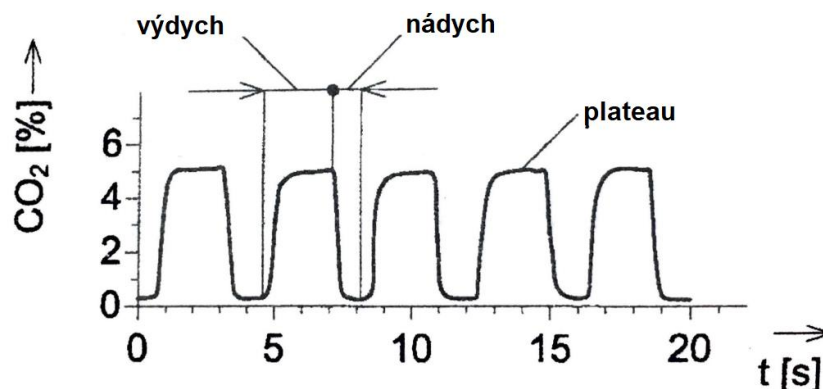
kde I_P je absorbanca pulzatilnej zložky a I_{NP} je absorbanca stálej nemennej zložky. Perfúzny index teda udáva pomer medzi novo okysličenou krvou prichádzajúcou s každým srdčným pulzom ku celkovému množstvu krvi v danom mieste merania. Jeho hodnoty sa vyjadrujú v percentách a nachádzajú v rozmedzí 0,02-20 %. Perfúzny index sa v klinickej praxi využíva k vyhodnoteniu perfúzie a vhodnosti miesta merania. Čím vyššia hodnota PI, tým lepšie prekrvenie miesta merania. Štúdie dokázali, že perfúzny index je vhodným prostriedkom vyhodnotenia vážnosti stavu

neonatologických pacientov a môže byť indikátorom zhoršenia stavu pacienta. Pri anestézii je vyšší PI znakom vazodilatácie periférnych ciev a jeho pokles býva vyhodnotený ako neadekvátne analgézia pri danom zákroku. V rámci štúdií teda bolo dokázané, že PI je možné využiť aj ako indikátor bolesti u pacientov pri epidurálnej analgézi. Počas analgézie hodnota PI stúpa a po jej odznení a následnom zvýšení bolesti hodnota perfúzneho indexu klesá. [7–10]

1.3 Oxid uhličitý a EtCO₂

Oxid uhličitý (CO₂) vzniká v ľudskom tele počas látkovej výmeny v tkanivách, odkiaľ je prenášaný krvou do pľúc a z nich následne vydýchaný. CO₂ stimuluje dýchanie a jeho zvýšená tvorba (napr. pri fyzickej námahe) zrýchľuje frekvenciu dýchania, a tým dochádza k jeho odstraňovaniu. Pri zníženom dýchaní stúpa množstvo oxidu uhličitého a tento stav sa nazýva hyperkapnia. Naopak, pri zvýšenom dýchaní koncentrácia CO₂ klesá a vzniká hypokapnia. Hromadenie oxidu uhličitého v tele vedie k pocitu únavy, útlmu vedomia až bezvedomiu. [11, 12]

Kapnomeria slúži na zistenie obsahu oxidu uhličitého vo vdychovanom a vydychovanom vzduchu. Prístroj pre toto meranie sa nazýva kapnograf a najčastejšie sa jedná o infračervený analyzátor s vlnovou dĺžkou 4300 nm alebo analyzátor využívajúci rozdielne teplotné vodivosti plynov. Výstupom kapnografu je kapnografická krivka, zobrazujúca priebeh koncentrácie CO₂ v čase, viz. Obrázok 1.3:



Obrázok 1.3: Kapnografická krivka [2]

Koncentrácia CO₂ vo vdychovanom vzduchu sa označuje parametrom EtCO₂. Skratka pochádza z anglického “End-tidal carbon dioxide“ a znamená koncentráciu oxidu uhličitého na konci výdychu. Normálna hodnota sa pohybuje v rozmedzí 4,5-6 % alebo 35-45 mmHg.

V súčasnej dobe sa najčastejšie používajú dva typy kapnometrov, ktoré sa na základe spôsobu analýzy vzorky plynu delia na typ mainstream a sidestream. V prípade mainstream kapnometru je snímací senzor umiestnený priamo v mieste prúdenia plynu.

Sidestream typ najskôr nasaje vzorku plynu, a potom ju transportuje do senzoru, kde je analyzovaná. [13]

Kapnometria sa využíva ako ukazateľ správneho fungovania respiračného systému pri intubovaných pacientoch. V niektorých prípadoch je kapnometria lepším ukazateľom ako oxymetria, pretože nepoukazuje iba na správne zásobenie tela kyslíkom, ale aj na správnosť odvádzania oxidu uhličitého z tela. [2]

2 Prehľad súčasného stavu

Vzťah medzi parametrom perfúzy index a teplotou miesta merania nie je v súčasnej dobe úplne jasný. Je známe, že v prípade hypotermie dochádza k vazokonstrikcií periférnych častí tela. Výrobca firma Masimo uvádza, že vzhľadom na umiestnenie senzoru na prst, môže mať takáto zmena teploty výrazný vplyv na meranie PI. Technická špecifikácia prístroja ale neuvádza, aký konkrétny efekt môže zmena teploty vyvolať [10].

V doterajších štúdiách [14–16] bol vyhodnocovaný iba efekt nízkej a vysokej teploty na saturáciu krvi kyslíkom, ktorá je takisto meraná pomocou pulzných oxymetrov. Vzhľadom na veľmi blízky princíp merania je možné sa domnievať, že varácia teploty môže mať vplyv aj na parameter perfúzy index. Problematike vplyvu teploty periférií na parametre pulzných oxymetrov sa venovalo niekoľko štúdií. Jedna z nich skúmala variabilitu saturácie krvi kyslíkom meranú pulzným oxymetrom pri teplote prstu 15 °C a 45 °C. Dokázala, že pri hypertermii dochádza k zníženiu hodnoty SpO₂ a pri hypotermii k zvýšeniu. Autori článku sa domnievajú, že pulzné oxymetre môžu pri poklese teploty periférií nesprávne ukazovať vyššie hodnoty ako tie skutočné a naopak, nižšie hodnoty v prípade hypertermie periférií [14].

Ďalšia štúdia zisťovala presnosť a správnosť pulzných oxymetrov značky Ohmeda. Výsledkom štúdie bolo zistenie, že pulzný oxymeter nesprávne nadhodnotil výsledky v prípade poklesu teploty miesta merania od 36-30 °C a podhodnotil výsledky pri teplotách od 30-25 °C. Tieto rozdiely boli výraznejšie pri pacientoch, ktorých počiatočné hodnoty saturácie krvi kyslíkom boli nižšie [15]. Štúdia z roku 2012 dokázala, že pri nízkych teplotách periférií do 13 °C často dochádza k zlyhaniu pulzného oxymetru Nellcor N-200. Pri teplotách prstu od 13-17 °C prístroj zlyhal až v 44,4 % prípadov a na intervale 18-21 °C zlyhal celkovo v 26 % meraní [16]. Z týchto štúdií vyplýva, že hypotermia a hypertermia môže mať vplyv na merania pulzných oxymetrov, či už z hľadiska správnosti výsledkov alebo celkovej spoľahlivosti prístrojov. Z tohoto dôvodu by bolo potrebné zistiť vplyv teploty miesta merania na perfúzy index, ktorý je zaznamenaný práve pomocou pulzných oxymetrov. Vzhľadom na stále častejšie sa objavujúce používanie parametru perfúzy index v klinickej praxi môže táto práca prispieť k odhaleniu nových súvislostí.

Druhým skúmaným parametrom, ktorý môže mať vplyv na perfúzy index, je zvýšená hodnota EtCO₂. Štúdia z roku 2013 zisťovala efekt hyperkapnie na perfúzy index v priebehu anestézie. Oxid uhličitý spôsobuje dilatáciu periférnych artérií na základe čoho je možné usúdiť, že zmeny CO₂ spôsobujú zmeny hodnôt perfúzneho indexu. Z výsledkov štúdie vyplynulo, že pri hyperkapnii (hodnota EtCO₂=45 mmHg) nastalo zvýšenie hodnôt PI [17].

3 Ciele práce

Cieľom tejto diplomovej práce je zistiť vplyv teploty periférnej časti tela na perfúzny index a vzájomný vzťah medzi hyperkapniou a PI.

Pre zistenie vplyvu teploty miesta merania na perfúzny index je nutné navrhnuť a realizovať experiment za použitia pokročilého pulzného oxymetru od výrobcu Masimo. Experiment bude tvorený dvoma časťami, konkrétne zisťovaním vplyvu vyššej a následne nižšej teploty ruky ako je fyziologická teplota ľudského tela. Namerané dáta budú štatisticky spracované a následne bude vyhodnotený vplyv teploty prstu ruky na PI.

Vývoj perfúzneho indexu vplyvom EtCO₂ bude zistený z analýzy dát získaných z experimentov so simulovaným snehom poskytnutých z výzkumu prebiehajúceho v rámci Fakulty biomedicískeho inžinierstva. V tejto časti práce bude potrebné najskôr synchronizovať dáta z rozdielnych prístrojov, ktoré boli k ich zberu použité. Následne budú dáta spracované a vyhodnotené.

4 Metódy

Kapitola metódy je rozdelená na dve hlavné časti. Prvou je realizácia a spracovanie vlastného experimentu, ktorého cieľom je zistiť vplyv teploty periférnej časti tela na perfúzny index. Druhá časť kapitoly je zameraná na spracovanie dát zo štúdie simulovaných lavín a zistenie vzťahu medzi EtCO₂ a PI.

4.1 Vplyv teploty miesta merania na PI

Tento experiment je prospektívnou intervenčnou štúdiou, ktorej sa zúčastnili zdraví dobrovoľníci z Fakulty biomedicínskeho inžinierstva ČVUT v Prahe. Štúdia bola schválená etickou komisiou FBMI pod číslom C13/2020 na základe žiadosti o prejednanie projektu, sylabu výskumného projektu a informovaného súhlasu. Všetky spomínané dokumenty sú uvedené v prílohe A, B a C tejto práce. Každý z probandov bol v informovanom súhlase zoznamovaný s cieľom, priebehom, rizikami a vylučujúcimi kritériami experimentu. Svojim podpisom proband vyjadril dobrovoľnú účasť v štúdiu.

4.1.1 Použité prístroje

K záznamu perfúzneho indexu sa používajú pokročilé typy pulzných oxymetrov. V tejto práci boli k monitorovaniu PI použité dva pulzné oxymetre Masimo Radical 97 (Masimo Corporation, USA). Spoločnosť Masimo využíva k získaniu dát pokročilú technológiu SET (z anglického názvu Signal Extraction Technology), ktorá bola vyvinutá práve spoločnosťou Masimo. V rovnakej dobe Masimo po prvý krát predstavilo perfúzny index. Princíp pulznej oxymetrie je podrobne vysvetlený v podkapitole 1.1. Bežné pulzné oxymetre zahŕňajú do pulzateľnej zložky krvi len arteriálnu krv a venóznou zložku krvi považujú za statickú. Technológia SET je výnimočná v tom, že predpokladá pulzovanie ako arteriálnej, tak i venóznej zložky krvi. Okrem klasického algoritmu pre červené a infračervené žiarenie používa ďalšie štyri paralelne fungujúce algoritmy. Tie sú schopné odlíšiť arteriálny signál od zdrojov rušenia vrátane pulzujúcej venóznej zložky krvi. Z tohoto dôvodu dokáže pulzný oxymeter vyhodnotiť údaje správne aj v prípade pohybu a slabšej perfúzie. Štúdie dokázali, že Masimo SET technológia ponúka kvalitnejšie a presnejšie údaje ako bežné pulzné oxymetre [18]. V tejto práci boli k meraniu PI zvolené pulzné oxymetre Masimo práve z dôvodu možnosti záznamu samotného perfúzneho indexu, a to aj pri nižších perfúziách, ktoré pri zmene teploty miesta merania môžu nastať. [19] Na obrázku 4.1 je zobrazený použitý prístroj Masimo Radical 97.



Obrázok 4.1: Masimo Radical 97 (Masimo Corporation, USA) [19]

Ďalším prístrojom použitým v tejto práci bol vodný kúpeľ. Vodný kúpeľ je zariadenie určené k zahriatiu laboratórneho skla alebo fliaš s obsahom zdravotníckeho alebo chemického materiálu, napríklad krvných derivátov, chemických roztokov apod. Prístroj sa bežne používa v klinických alebo laboratórnych pracoviskách. V tejto práci bol vodný kúpeľ zvolený ako prostriedok k zahriatiu ruky probanda na konkrétnu teplotu. Zariadenie umožňuje udržiavanie stálej teploty počas celého merania a zároveň zabezpečuje rovnaké teplotné podmienky pre všetkých probandov. V experimente bol použitý vodný kúpeľ BW-10 od českého výrobcu Alfamedic, viz obrázok 4.2. Prístroj sa skladá z oplášt'ovanej nosnej časti a nerezovej vane s vekom. Pomocou dvojitého dna, sústavy trysiek a výkonného čerpadla je zabezpečená rovnomerná teplota kvapaliny v celom pracovnom priestore vodného kúpeľa. [20]



Obrázok 4.2: Vodný kúpeľ BW-10 (Alfamedic, CZ). Fotografia: autor

4.1.2 Subjekty štúdie a karta probanda

Klinickej štúdie sa celkovo zúčastnilo 26 probandov, všetci boli študentami/študentkami Fakulty biomedicínskeho inžinierstva Českého vysokého učenia technického v Prahe (FBMI ČVUT). Probandi boli rozdelení na dve skupiny podľa pohlavia. Podmienkou účasti v experimente bol dobrý zdravotný stav a absencia akýchkoľvek poranení kože v oblasti rúk. Účasť v štúdiu bola dobrovoľná a mohla byť probandom kedykoľvek bez udania dôvodu ukončená. Na začiatku každého merania bola vyplnená karta probanda a podpísaný informovaný súhlas s účasťou v experimente, viz príloha C a D. Karta probanda obsahuje priradenie jedinečného identifikačného čísla každému z dobrovoľníkov. Od tohoto okamihu bol proband zaznamenávaný iba pod svojim identifikačným číslom. V karte probanda sú ďalej vyplnené osobné údaje probanda ako meno a priezvisko, pohlavie, vek, adresa a kontakt. Následne proband uvádza základné zdravotné údaje: výšku, váhu, vzťah k fajčeniu (fajčiar, nefajčiar) a prípadné ochorenia. Z výšky a váhy bol dopočítaný BMI index telesnej hmotnosti. Základná charakteristika oboch skupín probandov je uvedená v tabuľke 4.1. Celkový počet fajčiarov bol nízky (muži 3x, ženy 4x), a teda nebol ďalej využitý pri štatistickom spracovaní.

Tabuľka 4.1: Tabuľka probandov

Skupina	Počet	Vek (roky)	Výška (cm)	Váha (kg)	BMI (kg/m ²)
Muži	13	23±1	186±7	87±16	24,9±3,1
Ženy	13	23±1	170±6	63±9	21,7±2,5

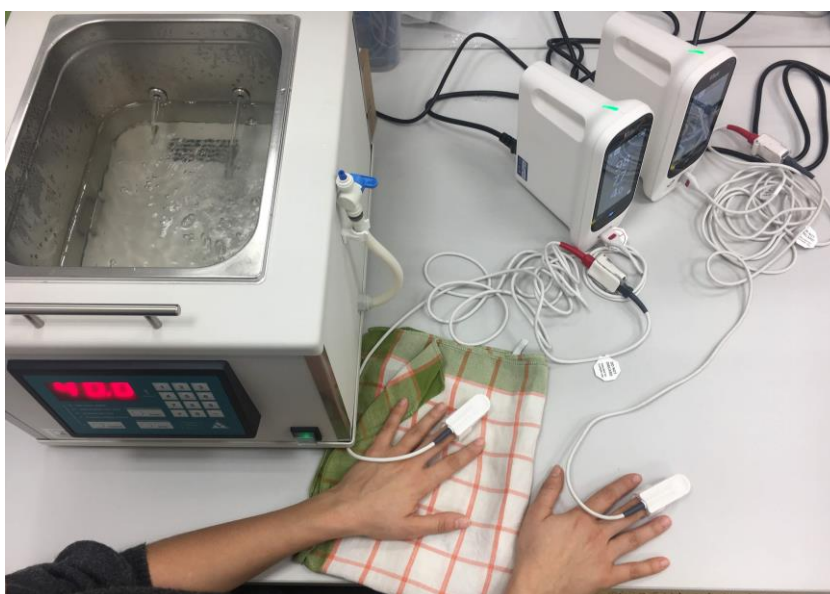
Údaje v tabuľke sú uvedené ako priemer ± smerodatná odchýlka.

4.1.3 Popis experimentu a príprava merania

Experiment prebiehal v laboratóriu A-105 na Fakulte biomedicínskeho inžinierstva ČVUT v Prahe. Každé experimentálne meranie prebiehalo podľa protokolu merania (viz príloha E). Na základe dostupných štúdií popísaných v kapitole 2 bolo stanovené, že sa experiment bude skladať z meraní perfúzneho indexu pri dvoch rôznych teplotách ruky probanda, pričom PI druhej ruky bude zaznamenávaný ako referencia. Najčastejšie využívaným postupom štúdií k zníženiu teploty periférie bolo vloženie ruky probanda do nádoby so studenou vodou alebo priloženie ľadu na ruku. V tejto štúdiu bola ruka probanda ochladená priložením igelitového vrečka s ľadom. Zohriatie ruky na teplotu 40 °C bolo realizované vložením ruky do nádoby s vodou o danej teplote. Podľa štúdií [21, 22] je najvhodnejším prstom k umiestneniu prstového senzoru prostredník. V tomto

experimente boli prstové snímače pulzných oxymetrov umiestnené na prostredník pravej i ľavej ruky.

Po príchode na pracovisko boli vizuálne skontrolované všetky používané prístroje a pracovný priestor. Proband bol usadený k stolu s meriacimi prístrojmi. Následne bol zapnutý vodný kúpeľ, teplota 40°C bola nastavená už pri pilotnom meraní a v priebehu experimentu sa nemenila. Vzhľadom na čas potrebný k ohrevu vody v nádobe bolo dôležité dodržať zapnutie vodného kúpeľa ihneď po príchode a usadení probanda. V tejto chvíli bolo z mrazničky vybraté igelitové vrecko s ľadom a umiestnené na pár sekúnd pod tečúcu vlažnú vodu. Aby bolo možné vrecúško priložiť k ruke probanda, bolo nutné mierne roztopiť igelitové spoje medzi jednotlivými kúskami ľadu. Potom bol proband zoznámený s priebehom experimentu, podpísal informovaný súhlas a spolu s hlavným riešiteľom vyplnil kartu probanda. V tejto chvíli bolo probandovi pridelené unikátne identifikačné číslo, pod ktorým bol vedený v priebehu celého experimentu a pri vyhodnocovaní dát. ID probanda bolo jediným spoločným údajom pri priradení protokolu merania ku konkrétnemu probandovi, tým pádom bola zachovaná úplná anonymita probandov štúdie. Ďalším krokom bolo zapnutie oboch prístrojov Masimo Radical 97 a kontrola synchronizácie ich dátumov a časov. V nastaveniach výstupu dát prístrojov musel byť zvolený USB Port a protokol IAP. Po skontrolovaní všetkých nastavení bolo započnuté samotné meranie. Na prostredník ľavej i pravej ruky bol umiestnený prstový senzor LNCS DC-I od výrobcu Masimo. Použité pulzné oxymetre zobrazujú na obrazovke čas vo formáte hodín a minút. Aby bolo zabezpečené presné dodržanie časov protokolu merania, boli ihneď po započatí merania zapnuté stopky na mobilnom telefóne. Prvým meraním bol 2-minútový záznam perfúzneho indexu v kľude. Umiestnenie meracej sústavy je možné vidieť na obrázku 4.3. Obrázky prístrojov Masimo Radical 97 boli otočené smerom od probanda aby nedochádzalo k prípadnému ovplyvneniu hodnôt.



Obrázok 4.3: Meracia sústava. Fotografia: autor

4.1.4 Meranie PI pri rôznych teplotách ruky

Po uplynutí 2 minút záznamu PI v kľude bol z ľavej ruky odstránený prstový senzor. Proband vložil ruku do vodného kúpeľa o teplote 40 °C a ponechal ju tam 2 minúty. Pri zohrievaní ruky bola končatina ohnutá v lakti a opretá o vrchnú časť vodného kúpeľa tak, aby bolo probandovi zabezpečené čo najväčšie pohodlie. Každý z probandov mal ruku ponorenú vo vode do výšky zápästia viz obrázok 4.4. Pravá ruka s prstovým senzorom zostala v pokoji položená na stole s meracími prístrojmi a záznam PI tak nebol prerušený.



Obrázok 4.4: Ohriatie ruky probanda pri teplote 40 °C. Fotografia: autor

Potom proband ľavú ruku z vodného kúpeľa vybral a po rýchlom osušení bavlnenou utierkou mu bol znova nasadený na prostredník ruky prstový snímač. Nasledoval záznam perfúzneho indexu po dobu 4 minút. Po ich uplynutí bolo na ľavú ruku probanda priložené igelitové vrečko s ľadom (viz obrázok 4.5) a bol zaznamenaný presný čas z pulzného oxymetra aj zo stopiek. Igelitové vrečko bolo ohnuté tak, aby pokrývalo vrch ruky a zároveň aby mal proband ľad pod dlaňou. Ochladenie periférie tak prebehlo z oboch strán. Po 1 minúte bol ľad odstránený a prebehol 4 minútový záznam hodnôt PI.



Obrázok 4.5: Zníženie teploty periférie. Fotografia: autor

4.1.5 Ukončenie merania

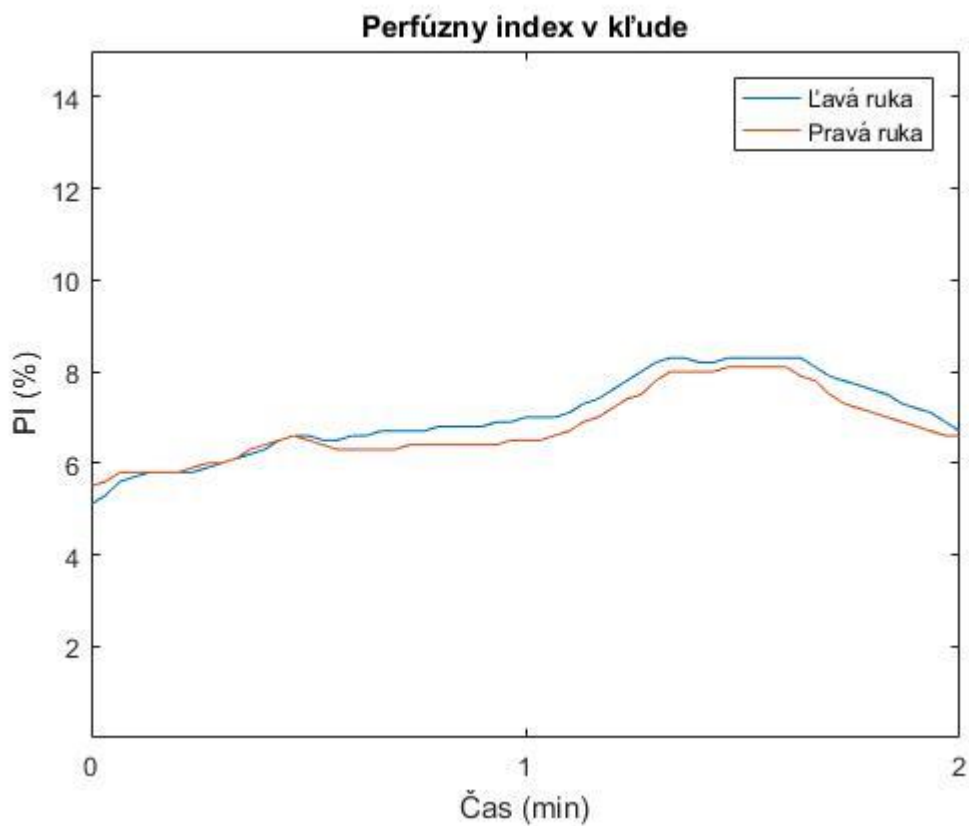
Po uplynutí 4 minút bol experiment ukončený. V prípade potreby mohol proband zostať ešte niekoľko minút v pokoji sedieť. Následne boli z oboch prístrojov Masimo Radical 97 exportované dáta do osobného počítača. Potom boli všetky prístroje vypnuté a pracovisko bolo upratané do pôvodného stavu.

4.1.6 Spracovanie dát

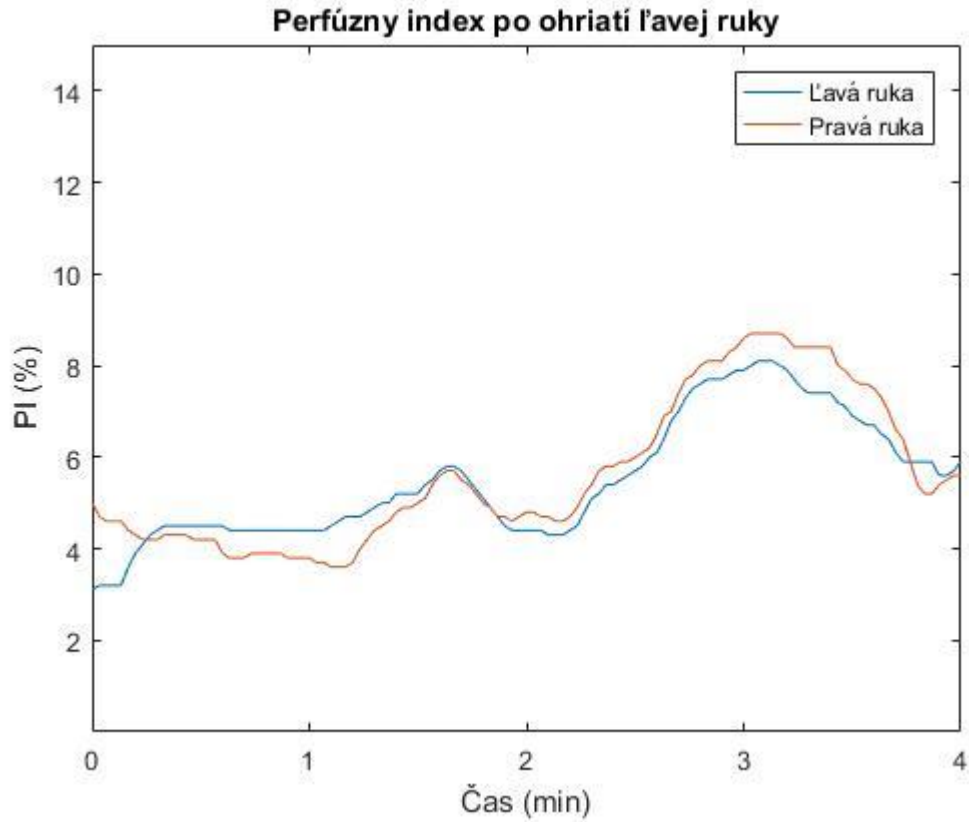
Spracovanie experimentálnych dát prebiehalo v prostredí Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation, USA) a MATLAB R2016a (MathWorks, USA). Exportované dáta z prístrojov Masimo 97 boli na základe pohlavia rozdelené do dvoch hlavných skupín na mužov a ženy. Ďalej boli dáta na základe časových údajov v protokole merania synchronizované a upravené na rovnako dlhé časové úseky pre všetkých probandov. Z dát boli taktiež odstránené artefakty, ktoré sa prejavovali ako veľmi zvýšená hodnota PI v okamihu ihneď po umiestnení senzoru na prst.

Dáta každého z probandov boli rozdelené do 4 základných úsekov: záznam PI počas 2 minút v kľude, záznam PI počas 4 minút po ohriatí ľavej ruky, záznam PI počas 1 minúty ochladzovania ľavej ruky ľadom a záznam PI počas 4 minút po ochladení ľavej ruky. Na obrázku 4.6 - 4.9 sú zobrazené grafy vyššie spomenutých úsekov pre jedného a toho istého probanda. Časová os vždy zodpovedá dobe trvania merania a počiatok záznamu je v čase 0 minút. Hodnota perfúzneho indexu v žiadnom z meraní nepresiahla 15 %, a preto bola os y zvolená v rozmedzí PI 0-15 %.

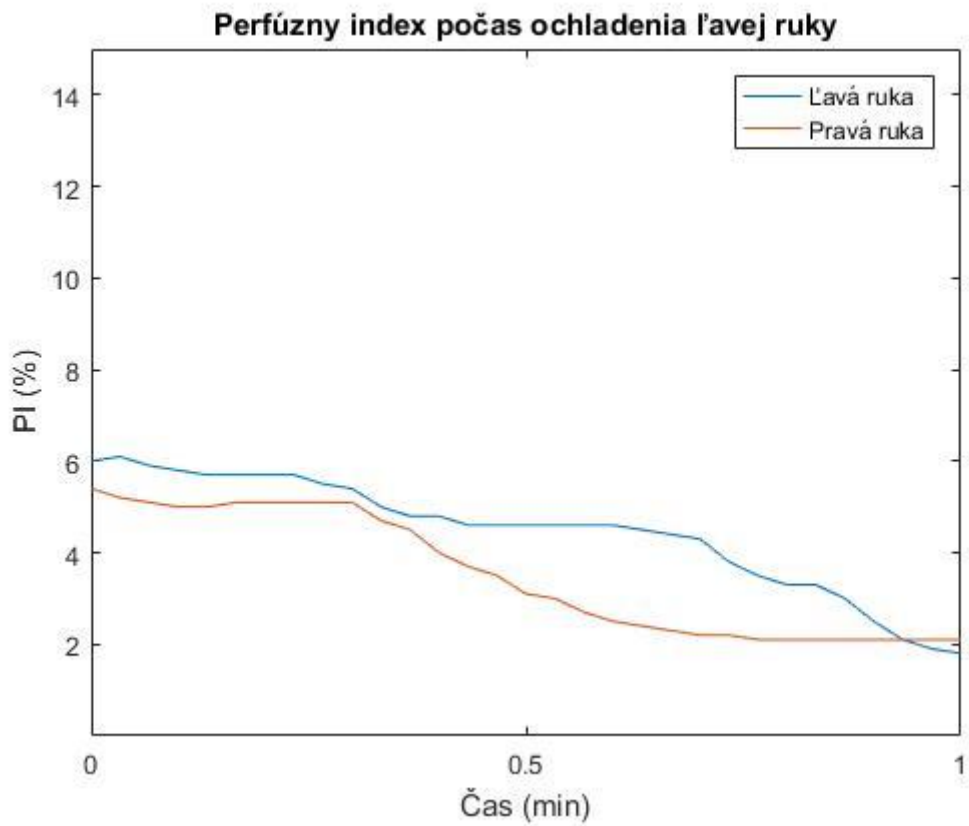
V rámci následného spracovania a vyhodnotenia experimentu bol jeden mužský proband vylúčený z dôvodu chybného záznamu PI.



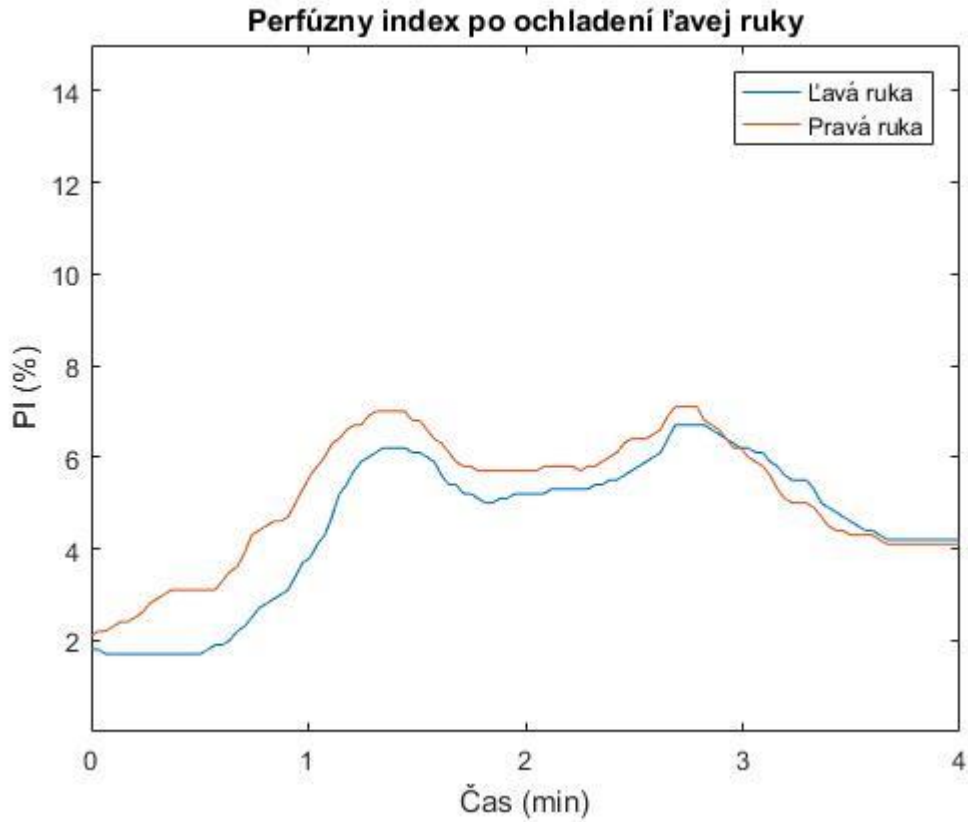
Obrázok 4.6: Graf záznamu PI jedného probanda v kľude



Obrázok 4.7: Graf záznamu PI jedného probanda po ohriatí ľavej ruky

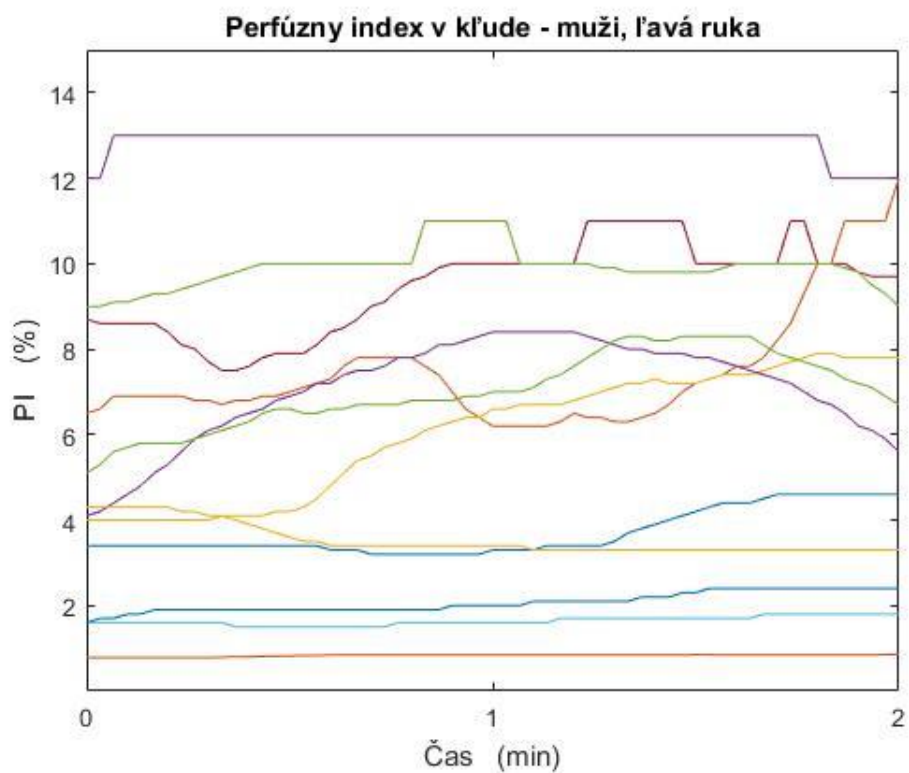


Obrázok 4.8: Graf záznamu PI jedného probanda počas ochladenia ľavej ruky

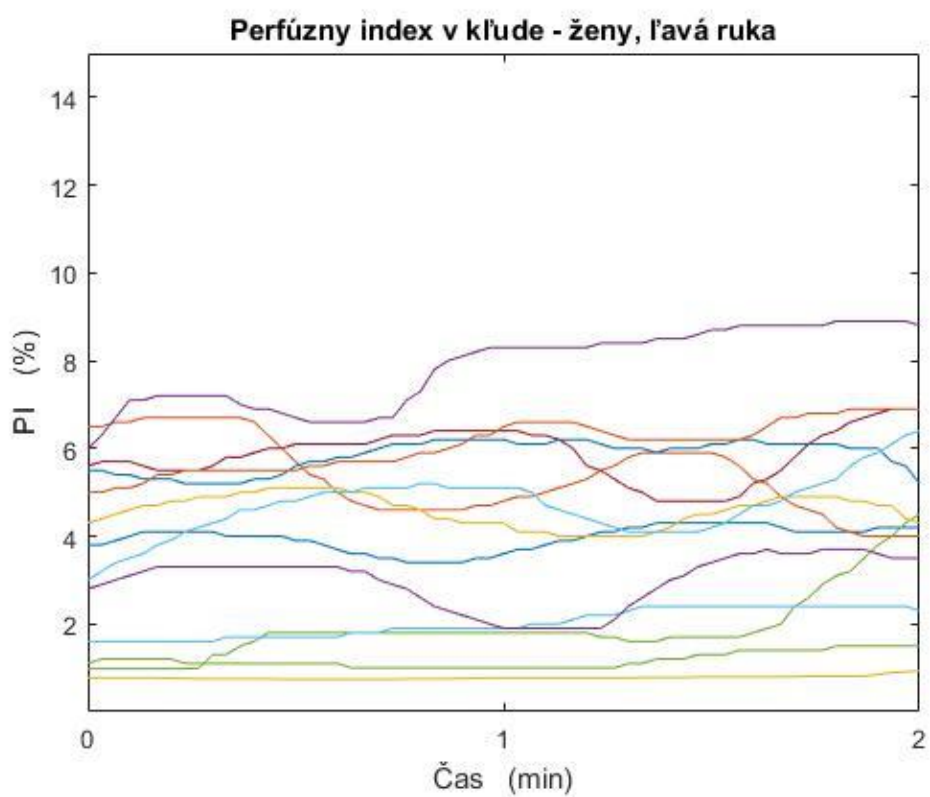


Obrázok 4.9: Graf záznamu PI jedného probanda po ochladiení ľavej ruky

Obrázok 4.10 a 4.11 zobrazuje vzor grafov pre všetkých probandov a probandky experimentu pre ľavú ruku počas 2 minút v kľude.



Obrázok 4.10: Graf vývoja PI počas 2 minút v kľude pre všetkých 12 mužov



Obrázok 4.11: Graf vývoja PI počas 2 minút v kľude pre všetkých 13 žien

4.1.7 Štatistické spracovanie dát

Experimentálne dáta nepochádzali z normálneho rozdelenia a počet probandov pre skupinu mužov i žien bol nižší ako 15. Z tohoto dôvodu boli pre štatistickú analýzu dát použité neparametrické testy, ktoré namiesto hodnotenia priemerov používajú mediány pozorovanej veličiny.

Parameter perfúzny index bol kontinuálne monitorovaný pre každého probanda počas 4 rôznych meraní: v kľude, po ohriatí ľavej ruky, počas ochladzovania ľavej ruky ľadom a po ochladení. Pre meranie v kľude a po ohriatí ľavej ruky boli k vypočítaniu mediánov a medzikvartilových rozpätí použité celé časové úseky, rovnako ako aj k ich následným porovnaniam. Pre meranie počas ochladenia boli mediány vypočítané z posledných 10 s záznamu a porovnávané s poslednými 10 s z merania po ohriatí ľavej ruky. V tomto prípade bolo posledných 10 s z merania po ohriatí ľavej ruky použitých ako počiatočná referenčná hodnota PI k porovnaniu následného ochladenia. Meranie po ochladení bolo opätovne použité v celom svojom časovom rozsahu a porovnávané s mediánmi z posledných 10 s po ohriatí a počas ochladenia ľadom. Celkovo bolo pri porovnaníach použitých 5 časových úsekov, ich nasledujúce názvy sú použité v grafoch a v následnom texte práce: V kľude, Po ohriatí, Koniec ohriatia, Počas ochladenia, Po ochladení.

Pre porovnanie jednotlivých situácií boli použité krabicové grafy. Krabicové grafy overovali symetričnosť dát a zároveň zobrazovali variabilitu PI a extrémne hodnoty vrámci meraných úsekov. Modrou farbou sú vždy zobrazené rozpätia medzi horným a dolným kvartilom (rozdiel medzi 75. a 25. percentilom), červená horizontálna čiara vo vnútri boxu označuje hodnotu mediánu a čiernymi čiarami je znázornená maximálna a minimálna hodnota meranej veličiny. Červeným znakom + sú naznačené odľahlé hodnoty.

Pre každého probanda bol taktiež vypočítaný medián rozdielu hodnôt PI medzi pravou a ľavou rukou (ΔPI) počas každého úseku v celom jeho časovom rozpätí. Tie boli následne porovnané vrámci skupiny i medzi skupinami.

Pri testovaní hypotéz boli použité neparametrické testy, konkrétne Wilcoxonov dvojitý test pre závislé a nezávislé výbery s ohľadom na porovnávané situácie. Pre všetky testované hypotézy bola zvolená hladina významnosti $\alpha=0,05$.

4.2 EtCO₂ a PI

V tejto časti práce boli použité dáta z experimentov v simulovaných lavínach, viz kapitola 2. Dáta boli získané z experimentu Fakulty biomedicínskeho inžinierstva ČVUT v Prahe, ktorý prebiehal v období medzi 29. januárom a 1. februárom 2019 v Špindlerovom Mlyne, Krkonošských horách v Českej Republike. Štúdia bola schválená etickou komisiou a registrovaná na ClinicalTrials.gov pod číslom NCT03413878. Typovo patrí medzi prospektívne randomizované a jedenkrát zaslepené štúdie. Dáta všetkých probandov boli najskôr predspracované a následne vyhodnotené.[23]

4.2.1 Popis štúdie

Táto štúdia sa zaoberala analýzou potenciálnych technických problémov počas outdoorových experimentov týkajúcich sa dýchania v simulovanej lavíne, ktoré by mohli ovplyvňovať výsledky štúdií alebo priniesť možné zdravotné riziká probandom daných štúdií. Ďalším cieľom bolo posúdiť hlavné monitorovacie prostriedky pri outdoorových experimentoch- pulznú oxymetriu a kapnometriu.

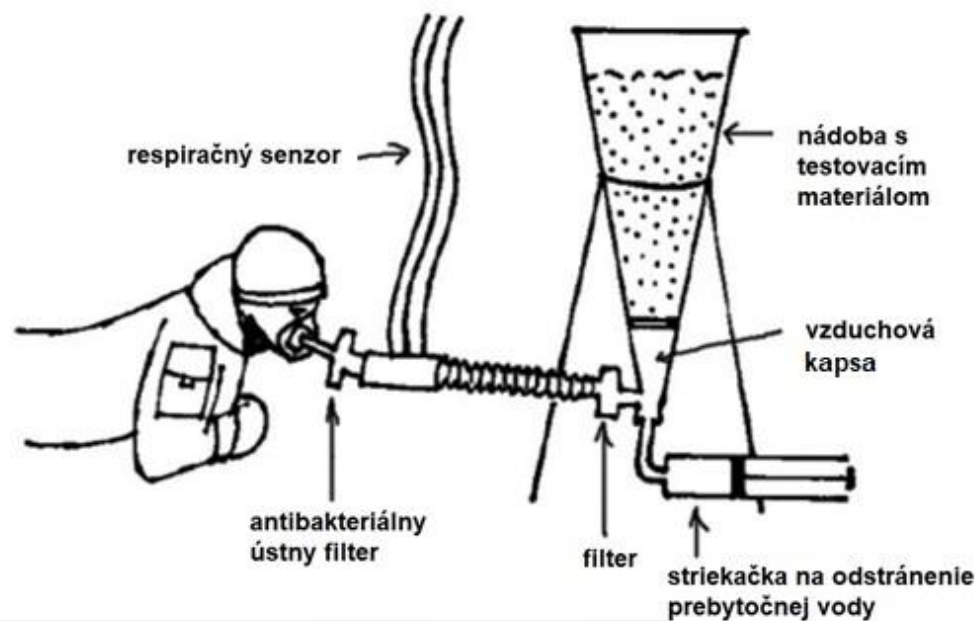
Základným princípom experimentu bolo dýchanie probanda v podmienkach simulujúcich lavínu. Sústava simulujúca podmienky pri zasypaní lavínou bola zložená z hadicového systému, ku ktorému bol pripojený proband a z nádoby v tvare lievika s testovacím materiálom, v ktorého spodnej časti bola vytvorená vzduchová kapsa s objemom 2 l. V spodnej časti testovacej nádoby bol zabezpečený odvod nadmerného množstva vody. Každý proband bol počas experimentu pripojený k hadicovému systému vlastným antibakteriálnym ústnym filtrom. Probandi boli kontinuálne monitorovaní v priebehu celého merania. Pacientský monitor Datex-Ohmeda S/5 (Datex-Ohmeda, Madison, USA) zaznamenával nasledujúce fyziologické parametre: elektrokardiogram, srdcovú frekvenciu, periférnu saturáciu krvi kyslíkom a tlak krvi. Pomocou respiračného senzoru D Lite (Datex-Ohmeda, Madison, USA) boli merané parametre ako dychová frekvencia, dychový objem, tlak dýchacích ciest a prietok vzduchu dýchacími cestami, frakcie kyslíku, oxidu uhličitého a oxidu dusného pri nádychu a na konci výdychu. SpO₂ bolo zaznamenávané pomocou 5 rôznych pulzných oxymetrov vrátane Masimo Radical-7 pulzného CO-oxymetru (Masimo, Irvine, USA), ktorý zaznamenával aj hodnotu perfúzneho indexu. Počas celého experimentu boli probandi v maximálnom tepelnom komforte. Ruku s prstovými senzormi mali v predvyhriatej rukavici, celé telo mali v spacom vaku a boli umiestnení na podložke. Teplotný komfort probandov mal za cieľ zabrániť ochladeniu periférií počas experimentu a následnej vazokonstrikcii a potenciálnemu ovplyvneniu výsledkov prstových sensorov. Schéma experimentu a použitého vybavenia je znázornená na obrázku 4.12.

Štúdie sa celkove zúčastnilo 13 zdravých mužských probandov, viz tabuľka 4.2. Žiaden z probandov netrpel zhoršeným prekrvením tkanív. Každý z probandov podstúpil merania pri troch rozdielnych druhoch materiálu simulujúceho sneh: sneh, mokrý perlit a suchý perlit. [23]

Tabuľka 4.2: Základné údaje o probandoch štúdie [23]

Skupina	Počet	Vek (roky)	Výška (cm)	Váha (kg)	BMI (kg/m ²)
Muži	13	23±4	180±5	81±9	25,1±2,6

Údaje v tabuľke sú uvedené ako priemer ± smerodatná odchýlka.



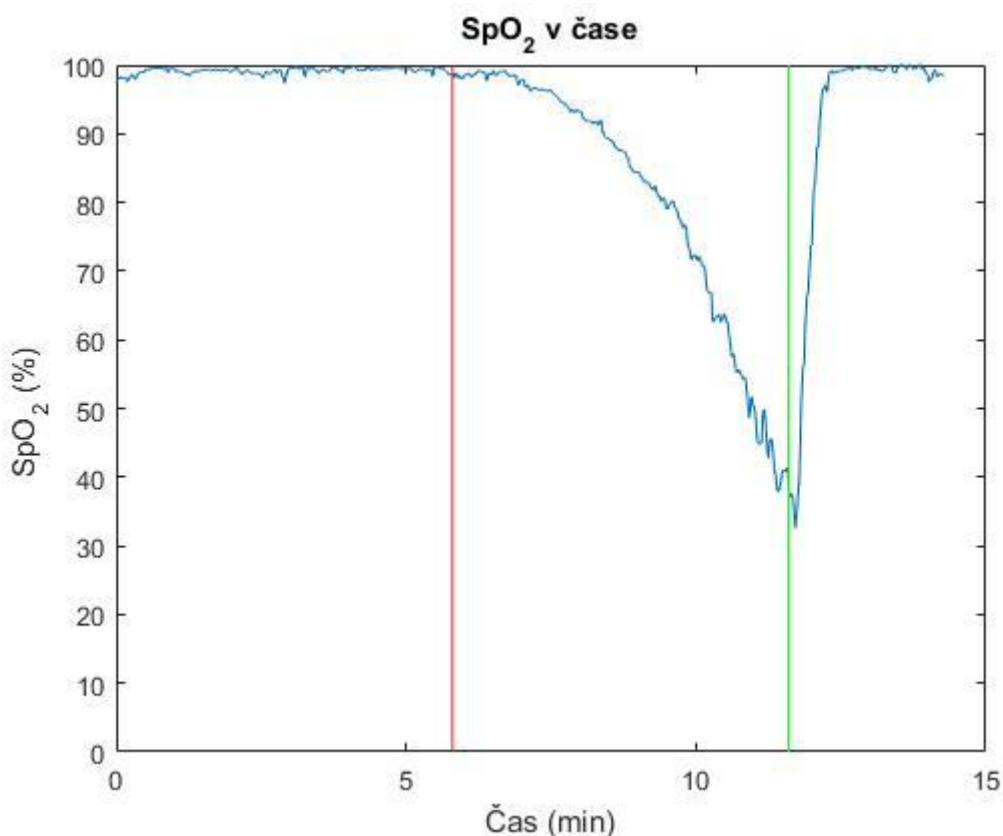
Obrázok 4.12: Schéma experimentu [23]

4.2.2 Spracovanie dát z experimentov v simulovanej lavíne

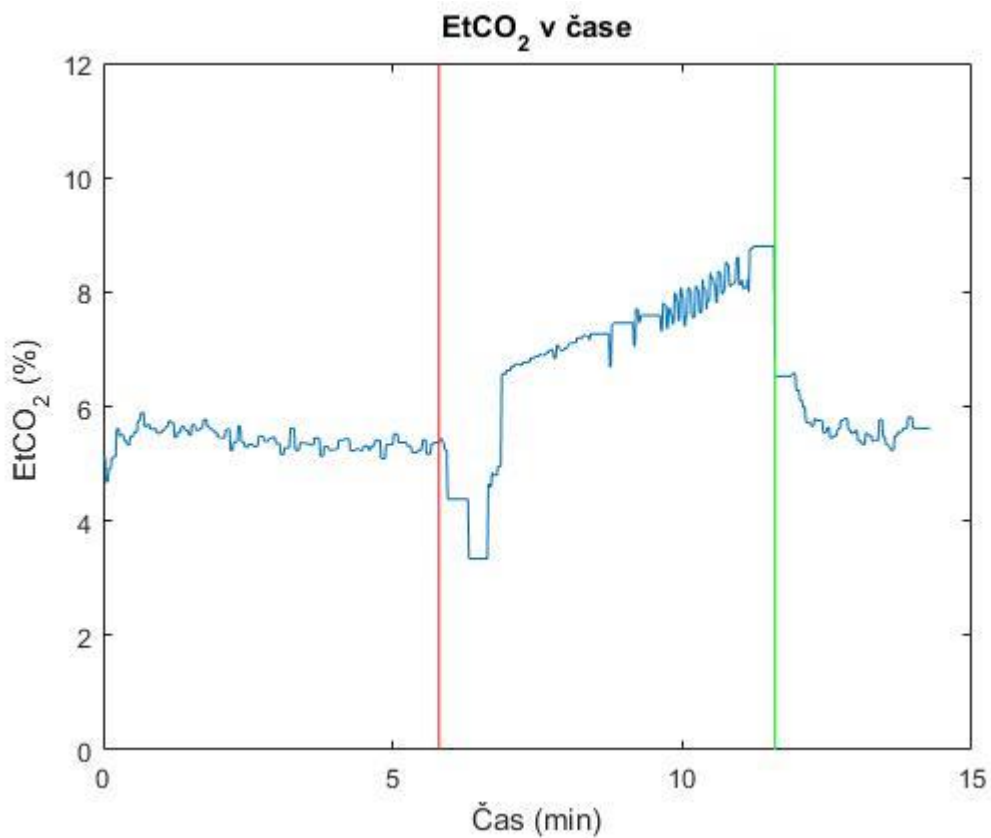
Počet použitých meraní v tejto práci je 36. Deväť meraní bolo zo spracovania vylúčených z dôvodu neúplných alebo chýbajúcich kľúčových dát. Vzhľadom na ciele diplomovej práce boli použité iba niektoré zo všetkých meraných parametrov, konkrétne saturácia krvi kyslíkom (SpO_2), perfúzny index (PI) a množstvo CO_2 na konci výdychu ($EtCO_2$). Dáta z jednotlivých meraní boli synchronizované na základe srdcovej frekvencie a hodnoty saturácie krvi kyslíkom. Synchronizácia podľa časových údajov nebola možná, pretože použité prístroje neboli vo veľkej časti prípadov synchronizované. Jednotlivé merania mali rôzne dlhé trvanie, pretože doba, počas ktorej bol proband pripojený k sústave simulujúcej lavínu, závisela na danom probandovi a jeho fyzických kapacitách. Pre každé meranie boli vyznačené časy pripojenia a odpojenia probanda od časti sústavy so simulovaným snehom. Obrázky 4.13-4.15

zobrazujú priebeh SpO_2 , $EtCO_2$ a PI v čase pre jedného probanda. Pripojenie probanda k sústave je vyznačené červenou vertikálnou čiarou a odpojenie zelenou vertikálnou čiarou.

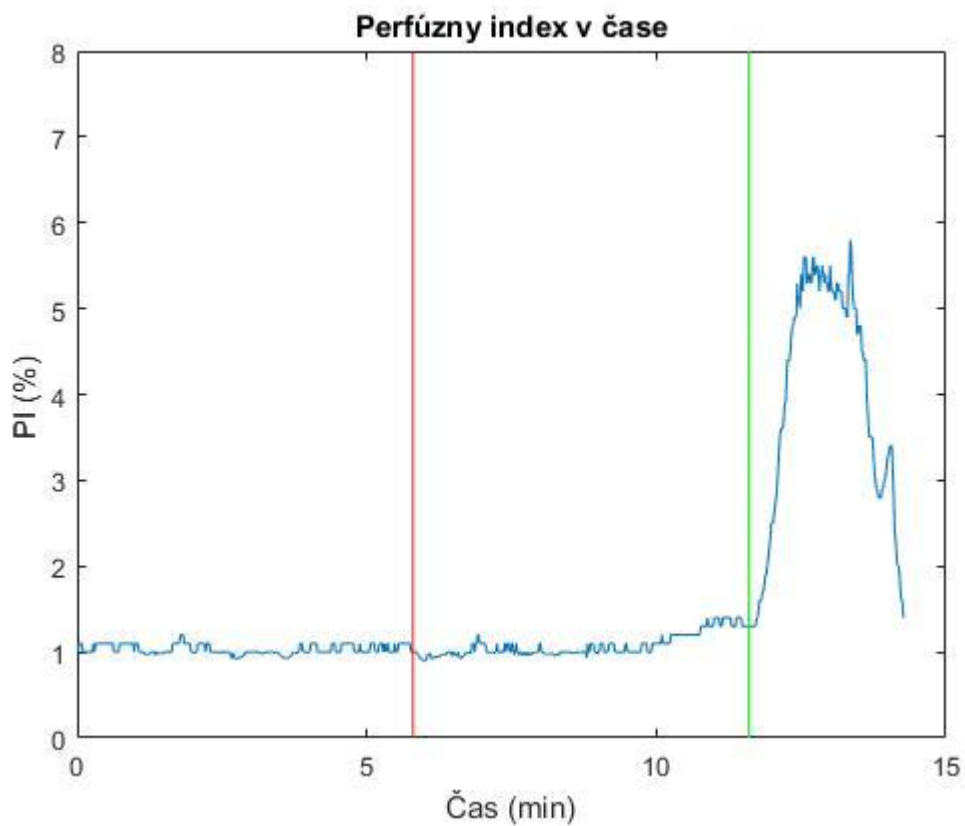
Hodnoty SpO_2 , PI a $EtCO_2$ boli pri každom meraní kontinuálne zaznamenávané. Následne boli hodnoty PI a $EtCO_2$ rozdelené do kratších úsekov, z ktorých boli zvolené dáta k štatistickému porovnaniu. Prvým zo zvolených úsekov bolo meranie pred pripojením probanda k dýchacej sústave simulujúcej lavínu, a to konkrétne posledných 10 s pred pripojením. Druhou porovnávanou situáciou bolo posledných 10 s pred odpojením probanda od lavíny simulujúceho systému. V tomto momente dosahovali hodnoty $EtCO_2$ svojho maxima. Tretím porovnávaným úsekom bolo prvých 10 s merania po odpojení probanda. Poslednou situáciou využitou pri vyhodnocovaní dát bol okamih 10 s, počas ktorých dosiahli hodnoty PI maximum. Tieto úseky následne slúžili k výpočtu mediánov a medzikvartilových rozpätí, ktoré boli ďalej štatisticky vyhodnocované.



Obrázok 4.13: Graf vývoja SpO_2 v čase s vyznačeným pripojením (červená čiara) a odpojením probanda (zelená čiara) od dýchacej sústavy

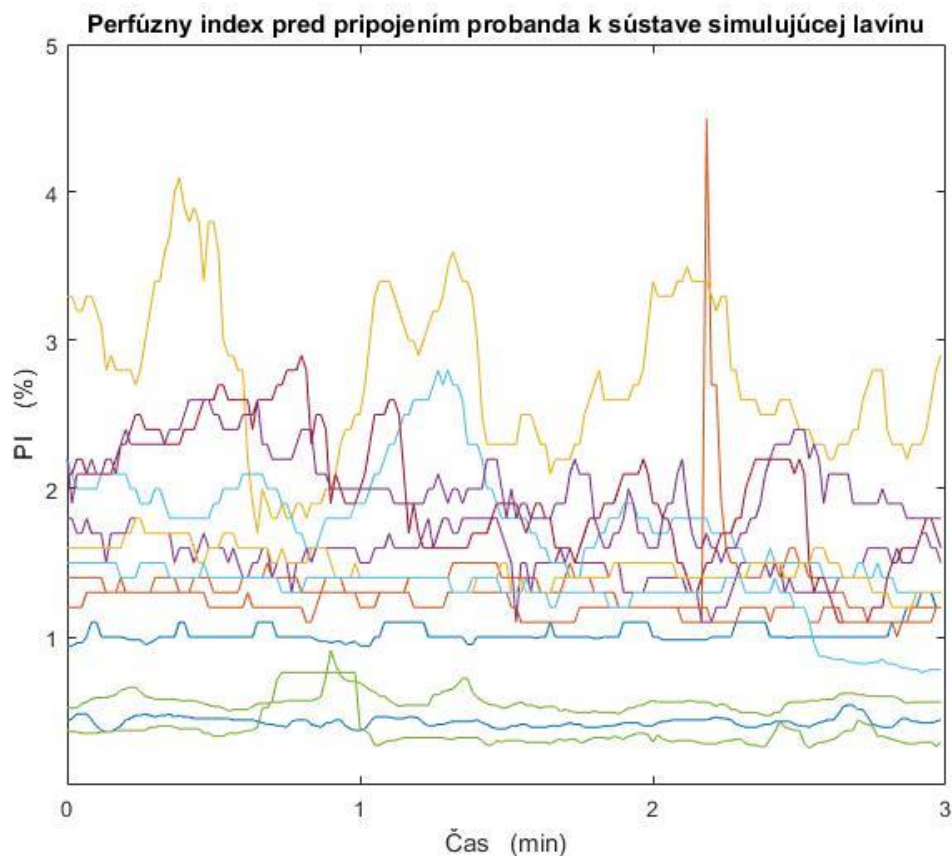


Obrázok 4.14: Graf vývoja EtCO₂ v čase s vyznačeným pripojením (červená čiara) a odpojením probanda (zelená čiara) od dýchacej sústavy



Obrázok 4.15: Graf vývoja PI v čase s vyznačeným pripojením (červená čiara) a odpojením probanda (zelená čiara) od dýchacej sústavy

Na obrázku 4.16 sú zobrazené záznamy perfúzneho indexu pre 13 náhodne vybraných meraní. Grafy zobrazujú vývoj PI počas 3 minút pred okamihom pripojenia probanda k dýchacej sústave simulujúcej podmienky pri zasypaní lavínou.



Obrázok 4.16: Záznam PI pre 13 náhodne vybraných meraní počas 3 minút pred pripojením probanda k sústave simulujúcej lavínu

Experimentálne dáta nepochádzali z normálneho rozdelenia, a preto boli pri ich vyhodnocovaní použité neparametrické testy. Hladina významnosti bola pre všetky testované hypotézy rovná 0,05. Pri testovaní hypotéz boli použité jednostranné a obojstranné Wilcoxonove testy pre dva výbery.

5 Výsledky

V nasledujúcich podkapitolách sú zhrnuté výsledky práce. V prvej časti sú uvedené výsledky experimentu vplyvu teploty ruky na vývoj perfúzneho indexu. V druhej časti sa nachádzajú výsledky zisťovaného vzťahu EtCO₂ a perfúzneho indexu počas dýchania v simulovanej lavíne.

5.1 Výsledky experimentu vplyvu teploty ruky na PI

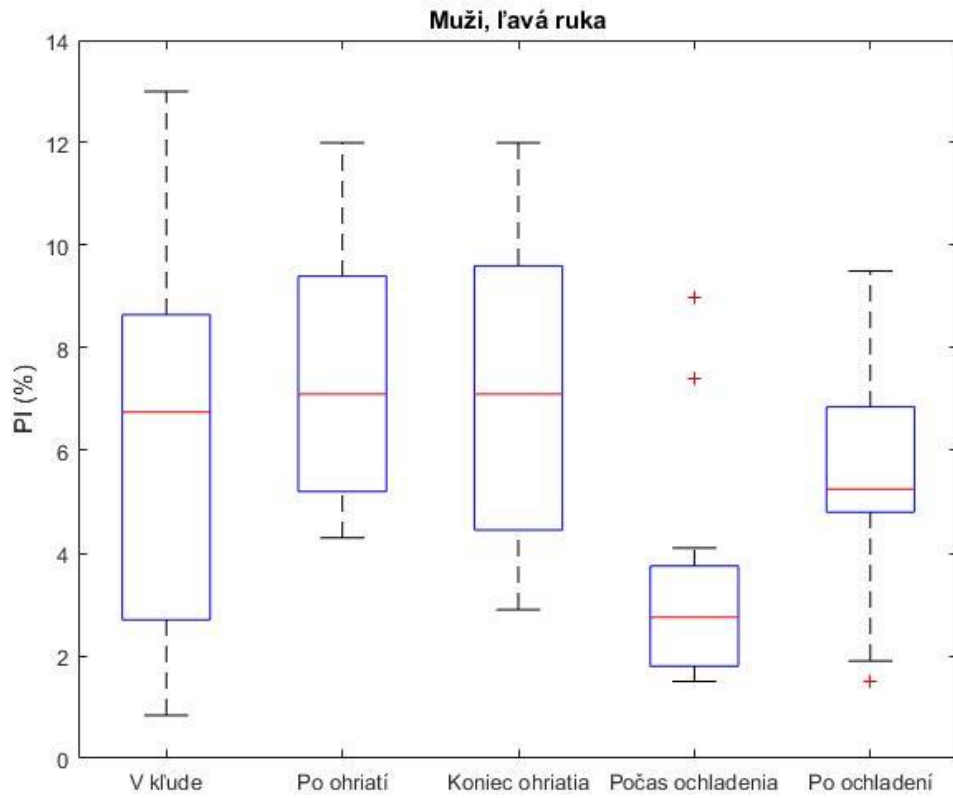
V tejto časti práce sú uvedené výsledky experimentu vplyvu teploty ruky na parameter perfúzny index. V tabuľke 5.1 sú uvedené mediány hodnôt perfúzneho indexu pre skupinu mužov a žien pre pravú a ľavú ruku pre všetky štyri merané situácie: hodnoty PI v kľude, po ohriatí ľavej ruky, počas ochladenia ľavej ruky ľadom a po ochladení.

Tabuľka 5.1: Mediány hodnôt PI pre jednotlivé merania

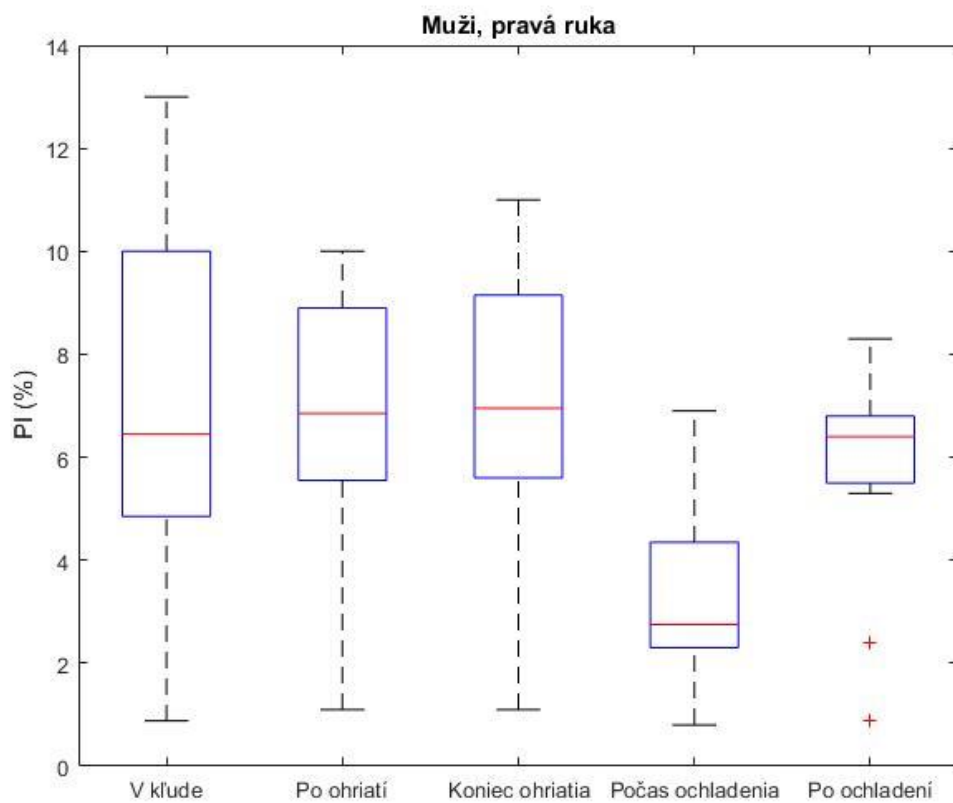
Skupina		PI v kľude (%)	PI po ohriatí (%)	PI počas ochladzovania (%)	PI po ochladení (%)
Muži	Ľavá ruka	6,8 (6,0)	7,1 (4,2)	2,8 (2,0)	5,3 (2,1)
	Pravá ruka	6,5 (5,2)	6,9 (3,4)	2,8 (2,1)	6,4 (1,3)
Ženy	Ľavá ruka	4,7 (4,1)	4,9 (1,6)	2,4 (1,6)	3,3 (1,3)
	Pravá ruka	4,5 (4,7)	3,5 (3,0)	1,9 (2,4)	3,0 (2,3)

Údaje v tabuľke sú uvedené ako medián, v zátvorke je uvedené medzikvartilové rozpätie (rozdiel medzi 75. a 25. percentilom)

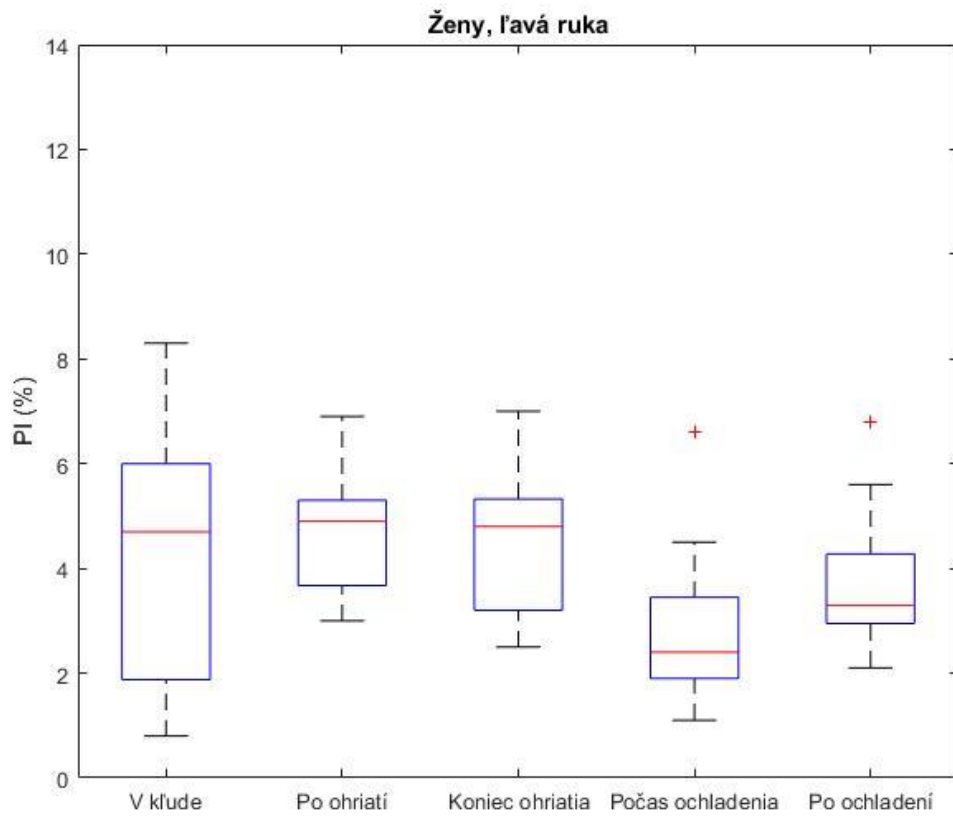
Zistené hodnoty z tabuľky 5.1 sú vynesené pomocou krabicových grafov do obrázkov 5.1-5.4. Krabicové grafy porovnávajú jednotlivé merania vrámci skupiny mužov a žien a to pre ľavú (podliehala zmenám teploty) i pravú ruku.



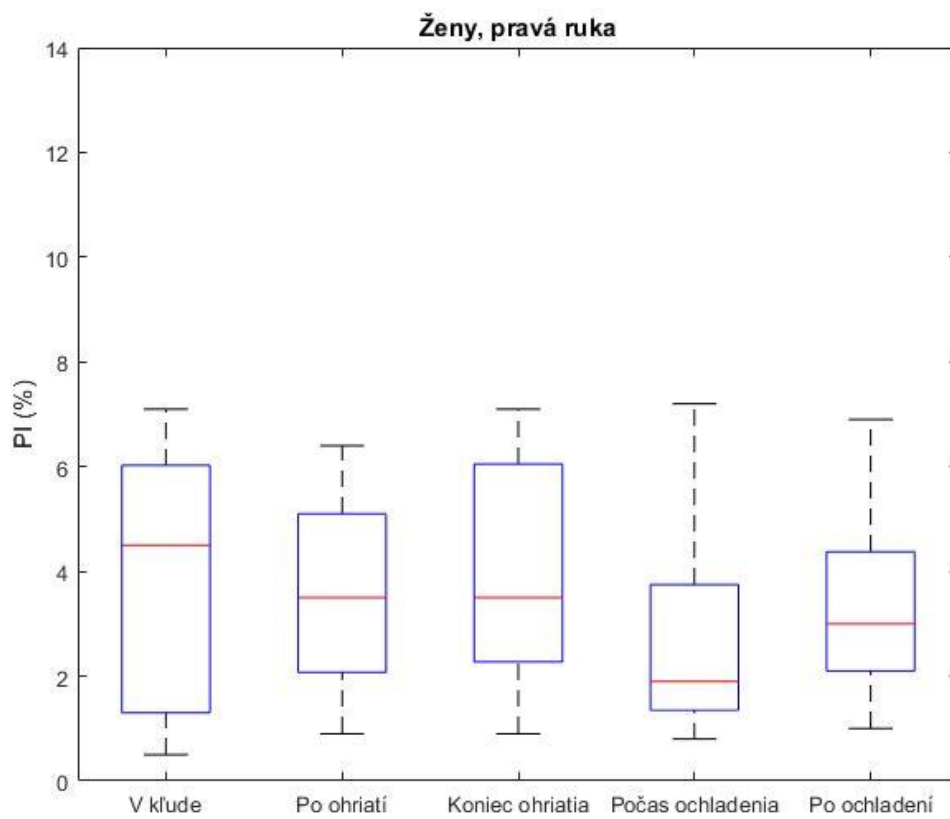
Obrázok 5.1: Krabicové grafy všetkých porovnávaných situácií pre skupinu mužov, ľavá ruka



Obrázok 5.2: Krabicové grafy všetkých porovnávaných situácií pre skupinu mužov, pravá ruka



Obrázok 5.3: Krabicové grafy všetkých porovnávaných situácií pre skupinu žien, ľavá ruka



Obrázok 5.4: Krabicové grafy všetkých porovnávaných situácií pre skupinu žien, pravá ruka

Z krabicových grafov a tabuľky 5.1 vyplýva, že u mužov sa vyskytujú väčšie rozdiely PI medzi jednotlivými probandmi. U žien sú rozpätia medzi maximálnou a minimálnou hodnotou PI viditeľne menšie. Výrazne menšie medzikvartilové rozpätia boli zistené pre obe ruky u mužov pri meraniach počas ochladenia a po ochladení ľavej ruky.

Wilcoxonovým testom pre dva nezávislé výbery boli porovnané hodnoty PI medzi mužmi a ženami. V tabuľke 5.2 sa nachádzajú výsledky daných porovnaní pre meranie v kľude, po ohriatí ľavej ruky, počas ochladenia ľavej ruky a po ochladení. Z výsledkov vyplýva, že štatisticky významný rozdiel bol zistený medzi hodnotami PI mužov a žien po ohriatí ľavej ruky a to pre obe ruky. Rovnaký výsledok bol pozorovaný pri porovnaní perfúzneho indexu po ochladení ľavej ruky. Medzi mužmi a ženami nebol dokázaný štatisticky významný rozdiel v hodnotách PI počas posledných 10 sekúnd ochladzovania ľavej ruky ľadom. Hodnoty perfúzneho indexu v kľude sa medzi skupinou mužov a žien nelíšia pre ľavú ruku, pre pravú ruku bola nulová hypotéza zamietnutá a hodnoty PI sa líšia.

Tabuľka 5.2: Porovnanie PI medzi mužmi a ženami pre jednotlivé merania

Skupina	V kľude	Po ohriatí	Počas ochladenia	Po ochladení
Ľavá ruka	$> \alpha$	0,0059*	$> \alpha$	0,0362*
Pravá ruka	0,0316*	0,0033*	$> \alpha$	0,0060*

V tabuľke je uvedená p hodnota, ktorá je pri testovaní hypotéz porovnávaná s hladinou významnosti $\alpha=0,05$. Porovnanie, pri ktorom je p hodnota vyššia ako α , je v tabuľke vyznačené ako $>\alpha$. V prípade nižšej hodnoty ako 0,05 je p hodnota vyjadrená číslom a štatisticky významný rozdiel je označený symbolom *.

Tabuľka 5.3 zobrazuje výsledky štatistického porovnania Wilcoxonovho testu pre závislé výbery. Porovnávané boli nasledujúce kombinácie meraní: hodnota PI v kľude (V kľude) s hodnotou PI po ohriatí ľavej ruky (Po ohriatí), hodnota PI na konci merania po ohriatí ľavej ruky (Na konci ohriatia) s hodnotou PI na konci ochladenia ľavej ruky ľadom (Počas ochladenia), hodnota PI na konci merania po ohriatí ľavej ruky (Na konci ohriatia) s hodnotou PI po ochladení (Po ochladení) a na záver hodnota PI počas posledných 10 s ochladenia (Počas ochladenia) s hodnotou PI po ochladení (Po ochladení). Porovnávané boli vždy mediány PI pre rovnakú ruku. Z tabuľky 5.3 vyplýva, že štatisticky významný rozdiel bol zistený medzi meraniami PI na konci ohriatia a PI počas ochladenia ľavej ruky pre mužov i ženy a to pre obe ruky. U mužov bola zamietnutá nulová hypotéza v prípade meraní PI na konci ohriatia a po ochladení a taktiež pri porovnaní meraní počas ochladenia a po ochladení. V prípade žien nulová hypotéza zamietnutá nebola. Štatisticky významný rozdiel nebol zistený ani u jednej skupiny pri porovnaní meraní v kľude a po ohriatí ľavej ruky.

Tabuľka 5.3: Vzájomné porovnanie jednotlivých meraných úsekov pre mužov a ženy

Skupina		V klúde	Na konci ohriatia	Na konci ohriatia	Počas ochladenia
		- Po ohriatí	- Počas ochladenia	- Po ochladení	- Po ochladení
Muži	Ľavá ruka	$> \alpha$	$2,4 \cdot 10^{-4} *$	0,0098*	0,0129*
	Pravá ruka	$> \alpha$	$2,4 \cdot 10^{-4} *$	0,0259*	0,0049*
Ženy	Ľavá ruka	$> \alpha$	$3,7 \cdot 10^{-4} *$	$> \alpha$	$> \alpha$
	Pravá ruka	$> \alpha$	0,0122*	$> \alpha$	$> \alpha$

V tabuľke je uvedené porovnanie p hodnoty a hladiny významnosti 0,05. Štatisticky významný rozdiel je označený symbolom *.

Následne boli porovnávané mediány hodnôt perfúzneho indexu medzi pravou a ľavou rukou, viz tabuľka 5.4. Wilcoxonovým testom pre dva závislé výbery bolo zistené, že štatisticky významný rozdiel medzi pravou a ľavou rukou nastal u žien po ohriatí ľavej ruky. U mužov nebola nulová hypotéza zamietnutá ani v jednom prípade. V tabuľke sú výsledky porovnania p hodnoty s hladinou významnosti 0,05.

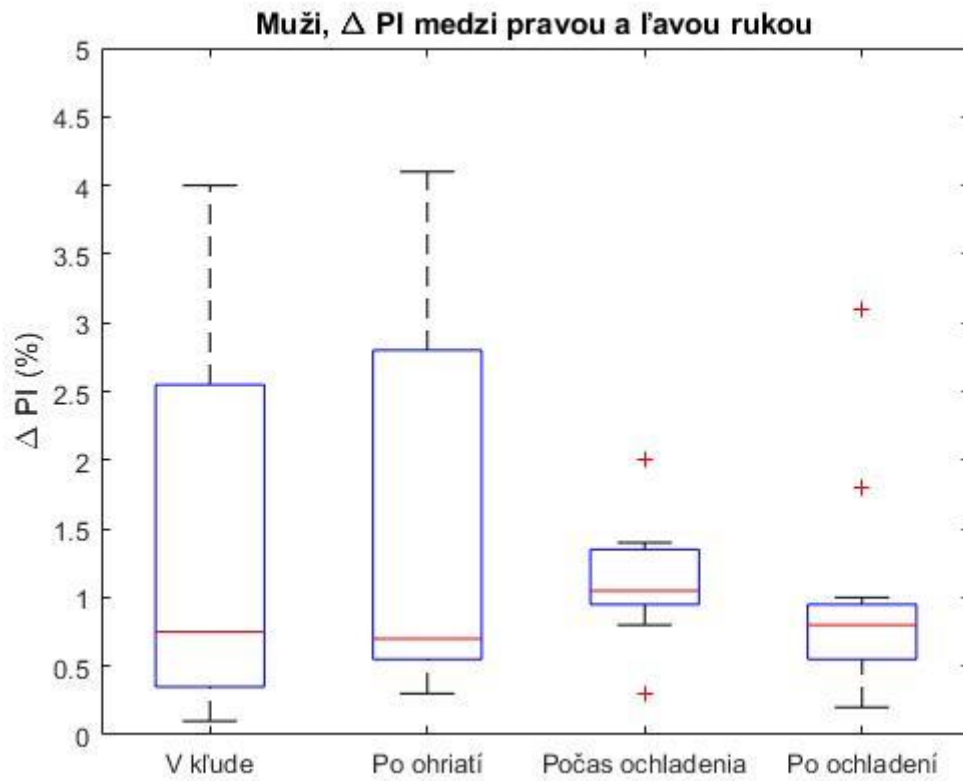
Tabuľka 5.4: Porovnanie mediánov PI medzi pravou a ľavou rukou

Skupina	V klúde	Po ohriatí	Počas ochladenia	Po ochladení
Muži	$> \alpha$	$> \alpha$	$> \alpha$	$> \alpha$
Ženy	$> \alpha$	0,0122*	$> \alpha$	$> \alpha$

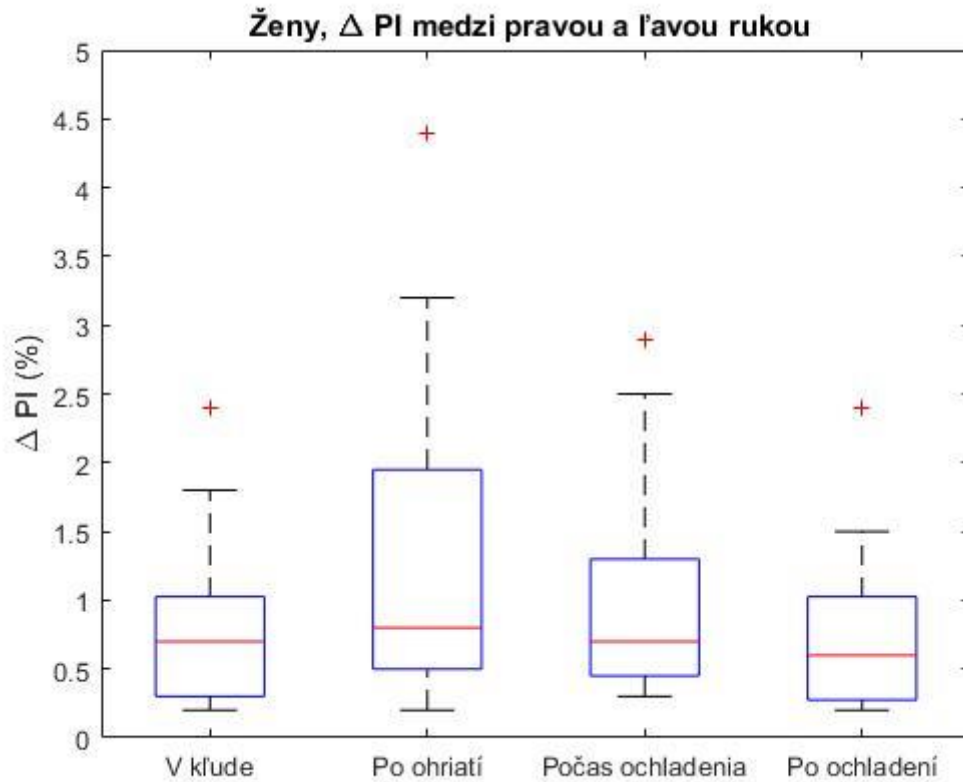
V tabuľke je uvedené porovnanie p hodnoty a hladiny významnosti 0,05. Štatisticky významný rozdiel je označený symbolom *.

Ďalším porovnávaným parametrom boli mediány rozdielov PI medzi pravou a ľavou rukou v priebehu jednotlivých meraných úsekov pri rozdielnych teplotách. Na obrázkoch 5.5 a 5.6 sú pomocou krabicových grafov znázornené Δ PI pre všetky 4 merania pre skupinu mužov a žien. Výsledky Wilcoxonových testov pre závislé výbery sú vynesené v tabuľke 5.5. Nulová hypotéza bola na hladine významnosti $\alpha=0,05$ zamietnutá iba v jednom prípade, konkrétne pre rozdiely PI medzi pravou a ľavou rukou pri porovnaní meraní počas ochladenia ľavej ruky ľadom a po ochladení. Na základe krabicových grafov na obrázkoch 5.5 a 5.6 je vidieť, že v prípade mužov boli rozdiely medzi pravou a ľavou rukou v prípade ochladenia a po ňom výrazne menej rozptýlené ako počas merania v klúde a po ohriatí ľavej ruky.

Wilcoxonových testom pre dva nezávislé výbery boli taktiež porovnané Δ PI medzi mužmi a ženami pre merania v klúde, po ohriatí ľavej ruky, počas ochladenia ľavej ruky a po ochladení. Ani v jednom prípade nebol dokázaný štatisticky významný rozdiel.



Obrázok 5.5: Krabicové grafy Δ PI medzi pravou a ľavou rukou pre skupinu mužov



Obrázok 5.6: Krabicové grafy Δ PI medzi pravou a ľavou rukou pre skupinu žien

Tabuľka 5.5: Porovnanie Δ PI medzi jednotlivými meraniami

Skupina	V klúde	V klúde	V klúde	Počas
	- Po ohriatí	- Počas ochladenia	- Po ochladení	- Po ochladení
Δ PI muži	$> \alpha$	$> \alpha$	$> \alpha$	$> \alpha$
Δ PI ženy	$> \alpha$	$> \alpha$	$> \alpha$	0,0117*

V tabuľke je uvedené porovnanie p hodnoty a hladiny významnosti 0,05. Štatisticky významný rozdiel je označený symbolom *.

Vzhľadom k rôznorodým reakciám probandov a probandiek experimentu počas merania perfúzneho indexu po ohriatí ľavej ruky bola vytvorená tabuľka 5.6 a 5.7. Tabuľka 5.6 udáva počty probandov/probandiek u ktorých nastal po ohriatí ľavej ruky nárast hodnoty PI oboch rúk (\uparrow), pokles PI oboch rúk (\downarrow), nezmenenie hodnoty PI oboch rúk ($=$) alebo nastala rozdielna reakcia (Rozdielne). Rozdielna reakcia rúk znamená nárast hodnoty PI jednej ruky a nezmenenú hodnotu PI na ruke druhej. Vzhľadom k prirodzenému kolísaniu dát musel byť nárast alebo pokles hodnoty PI aspoň o $PI=1$ %.

Z tabuľky vyplýva, že u mužov nastal nárast hodnoty PI u 11 z 12 probandov a u jedného probanda nedošlo k zmene PI. U žien nastali všetky vyššie spomenuté kombinácie v približne rovnakom pomere k celkovému počtu probandiek. Pri náraste a poklese hodnôt PI oboch rúk bol pozorovaný rozdielny čas reakcie ruky na zmenu teploty. V tabuľke sa preto nachádza aj rozdelenie počtu probandov podľa priemerného rozdielu času reakcie ľavej ruky voči pravej (Δt). Ľavá ruka, ktorá podliehala zmene teploty, zareagovala vo všetkých prípadoch, kde bol zistený rozdielny čas, rýchlejšie. Priemerný nárast PI u mužov bol na ľavej ruke o $PI=4,2$ %, na pravej ruke o $PI=3,6$ %. U žien boli priemerné hodnoty nárastu PI na ľavej ruke rovné $2,5$ % a na pravej ruke o $PI=2,4$ %.

Tabuľka 5.6: Vývoj PI počas 4 minút po ohriatí ľavej ruky

Skupina	\uparrow PI			\downarrow PI	$=$ PI	Rozdielne
	Δt			Δt		
	0 s	30 s	2 min	0 s		
Muži	2	5	4	-	1	-
Ženy	2	3	1	2	2	3

Tabuľka obsahuje celkové počty probandov a probandiek pre jednotlivé vzorce správania sa PI počas 4 minút záznamu po ohriatí ľavej ruky. Ďalej tabuľka obsahuje rozdelenie počtov probandov na základe časového oneskorenia reakcie medzi ľavou a pravou rukou.

V tabuľke 5.7 sa nachádzajú celkové počty prípadov, u ktorých nastal nárast PI, pokles PI alebo nedošlo k zmene hodnoty PI pri porovnaní priemerov posledných 10 s merania v kľude a prvých 10 s po ohriatí ľavej ruky. Rovnako ako v predchádzajúcej tabuľke, aj v tomto prípade musela nastať zmena PI aspoň o PI=1 %. V druhej polovici tabuľky sa nachádzajú počty prípadov pri ktorých došlo k rovnakej reakcii oboch rúk, k opačným reakciám alebo k rozdielnym reakciám (nárast/pokles hodnoty PI jednej ruky a nezmenená hodnota PI druhej ruky).

Z tabuľky vyplýva, že u mužov nastal nárast hodnoty PI ľavej ruky u 7 z 12 probandov, na pravej ruke došlo u rovnakého počtu probandov k poklesu hodnoty PI. Pri porovnaní počtu probandov, u ktorých nastala rovnaká, opačná alebo rozdielna reakcia, neboli na základe tabuľky zistené výrazné rozdiely. V prípade žien nastali u ľavej ruky všetky tri typy reakcií v približne rovnakom pomere, u pravej ruky prevládala nezmenená hodnota PI pred a po ohriatí ľavej ruky. Pri porovnaní reakcií pravej a ľavej ruky bolo u žien zistené, že v 6 prípadoch z 13 nastala rovnaká reakcia rúk, u rovnakého počtu žien došlo k rozdielnej reakcii rúk a len v jednom prípade boli hodnoty PI rúk rozdielne.

Tabuľka 5.7: Počty probandov pre jednotlivé druhy reakcií pri porovnaní okamžitých hodnôt pred a po ohriatí ľavej ruky

Skupina		↑	↓	=	Rovnaká reakcia	Opačná reakcia	Rozdielna reakcia
Muži	Ľavá ruka	7	4	1	4	3	5
	Pravá ruka	1	7	4			
Ženy	Ľavá ruka	4	5	4	6	1	6
	Pravá ruka	1	2	10			

Tabuľka obsahuje celkové počty probandov a probandiek pre jednotlivé vzorce správania sa PI pri porovnaní hodnôt PI na konci merania v kľude a tesne po započatí merania po ohreve ľavej ruky. Ďalej tabuľka obsahuje rozdelenie počtov probandov a probandiek na základe podobnosti reakcie ľavej a pravej ruky.

5.2 EtCO₂ a PI

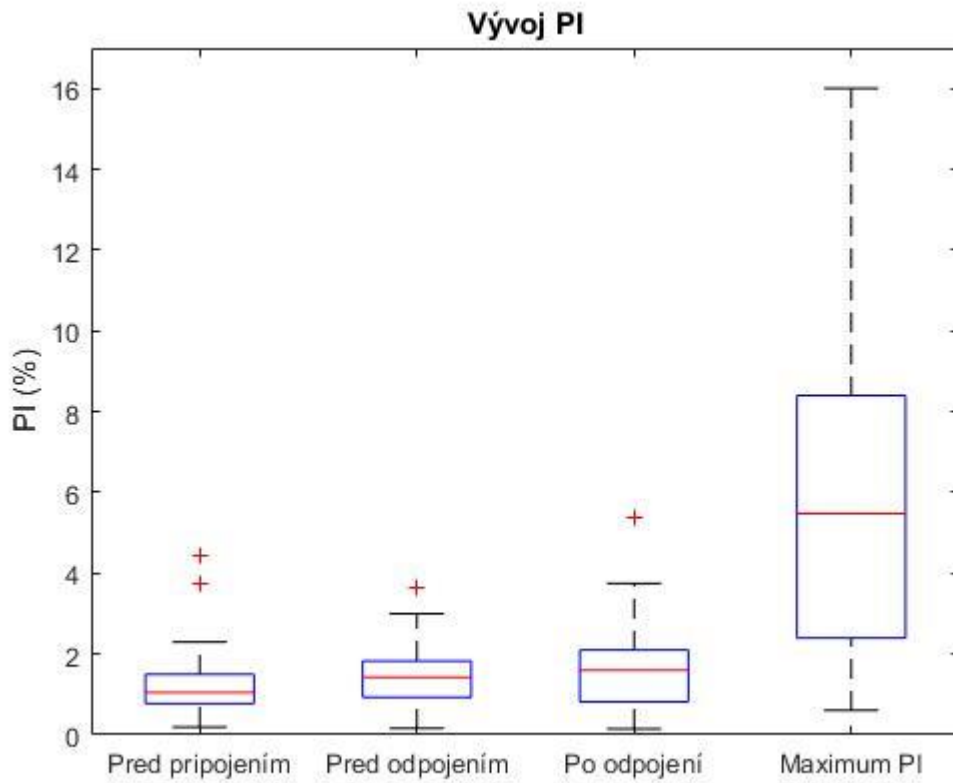
V tejto časti práce sú uvedené výsledky vplyvu hyperkapnie na parameter perfúzny index.

V tabuľke 5.8 sa nachádzajú mediány a medzikvartilové rozpätia perfúzneho indexu a EtCO₂ počas jednotlivých meraných úsekov: v okamihu pred pripojením probanda k dýchacej sústave simulujúcej lavínu (Pred pripojením), v momente tesne pred odpojením probanda od daného systému, pričom v tomto okamihu dosahovalo EtCO₂ svoje maximum (Pred odpojením), tesne po odpojení probanda od dýchacieho systému (Po odpojení) a v momente dosiahnutia maximálneho PI (Maximum PI). Po odpojení probanda od systému simulujúceho lavínové podmienky nebolo nutné vyhodnocovať trend EtCO₂, pretože pri každom meraní nastal po opätovnom nádychu probanda prudký pokles hodnoty EtCO₂. Táto reakcia je fyziologická, a preto nebola ďalej vyhodnocovaná a porovnávaná. Obrázky 5.7 a 5.8 zobrazujú krabicové grafy pre parameter PI a EtCO₂ v jednotlivých situáciách experimentu.

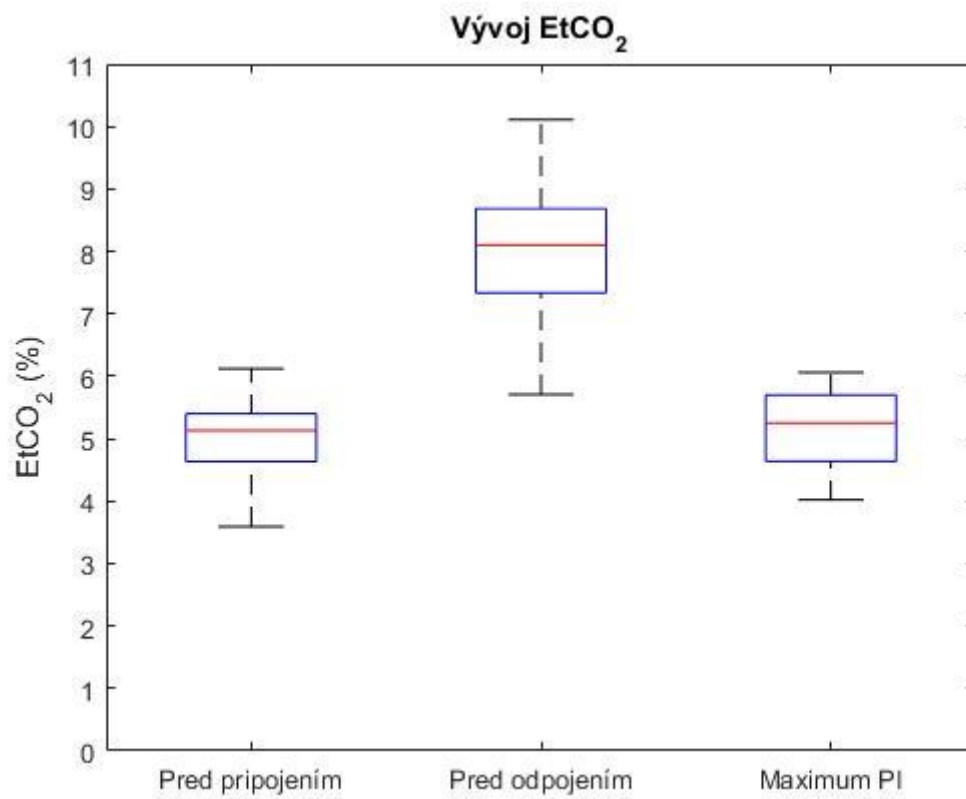
Tabuľka 5.8: Mediány a medzikvartilové rozpätia PI a EtCO₂ v jednotlivých fázach experimentu

Parameter	Pred pripojením	Pred odpojením	Po odpojení	Maximum PI
PI (%)	1,1 (0,7)	1,4 (0,9)	1,6 (0,3)	5,5 (6,0)
EtCO ₂ (%)	5,1 (0,8)	8,1 (1,4)	-	5,3 (1,1)

Údaje v tabuľke sú uvedené ako medián, v zátvorke je uvedené medzikvartilové rozpätie (rozdiel medzi 75. a 25. percentilom)



Obrázok 5.7: Krabicové grafy vývoja PI počas všetkých 4 úsekov merania



Obrázok 5.8: Krabicové grafy vývoja EtCO₂ počas 3 úsekov merania

Tabuľka 5.9 zobrazuje porovnanie p hodnoty s hladinou významnosti 0,05 pre jednotlivé situácie experimentu. Wilcoxonovým testom pre dva výbery bol zistený štatisticky významný rozdiel medzi hodnotami perfúzneho indexu pred pripojením probanda k dýchacej sústave simulujúcej lavínu a tesne pred odpojením probanda. Nulová hypotéza bola zamietnutá i v prípade porovnania hodnôt PI pred odpojením a tesne po odpojení. p hodnota bola v tomto prípade veľmi blízka s hladinou významnosti 0,05. Výrazný štatisticky významný rozdiel bol zistený pomocou Wilcoxonovho jednostranného testu pri porovnaní hodnôt PI po odpojení a pri dosiahnutí maximálnych hodnôt PI.

Wilcoxonovým jednostranným testom pre dva výbery bol potvrdený štatisticky významný rozdiel medzi hodnotami EtCO₂ pred pripojením a pred odpojením a taktiež pred odpojením a v maxime PI. Obojstranným Wilcoxonovým testom bolo zistené, že v momente dosiahnutia maxima PI boli hodnoty EtCO₂ rovnaké ako pred začiatkom experimentu.

Tabuľka 5.9: Porovnanie PI a EtCO₂ medzi jednotlivými úsekmi experimentu

Parameter	Pred pripojením	Pred odpojením	Po odpojení - Maximum PI	Pred odpojením - Maximum PI	Pred pripojením - Maximum PI
PI	0,0067*	0,0485*	$8,8 \cdot 10^{-8} *$	-	-
EtCO ₂	$8,8 \cdot 10^{-8} *$	-	-	$8,8 \cdot 10^{-8} *$	$> \alpha$

V tabuľke je uvedené porovnanie p hodnoty a hladiny významnosti 0,05. Štatisticky významný rozdiel je označený symbolom *.

6 Diskusia

Hlavným výsledkom experimentálnej štúdie vplyvu teploty ruky na parameter perfúzny index je zistenie, že pri ochladení ruky nastane pokles hodnoty perfúzneho indexu. Po ohriatí ruky nebolo možné jednoznačne určiť trend správania perfúzneho indexu.

Pri vyhodnotení dát z dýchacích experimentov v simulovanej lavíne bolo zistené, že pri hyperkapnii dochádza k miernemu nárastu hodnoty perfúzneho indexu. Ďalším výsledkom bolo zistenie, že po odznení vysokých hodnôt EtCO₂ nastal významný nárast hodnoty perfúzneho indexu. Hlavným zistením teda je, že hyperkapnia má vplyv na perfúzny index a dochádza k jeho nárastu.

6.1 Vplyv teploty na PI

V tejto práci bol experimentálnou štúdiou zisťovaný vplyv teploty miesta merania na parameter perfúzny index. Experiment pozostával z kontinuálneho merania hodnoty PI v kľude, po ohriatí ruky vodným kúpeľom na 40 °C, počas priloženia vrečka s ľadom na ruku a po odstránení vrečka s ľadom. Zmene teploty podliehala iba ľavá ruka probandov, ale meraná bola zároveň s ľavou i pravá ruka.

6.1.1 PI v kľude

Pri porovnaní hodnôt perfúzneho indexu v kľude pred zahájením teplotných zmien bolo zistené, že muži majú vyšší perfúzny index ako ženy. Táto hypotéza bola dokázaná štatistickým testom iba pri porovnaní pravých rúk (Tabuľka 5.2), napriek tomu je na základe mediánov PI a krabicových grafov vidieť výrazný rozdiel i medzi hodnotami ľavých rúk (Obrázok 5.1 a 5.3). Vyššie hodnoty PI u mužov môžu byť spôsobené lepším prekrvením končatín. U žien je vo všeobecnosti častejší pocit „studených rúk“ a chladu v oblasti končatín.

U oboch pohlaví bolo v rámci meraní v kľude pozorované kolísanie dát. Tento jav nebolo možné vysvetliť, probandi sa nachádzali pohodlne usadení bez akejkoľvek fyzickej aktivity. U oboch pohlaví bola pozorovaná vyššia hodnota PI ľavej ruky, ale štatistickým testom dokázaná nebola. Z výsledkov štúdie taktiež vyplýva, že u mužov dochádza k väčším rozdielom PI medzi jednotlivými probandmi ako u žien (Tabuľka 5.1, obrázok 5.1-5.4). Väčšie rozptýlenie hodnôt PI je pravdepodobne dané prirodzene vyššími hodnotami perfúzneho indexu u mužov.

Posledným porovnaním medzi pohlaviami bol rozdiel hodnôt PI medzi pravou a ľavou rukou. Aj v tomto prípade bol pozorovaný výskyt väčších rozdielov PI medzi

rukami v skupine mužov (Obrázok 5.5 a 5.6). Dôvodom sú pravdepodobne prirodzene vyššie hodnoty PI u mužov, a tým pádom možnosť vzniku väčších rozdielov medzi ľavou a pravou rukou. Vyššia hodnota jednej ruky a s tým spojený väčší rozdiel medzi oboma rukami môže byť taktiež spôsobený dominanciou jednej z rúk, ktorá však v tejto štúdií skúmaná nebola.

6.1.2 Vplyv tepla na PI

Prvou zmenou teploty ruky bolo ohriatie ruky vo vodnom kúpeli s teplotou 40°C. Prstový senzor prístroja Masimo Radical 97 nebol vodotesný, a preto nebolo možné zaznamenávať PI aj počas ohrievania ruky. Po osušení ruky už pokračovalo kontinuálne meranie PI.

Rovnako ako v prípade merania v kľude, aj po ohriatí boli u mužov zistené vyššie hodnoty perfúzneho indexu ako u žien. U oboch rúk bol štatistickým testovaním zistený významný rozdiel PI medzi mužmi a ženami (Tabuľka 5.2).

Porovnaním mediánov hodnôt PI medzi pravou a ľavou rukou po ohriatí bol zistený štatisticky významný rozdiel len u žien, u mužov sa táto hypotéza nepotvrdila (Tabuľka 5.4). Pri porovnaní rozdielov PI medzi pravou a ľavou rukou nebol dokázaný štatisticky významný rozdiel ani u mužov a ani u žien (Tabuľka 5.5). Napriek tomu je z krabicových grafov vidieť zväčšenie medzikvartilového rozpätia po ohriatí u žien, čo potvrdzuje hypotézu, že ohriatím končatiny došlo u žien k zväčšeniu rozdielov PI medzi pravou a ľavou rukou (Obrázok 5.6).

Štatistickým testovaním nebol dokázaný rozdiel medzi hodnotami PI v kľude a hodnotami PI po ohriatí ľavej ruky a to pre žiadnu z porovnávaných skupín (Tabuľka 5.3). Pri bližšom skúmaní reakcií jednotlivých probandov na teplo bolo zistené, že dochádza k veľmi rozdielnym vývojom parametru perfúzny index. Vývoj PI počas 4 minút po ohriatí ľavej ruky ukázal, že u mužov nastal nárast hodnoty PI. Maximum PI bolo dosiahnuté v rozdielnych časoch od ohriatia ľavej ruky. Iba u jedného probanda nenastala zmena PI (Tabuľka 5.6). Pri pozorovaní vývoja PI počas 4 minút po ohriatí ľavej ruky u žien bolo zistené, že v skupine žien nastali v približne rovnakých počtoch všetky typy možných reakcií: nárast PI, pokles PI, nezmenie hodnoty PI alebo rozdielna reakcia pravej a ľavej ruky (Tabuľka 5.6). Z daných porovnaní vyplýva, že u mužov nastáva po ohriatí končatiny vo väčšine prípadov nárast PI, zatiaľ čo u žien je typ reakcie na teplo málo predvídateľný.

Následne boli porovnané okamžité hodnoty perfúzneho indexu pred ohriatím a tesne po opätovnom pripojení senzoru na prst probanda. Toto porovnanie slúžilo k vyhodnoteniu okamžitej zmeny PI tesne po ohriatí ľavej ruky. U mužov bol najčastejšou reakciou ľavej ruky na teplo nárast hodnoty PI, na pravej ruke zase pokles PI. U žien nastali po ohriatí ľavej ruky všetky typy reakcií: nárast, pokles i nezmenenie

hodnoty PI. Vo väčšine prípadov meraní pravej ruky žien nenastala zmena hodnoty PI pred a po ohriatí (Tabuľka 5.7). Pri porovnávaní perfúzneho indexu tesne pred ohriatím a po ňom boli pozorované aj celkové počty podobných reakcií oboch rúk. V skupine mužov nastali v približne rovnomernom počte rovnaké, opačné i rozdielne (nárast/pokles jednej, nezmenenie hodnoty druhej ruky) reakcie pravej a ľavej ruky. U žien prevládala rovnaká alebo rozdielna reakcia rúk (Tabuľka 5.7). Vzhľadom na rôznorodé reakcie probandov nebolo možné jednoznačne určiť, aký bol vplyv tepla na perfúzny index.

6.1.3 Vplyv chladu na PI

Druhou teplotnou zmenou bolo priloženie vrečka s ľadom na ľavú ruku probanda po dobu jednej minúty. K porovnaniu PI medzi jednotlivými skupinami boli použité hodnoty PI tesne pred odstránením ľadu z ruky. Ako pôvodná hodnota pred ochladením nemohli byť použité merania počas prvých dvoch minút v kľude, pretože následne nastalo ohriatie ruky. V čase prebiehajúceho experimentu nebolo zrejmé, aký vplyv môže mať teplo na parameter PI. Z tohoto dôvodu boli dáta z úsekov počas ochladzovania ruky a po odstránení ľadu, porovnávané s hodnotami PI z okamžiku tesne pred priložením ľadu, tzn. na konci časového úseku po ohriatí ruky.

Porovnaním hodnôt perfúzneho indexu počas ochladenia nebol medzi mužmi a ženami zistený štatisticky významný rozdiel. Z tohoto faktu vyplýva, že u mužov i žien nastal pokles PI na približne rovnakú hodnotu napriek tomu, že predchádzajúce hodnoty boli pre obe pohlavia výrazne rozdielne.

Štatistickým porovnaním PI na konci ohriatia a počas ochladenia bolo zistené, že nízka teplota spôsobuje pokles hodnoty perfúzneho indexu. Nulová hypotéza bola zamietnutá pre obe pohlavia i porovnávané ruky (Tabuľka 5.3).

Porovnaním mediánov PI medzi pravou a ľavou rukou nebol dokázaný štatisticky významný rozdiel ani u jedného pohlavia (Tabuľka 5.4). Takisto nebol zistený štatisticky významný rozdiel pri porovnaní Δ PI medzi rukami pri porovnaní situácie v kľude a počas ochladenia (Tabuľka 5.5). Napriek tomu je z krabicových grafov zrejmé, že počas ochladenia ruky došlo u mužov k rapídnemu zmenšeniu medzikvartilového rozpätia (Obrázok 5.5). Z toho vyplýva, že ochladením ruky nastal u väčšiny probandov rovnaký rozdiel PI medzi rukami. Pri porovnaní situácie počas ochladenia a oboch predchádzajúcich nenastal u žien významný rozdiel PI medzi ľavou a pravou rukou (Obrázok 5.6).

Po odstránení vrečka s ľadom nastala tretia skúmaná situácia: meranie PI po ochladení ľavej ruky ľadom. Na základe experimentálnych dát bolo zistené, že medzi hodnotami PI mužov a žien je štatisticky významný rozdiel. U žien bola hodnota perfúzneho indexu po ochladení nižšia ako u mužov, a to pre obe pozorované ruky

(Tabuľka 5.1 a 5.2). Tento rozdiel bol pravdepodobne spôsobený tým, že muži majú prirodzene vyššiu hodnotu perfúzneho indexu.

Z porovnania PI na konci ohriatia a po ochladení vyplýva, že u mužov sa hodnoty PI štatisticky líšia, u žien nulová hypotéza zamietnutá nebola. V prípade ľavej ruky mužov nastal výrazný pokles hodnoty PI medzi týmito meraniami, na pravej ruke bol pokles menší. Rovnako došlo k zmenšeniu medzikvartilového rozpätia pre obe ruky, z čoho je možné usúdiť, že ochladením ruky nastalo zmenšenie rozdielov vrámci skupiny meraných probandov (Obrázok 5.1 a 5.2). V prípade žien nebol zistený štatisticky významný rozdiel medzi hodnotami PI na konci ohriatia a po ochladení (Tabuľka 5.3), z čoho vyplýva, že u žien nastal návrat hodnôt PI na pôvodnú hodnotu pred teplotnou zmenou. V skupine žien taktiež nastal menší pokles PI oproti pôvodnej hodnote, čo mohlo mať taktiež vplyv na rýchlosť návratu. U mužov by bolo pravdepodobne nutné predĺžiť meranie PI po ohriatí, aby sa stihli hodnoty perfúzneho indexu vrátiť na pôvodné. V prípade žien neboli pozorované výrazné zmeny v šírke medzikvartilových rozpätí voči meraniu na konci ohriatia (Obrázok 5.3 a 5.4).

Z výsledkov vyplýva, že po ochladení nenastal významný rozdiel medzi hodnotami PI pravej a ľavej ruky ani u jedného pohlavia. Z tohto faktu je možné usúdiť, že obe ruky reagovali na zmenu teploty rovnako (Tabuľka 5.4). Rovnaký výsledok bol zistený porovnaním Δ PI medzi pravou a ľavou rukou z časových úsekov v kľude a po ochladení (Tabuľka 5.5). Napriek tomu je z krabicových grafov zrejmé, že rozdiely PI sa vrámci skupiny mužov priblížili k spoločnej hodnote a boli menej rozptýlené ako na začiatku experimentu (Obrázok 5.5).

Poslednou sledovanou situáciou bolo porovnanie meraní počas ochladenia a po ochladení. U mužov bol zistený štatisticky významný rozdiel pre pravú i ľavú ruku (Tabuľka 5.3). I z krabicových grafov jasne vyplynulo, že po odstránení vrečka s ľadom došlo k nárastu hodnoty PI (Obrázok 5.1 a 5.2). U žien podobný nárast PI na hladine významnosti 5 % potvrdený nebol, napriek tomu je viditeľný z krabicových grafov (Obrázok 5.3 a 5.4). U oboch pohlaví je teda možné tvrdiť, že ochladzovaním jednej z rúk nastane pokles hodnoty PI a po skončení ochladenia nastane nárast PI takmer na pôvodnú hodnotu pred teplotnou zmenou. Toto tvrdenie platí ako pre ruku podliehajúcu zmene teploty, tak i pre ruku druhú. Z toho vyplýva, že aj keď je na jednu stranu vazoaktivita ciev lokálnou záležitosťou danej končatiny, tieto teplotné a vazoaktívne zmeny ovplyvňujú cez centrálny neuro-humorálny systém aj končatinu druhú. Pri porovnaní rozdielu PI medzi pravou a ľavou rukou bolo zistené, že v čase po odstránení ľadu dochádza k miernemu poklesu tohto rozdielu (Obrázok 5.5 a 5.6). Hodnoty PI pravej a ľavej ruky sa teda po ochladení k sebe mierne priblížili. Štatistickým testom bola táto hypotéza potvrdená iba v prípade skupiny žien (Tabuľka 5.5).

6.1.4 Zhrnutie výsledkov experimentu

Zo štúdie vyplýva, že v bežných podmienkach a i pri zmene teploty dochádza k rozdielnym priemerným hodnotám PI medzi mužmi a ženami. Vyššie hodnoty PI boli zistené u mužov. Z výsledkov štúdie nebolo možné jednoznačne určiť, aký je konkrétny vplyv tepla na perfúzny index a bolo by potrebné sa tejto problematike bližšie venovať v ďalších experimentoch. Pri ochladení končatiny dochádza u oboch pohlaví k výraznému poklesu hodnoty PI. Po skončení ochladzovania dochádza k nárastu hodnôt PI. V tomto prípade by bolo potrebné predĺžiť čas merania PI po ochladení, aby bolo možné určiť, či sa hodnoty PI vrátia na svoje pôvodné.

Štúdia priniesla nové poznatky o vplyve teploty periférnej časti tela na parameter perfúzny index, ktorý nie je v dostupnej literatúre popísaný. Plný rozsah využitia PI je ešte stále predmetom mnohých štúdií, hlavne v oblasti anestézie, ale k širšiemu použitiu je nutné poznať aj jeho vzťah k ďalším fyziologickým parametrom.

Výsledky vplyvu nízkej teploty ruky na parameter PI v tejto štúdiu sa líšia od [5], v ktorej autor uvádza, že pri ochladení ruky držaním fľaše so zmrazenou vodou nastal pokles PI na 0,7 % až po 45 minútach. Rozdiel dosiahnutých výsledkov mohol byť spôsobený zvolenou metódou navodenia chladu. V tejto štúdiu bola ruka probanda ochladená priložením igelitového vrečka s ľadom okolo celej plochy ruky, a tým bolo dosiahnuté ochladenie prívodných ciev do periférie. Je možné sa domnievať, že v prípade [5] nebolo ochladenie ruky držaním fľaše so zamrznutou vodou dostatočne rýchle a výrazné.

Porovnaním so štúdiou [24] boli taktiež zistené rozdiely vo výsledkoch. Štúdia [24] uvádza, že pri ochladení periférie uchopením fľaše so studenou vodou a priložením ďalšej na vrch ruky probanda, nastalo u polovice probandov zvýšenie a u druhej polovice zníženie hodnoty PI. Hlavným rozdielom v metóde merania boli rozdielne časové úseky priloženia chladného predmetu na ruku (2 minúty) a následný záznam PI (1 minútu).

6.1.5 Limitácie štúdie

Jednou z hlavných limitácií tejto štúdie bola zvolená dĺžka meraných úsekov, konkrétne 4 minúty po ohriatí a po ochladení. Pri pilotnom experimente sa 4 minúty po zmene teploty javili ako dostatočné, no pri zmeraní viacerých probandov bolo zrejme, že dlhšie časové úseky by pravdepodobne ponúkli lepšie a jednoznačnejšie výsledky. Reakcie probandov boli rôznorodé hlavne pri meraniach po ohriatí ľavej ruky. Z tohoto experimentu teda vyplýva, že časové úseky medzi jednotlivými zmenami teploty ruky by mali byť dlhšie. Tým pádom by sa vylúčil možný vplyv počiatočného ohriatia ruky a následného ochladenia. Druhým spôsobom by bolo úplné rozdelenie týchto meraní na dve samostatné štúdie.

Ďalšou limitáciou experimentu bol počet probandov a ich výber. Je možné, že pri vyššom počte probandov by štúdia mohla odhaliť dôvod rozdielnych reakcií na zvýšenie teploty ruky. Taktiež by bolo vhodné, aby sa štúdie zúčastnila vzorka probandov zo všetkých vekových kategórií. Všetci probandi tejto štúdie boli mladí ľudia v približne rovnakom veku, a preto nebolo možné určiť potenciálny vplyv veku na dané merania.

V nadväzujúcich štúdiách by bolo zaujímavé zistiť, či by boli dosiahnuté rovnaké výsledky aj pri zmene teploty pravej ruky a či v prípade ohriatia a ochladenia oboch rúk dôjde k rovnakým výsledkom ako v tejto štúdii.

6.2 Vzťah medzi hyperkapniou a perfúznym indexom

Pri zisťovaní vzťahu medzi zvýšeným EtCO₂ a perfúznym indexom bolo štatistickým testom dokázané, že nastáva mierny nárast hodnoty PI. Pri porovnaní hodnôt PI tesne pred odpojením probanda a tesne po odpojení bol taktiež pozorovaný nárast PI, p hodnota štatistického testu bola v tomto prípade 0,0485, a teda bola veľmi blízka hladine významnosti 0,05.

Následne bolo zistené, že po odpojení probanda od systému simulujúceho lavínu nastal prudký nárast hodnoty PI (Tabuľka 5.9). V tomto momente už hodnoty EtCO₂ klesli, ale vplyv hyperkapnie v tele pretrvával. Na základe minima, maxima a šírky medzikvartilového rozpätia krabicového grafu je možné konštatovať veľkú variabilitu dosiahnutých maximálnych hodnôt PI pre jednotlivé merania (Obrázok 5.7). Dôvod tejto variability nebolo možné vysvetliť žiadnym vzorcom správania napriek tomu, že maximálne dosiahnuté hodnoty PI pre jednotlivé merania boli rozdelené podľa maximálnych nameraných hodnôt EtCO₂ i maximálnych poklesov SpO₂. Dosiahnutie maximálnej hodnoty perfúzneho indexu po odpojení probanda bol v priemere 1,5 minúty. Až v 20 z celkových 36 použitých meraní nastalo maximum PI v rozmedzí 1-2 minút po odpojení probanda. V tomto prípade taktiež nebol zistený vzorec, na základe ktorého by bolo možné merania rozdeliť.

V prípadoch niektorých meraní bolo vidieť kolísanie hodnôt PI v čase pred pripojením probanda k sústave simulujúcej podmienky dýchania v lavíne napriek tomu, že ruka s umiestnenými senzormi i proband sám boli v kľude a v teplotnom komforte. Po pripojení probandov k sústave bolo možné pozorovať ustálenie hodnôt PI. Možná príčina nebola zistená, ale toto pozorovanie by mohlo byť predmetom budúcich štúdií.

Pri porovnaní hodnôt PI v kľude zo štúdie vplyvu teploty ruky a hodnôt PI z lavínových experimentov bolo zistené, že v prípade experimentov v simulovanej lavíne boli priemerné hodnoty PI nižšie. Podmienky pri meraniach v simulovanej lavíne boli zabezpečené tak, aby bol proband v teplotnom komforte (Kapitola 4.2.1: Popis štúdie). Tento rozdiel v priemerných hodnotách mohol byť spôsobený výberom probandov alebo okolitými podmienkami experimentov.

V prípade meraní EtCO₂ bolo štatisticky potvrdené, že dýchaním v podmienkach simulujúcich lavínu nastáva prudký nárast hodnoty EtCO₂ v dôsledku spätného vdychovania už vydýchnutého plynu do vzduchovej kapsy testovaného materiálu. Rovnako bolo potvrdené, že po odpojení probanda od daného systému a jeho prirodzenom opätovnom nadýchnutí sa dochádza k poklesu EtCO₂ (Tabuľka 5.9). Pri porovnaní hodnôt EtCO₂ pred pripojením probanda a po jeho odpojení v momente dosiahnutia maxima PI bolo zistené, že tieto hodnoty sa štatisticky nelíšia (Tabuľka 5.9). Tento výsledok dokazuje, že v momente dosiahnutia maximálnej hodnoty perfúzneho indexu, sa hodnota EtCO₂ probandov vrátila na pôvodnú normálnu hodnotu. Napriek tomu je veľmi pravdepodobné, že v tele ešte stále pretrváva akumulácia CO₂ v dôsledku zvýšenej dychovej práce a spätného vdychovania vydychovanej zmesi. Na základe veľkosti krabicového grafu pred pripojením probanda a pri dosiahnutí maxima PI je možné tvrdiť, že u niektorých probandov mohla v tomto okamžiku zostať hodnota EtCO₂ ešte o niečo vyššia alebo nižšia ako ich pôvodná (Obrázok 5.8). U všetkých probandov nastal po pripojení krátky pokles hodnoty EtCO₂ a následne hodnota začala stúpať (Obrázok 4.14). Tento prvotný pokles EtCO₂ bol veľmi pravdepodobne spôsobený intuitívnou hyperventiláciou probandov v okamžiku pripojenia k dýchacej sústave simulujúcej lavínu.

Z výsledkov štúdie [17] vyplynulo, že u pacientov pod vplyvom anestézie pri meraní PI pri hyperkapnii nastalo zvýšenie jeho hodnoty. Výsledky experimentov v simulovaných podmienkach lavín túto teóriu potvrdili aj v prípade, že probandi experimentu neboli pod vplyvom anestézie. Z oboch štúdií teda vyplýva, že hyperkapnia spôsobuje zvýšenie hodnoty perfúzneho indexu.

Limitácie štúdie

Hlavnou limitáciou štúdie v simulovanej lavíne bola synchronizácia dát z rôznych prístrojov, ktorá prebiehala na základe zmien hodnôt SpO₂ a srdcovej frekvencie. V tejto časti práce mohli nastať určité odchýlky od presných okamihov začiatku merania, pripojenia a odpojenia probanda od sústavy simulujúcej dýchanie v lavíne.

Ďalšou limitáciou experimentu mohol byť výber čisto mužských probandov. Naviac boli všetci probandi štúdie členovia Českých armádnych zložiek alebo študenti vojenského odboru. Každý z nich bol teda zvyknutý na väčšiu fyzickú aktivitu, a tento fakt mohol ovplyvniť nadobudnuté výsledky. Doporučenie pre budúce štúdie podobného charakteru teda je vybrať príslušníkov oboch pohlaví a s rôznym vzťahom k fyzickej aktivite a športu.

7 Záver

Prvá časť diplomovej práce bola venovaná experimentu vplyvu teploty ruky na parameter perfúzny index. Teplotná zmena bola realizovaná ohriatím ruky vo vodnom kúpeli s teplotou 40 °C a priložením igelitového vrečka s ľadom na danú končatinu. Hlavným zistením bolo, že ochladením ruky dochádza u mužov i u žien k zníženiu hodnoty perfúzneho indexu. Po skončení ochladzovania a odstránení studeného predmetu z ruky nastal nárast hodnoty PI u oboch pohlaví.

Z experimentu ohriatia ruky nebolo možné jednoznačne určiť, aký je efekt tepla na PI. U probandov dochádzalo po ohriatí ruky k rôznym reakciám, pričom u mužov bolo najčastejšou reakciou zvýšenie hodnoty PI. V prípade žien dochádzalo k rôznym reakciám.

Ďalej zo štúdie vyplýva, že medzi hodnotami PI mužov a žien je významný rozdiel v bežných podmienkach a i po zmene teploty ruky. U žien boli hodnoty PI v priemere nižšie ako u mužov.

Druhá časť práce zisťovala vzťah medzi hyperkapniou a parametrom PI. Počas zvýšených hodnôt EtCO₂ nastal mierny nárast perfúzneho indexu. Dosiachnutie maximálnych hodnôt PI bolo dosiahnuté až po opätovnom poklese hodnôt EtCO₂ na normálnu hodnotu.

Prínosom pre klinickú prax je bližšie ozrejenie súvislostí medzi parametrom perfúzny index a teplotou miesta merania. Ďalším prínosom práce je zistenie, že hyperkapnia spôsobuje zvýšenie hodnoty perfúzneho indexu.

Zoznam použitej literatúry

- [1] *Pulse oximetry* [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Pulse_oximetry&oldid=926961225
- [2] MAREK PENHAKER, MARTIN IMRAMOVSKÝ, PETR TIEFENBACH, FRANTIŠEK KOBZA. *Lékařské diagnostické přístroje*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0751-3.
- [3] J.G.WEBSTER. *Design of pulse oximeters*. New York: Taylor and Francis Group, 1997. ISBN 0-7503-0467-7.
- [4] JUBRAN, Amal. Pulse oximetry. *Critical Care* [online]. 2015, **19**(1), 272 [vid. 2019-11-07]. ISSN 1364-8535. Dostupné z: doi:10.1186/s13054-015-0984-8
- [5] ADAM ANTOŠ. *Vliv artefaktů na přesnost měření pulzních oxymetrů*. Kladno, 2017. Bakalárska práca. ČVUT v Praze.
- [6] ANTHONY Y.K. CHAN. *Biomedical device technology, Principals and design*. USA: Charles C Thomas, 2008. ISBN 978-0-398-07700-6.
- [7] ALEXANDRE A. P. LIMA. *Noninvasive Monitoring Of Peripheral Perfusion In Critically Ill Patients*. B.m., 2013. dizertačná práca. Erasmus University Rotterdam.
- [8] CLAUDIO DE FELICE, GUISEPPE LATINI, PAOLA VACCA, ROBERT J. KOPOTIC. The pulse oximeter perfusion index as a predictor for high illness severity in neonates. *European Journal of Pediatrics* [online]. 2002, **161**(10), 561–562. Dostupné z: doi:10.1007/s00431-002-1042-5
- [9] ILKE KUEPELI, NUR GODZE KULHAN, Kopernio. Can perfusion index be used as an objective tool for pain assessment in labor analgesia [online]. 2018, **34**(5). Dostupné z: https://kopernio.com/viewer?doi=10.12669/pjms.345.15157&token=Wzg0NjE2OCwiMTAuMTI2NjkvcGptcy4zNDUuMTUxNTciXQ.HYm_6r1aCPotXLB7oUOpyeZdyqM
- [10] MASIMO. *Clinical Applications of Perfusion Index* [online]. 2007. Dostupné z: https://www.masimo.co.uk/siteassets/uk/documents/pdf/clinical-evidence/whitepapers/lab3410f_whitepapers_perfusion_index.pdf
- [11] *oxid uhličitý (CO2) | Velký lékařský slovník On-Line* [online]. [vid. 2019-11-21]. Dostupné z: <http://lekarske.slovniky.cz/lexikon-pojem/oxid-uhlicity-co2>
- [12] KOLEKTIV, Kittnar Otomar a. *Lékařská fyziologie*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2011. ISBN 978-80-247-3068-4.
- [13] DAVIES, Huw. *Capnometry / Capnography* [online]. [vid. 2020-08-12]. Dostupné z: <https://www.ebme.co.uk/articles/clinical-engineering/capnometry-capnography>
- [14] SCHRAMM, Wolfgang M., Anna BARTUNEK a Hermann GILLY. Effect of local limb temperature on pulse oximetry and the Plethysmographic pulse wave. *International journal of clinical monitoring and computing* [online]. 1997, **14**(1),

- 17–22 [vid. 2019-11-22]. ISSN 0167-9945. Dostupné z: doi:10.1007/BF03356574
- [15] AL KHUDHAIRI, D., R. PRABHU, M. EL SHARKAWY a R. BURTLES. Evaluation of a pulse oximeter during profound hypothermia. An assessment of the Biox 3700 during induction of hypothermia before cardiac surgery in paediatric patients. *International Journal of Clinical Monitoring and Computing* [online]. 1990, 7(4), 217–222. ISSN 0167-9945. Dostupné z: doi:10.1007/bf02919383
- [16] SHAFIQUE, M. a P. A. KYRIACOU. Photoplethysmographic signals and blood oxygen saturation values during artificial hypothermia in healthy volunteers. *Physiological Measurement* [online]. 2012, 33(12), 2065–2078 [vid. 2019-11-22]. ISSN 0967-3334. Dostupné z: doi:10.1088/0967-3334/33/12/2065
- [17] MOUSA, Wesam. Effect of hypercapnia on pleth variability index during stable propofol: Remifentanil anesthesia. *Saudi journal of anaesthesia* [online]. 2013, 7, 234–7. Dostupné z: doi:10.4103/1658-354X.115317
- [18] GOLDMAN, J. M., M. T. PETERSON, R. J. KOPOTIC a S. J. BARKER. Masimo signal extraction pulse oximetry. *Journal of Clinical Monitoring and Computing* [online]. 2000, 16(7), 475–483. ISSN 1387-1307. Dostupné z: doi:10.1023/a:1011493521730
- [19] MASIMO CORPORATION. *Masimo* [online]. Dostupné z: <https://www.masimo.com/>
- [20] *Vyhřívání vodní lázeň BW-5, BW-10* [online]. [vid. 2020-02-13]. Dostupné z: <http://www.alfamedic.cz/index.php/cs/vyroby-cz/laboratorni-technika/34-vyhriwane-misky-a-lazne/33-l-vyhrivana-vodni-lazen-bw-5>
- [21] BASARANOGLU, Gokcen, Mefkur BAKAN, Tarik UMUTOGLU, Seniyye Ulgen ZENGIN, Kadir IDIN a Ziya SALIHOGLU. Comparison of SpO2 values from different fingers of the hands [online]. 2015, 4(1), 561. ISSN 2193-1801. Dostupné z: doi:10.1186/s40064-015-1360-5
- [22] MIZUKOSHI K., AMAYA F., MIZOBE T., TANAKA Y. a SHIBASAKI M. Which Finger Do You Attach Pulse Oximetry to? Index Finger or Not? [online]. 2009, (45), 3AP1-5. Dostupné z: <https://www.masimo.co.jp/pdf/clinical/set/mizukoshi-which-finger-do-you-attach-pulse-oximetry-to-may-2009.pdf>
- [23] LENKA HORÁKOVÁ. *Gas exchange in snow avalanche*. Kladno, 2019. Štúdia k rozprave o dizertačnej práci. České Vysoké učení technické v Praze.
- [24] INKA ZUZAŇÁKOVÁ. *Analýza parametru perfuzní index*. Kladno, 2018. Bakalárska práca. ČVUT v Praze.

Príloha A: Žiadosť o prejednanie výskumného projektu v etickej komisii FBMI ČVUT



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

Žiadosť o prejednanie výskumného projektu v etickej komisii FBMI ČVUT

Application for approval of a research project by FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board

Názov projektu: Využitie parametru perfúzy index v praxi
Name of the project: Use of the perfusion index parameter in practice

Hlavný riešiteľ projektu (Meno, pracovisko, e-mail): Bc. Denisa Juhásová.; FBMI ČVUT; juhasden@fbmi.cvut.cz

Stručný popis projektu (do 100 slov):

Analýza vývoja parametru perfúzy index (PI) pomocou pulznej oxymetrie je bezpečná a neinvazívna monitorovacia technika. Cieľom tohoto projektu je experimentálne stanoviť vzťah medzi teplotou miesta merania a perfúznym indexom. Zmena teploty miesta merania bude realizovaná zohriatím a ochladením ruky probanda. Experiment bude prebiehať na zdravých dobrovoľníkoch, ktorí sú študentkami/študentmi FBMI s použitím pulzného oxymetru Masimo Radical 97 (Masimo Corporation, USA).

Charakter projektu:

- Grantová úloha (názov agentúry):
- Výskum výskumného tímu (špecifikácia):
- Kvalifikačná práca (špecifikácia): Diplomová práca
- Iné:

Zoznam priložených dokumentov:

- sylabus projektu
- informovaný súhlas vrátane informácie pre subjekt hodnotenia

V Kladne dňa 12. 02. 2020


podpis hlavného riešiteľa

Vyjadrenie súhlasu etickej komisie FBMI ČVUT

FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board approval

Projekt bol schválený etickou komisiou FBMI ČVUT dňa: 5.3.2020 platný do: 4/2020
pod číslom: C 13 / 20 20

Etická komisia FBMI ČVUT v Prahe, v zložení Mgr. Martina Dingová Šliková, RNDr. Taťana Jarošíková, CSc., prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., Ing. Petr Kudrna, Ph.D., Ing. Lucie Šedzmáková, MUDr. Radek Matlach zhodnotila predložený projekt a nezistila žiadne rozpory s platnými zásadami, predpismi a mezinárodnými smernicami pre uskutočnenie biomedicínskeho výskumu zahrňujúceho ľudských účastníkov alebo laboratórne zvieratá.

Riešiteľ projektu splnil podmienky nutné k získaniu súhlasu etickej komisie

V Kladne dňa 5.3.2020

ETICKÁ KOMISE
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství
nám. Sítná 3105
razítko etickej komisie FBMI ČVUT
272 01 Kladno


Mgr. Martina ŠLIKOVÁ
podpis predsedu etickej komisie

ČVUT v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství
nám. Sítná 3105
272 01 Kladno

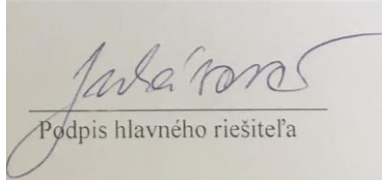
tel.: (+420) 224 358 419
fax: (+420) 312 608 204
www.fbmi.cvut.cz

IČ: 68407700
DIČ: CZ68407700
Bankovní spojení: KB Praha 6
č.ú. 27-7380010287/0100

Príloha B: Syllabus výskumného projektu

A: Základné údaje o výskumnom projekte:	
Názov projektu: Využitie parametru perfúzny index v praxi	
Typ štúdie:	<input checked="" type="checkbox"/> intervenčná <input checked="" type="checkbox"/> prospektívna <input type="checkbox"/> observačná <input type="checkbox"/> retrospektívna
Půjde o práci:	<input checked="" type="checkbox"/> s osobami <input type="checkbox"/> s laboratórnymi zvieratami <i>(V závislosti na type testovaných subjektov vyplňte buď časť B, alebo časť C tohto syllabu)</i>
Cieľ projektu, testovaná hypotéza: Experimentálne stanoviť vplyv teploty miesta merania na parameter perfúzny index (PI).	
Prínos projektu v technickej, diagnostickej, liečebnej oblasti, pre lekárske poznanie alebo individuálny subjekt hodnotenia: Prínosom projektu je lepšie pochopenie parametru perfúzny index a možných vplyvov pri jeho meraní. Perfúzny index a jeho plné využitie je v súčasnej dobe predmetom mnohých štúdií a zistenie vplyvu teploty ruky na jeho vývoj by mohlo prispieť k jeho správnejšiemu vyhodnocovaniu.	
B: Charakteristika súboru subjektov (osôb) klinického hodnotenia:	
Počet: 20-30	Veková štruktúra: 19–26
Pohlavie: muži a ženy	Spôsob ich náboru: náhodný medzi študentami FBMI ČVUT
Odmena za účasť: žiadna	Iné: —
Doba trvania celého projektu (dátum od-do): február 2020 - apríl 2020	Doba trvania pre jeden subjekt hodnotenia: max. 40 min
<p>Popis práce so subjektami, popis intervencie, odoberanie vzoriek apod.:</p> <p>Všetky merania v priebehu experimentu sú neinvazívne a nedochádza k odberu žiadnych vzorkov. Experiment je založený na meraní perfúzneho indexu pomocou prístroja Masimo Radical 97 pri 2 rôznych teplotách ruky probanda. Každý subjekt merania bude po príchode podrobený vstupnému vyšetreniu a budú zaznamenané jeho základné osobné a zdravotné údaje. Probandovi budú umiestnené dva senzory pulzného oxymetru Masimo na prst pravej a ľavej ruky. Jedna z rúk bude podrobená samotnému pokusu so zmenou teploty a druhá bude fungovať ako referencia. Následne prebehnú dve merania perfúzneho indexu pri rôznych teplotách. Pri prvom meraní bude ruka probanda na 2 minúty vložená do nádoby s vodou o teplote 40°C. Po vyjmutí ruky z nádoby a jej rýchlom osušení budú zaznamenávané hodnoty PI až do jeho ustálenia. Druhé meranie bude prebiehať pri priložení igelitového vrecúška s ľadom na ruku probanda. Po 1 minúte bude vrecko s ľadom odstránené. Záznam hodnôt PI bude od okamihu priloženia ľadu na ruku probanda až do ustálenia hodnôt po jeho odňaní. Následne bude experiment ukončený.</p>	

Líši sa projekt od štandardného postupu v dennej praxi: <input checked="" type="checkbox"/> ANO <input type="checkbox"/> NE V prípade, že áno, popíšte rozdiely: Pri bežnom zázname perfúzneho indexu nie je končatina vystavená rôznym teplotám. V tomto experimente bude ruka probanda ohriata pomocou nádoby s vodou o teplote 40°C a následne ochladená ľadom.	
Možné riziká a ťažkosti pre subjekt hodnotenia (vrátane etických): Probandom nehrozia žiadne riziká, diskomfortom môže byť neprijemný pocit pri vložení ruky do teplej vody a pri priložení vrecúška s ľadom na ruku, a takisto čas strávený experimentom podľa dohodnutého programu.	
Ako je zaistená bezpečnosť testovaného subjektu: Všetky použité prístroje majú platnú BTK.	
Kto poniesie náklady na odškodnenie v prípade poškodenia subjektu hodnotenia: FBMI ČVUT, avšak riziko je minimalizované použitím nových zdravotníckych prístrojov s platnou BTK podľa zákona 268/2014, ktoré budú navyiac používané v galvanicky izolovanej sústave ZIS.	
C: Charakteristika súboru laboratórných zvierat:	
Druh laboratórných zvierat: žiadne	Počet: žiadne
Doba trvania celého projektu (datum od-do): žiadny	Doba trvania pre jeden subjekt hodnotenia: žiadny
Ako bude zaistená starostlivosť o zvieratá v priebehu experimentu: Nepredpokladá sa práca so zvieratami.	
D: Doplnujúce informácie k výskumnému projektu:	
Žiadne doplnujúce informácie.	



Podpis hlavného riešiteľa

12.2.2020

Podpis hlavného riešiteľa

V Kladne dňa

Príloha C: Informovaný súhlas

Informovaný súhlas a informácie pre subjekt hodnotenia

Názov projektu: Využitie parametru perfúzny index v praxi

Hlavný riešiteľ: Bc. Denisa Juhásová

Spoluriešitelia: MUDr. Lenka Horáková, Ing. Petr Kudrna, Ph.D.

Pracovisko: Fakulta biomedicínskeho inžinierstva ČVUT v Prahe

Projekt: *Využitie parametru perfúzny index v praxi* je výskumný projekt Fakulty biomedicínskeho inžinierstva ČVUT v Prahe.

Meranie parametru perfúzny index pulzným oxymetrom s použitím prstového snímača je bežne využívanou metódou kontinuálneho monitorovania zdravotného stavu pacienta. Prstový sensor je najčastejšie umiestnený na jeden z troch prostredných prstov ruky. Perfúzny index vyjadruje pomer medzi novo okysličenou krvou prichádzajúcou s každým srdcovým tepom k celkovému množstvu krvi.

Cieľom tohoto experimentu je zistiť vplyv teploty miesta merania, v tomto prípade ruky dobrovoľníka, na perfúzny index. V praxi to znamená pozorovanie zmien hodnôt perfúzneho indexu pri rôznych teplotách ruky, ktorá bude zabezpečená ochladením alebo zohriatím ruky. Hodnoty budú porovnávané s referenčným meraním na druhej ruke, ktorej teplota sa meniť nebude.

Experiment bude prebiehať na zdravých študentkách a študentoch z Fakulty biomedicínskeho inžinierstva. K meraniu perfúzneho indexu bude použitý prístroj Masimo Radical 97. Na začiatku bude dobrovoľník zoznámený s priebehom experimentu a následne bude vyplnená karta probanda so základnými údajmi o dobrovoľníkovi a o jeho zdravotnom stave. Následne bude zahájený samotný experiment. Na začiatku budú nasadené na ruky dobrovoľníka dva senzory pripojené k dvom prístrojom Masimo a prebehne záznam hodnôt v pokoji. Ľavá ruka bude slúžiť k samotnému meraniu perfúzneho indexu pri meniacich sa teplotách a pravá ruka bude po celú dobu v pokoji a bez zmien teploty položená na stole. Následne bude ruka dobrovoľníka vložená do nádoby s teplotou vody 40 °C, v tomto momente bude sensor z prstu odstránený. Po dvoch minútach bude ruka z nádoby s vodou vyjmutá, osušená a sensor bude znovu umiestnený na ten istý prst ako pri počiatočnom meraní. Po ustálení hodnôt bude pokračovať druhé meranie. Na ruku bude priložené igelitové vrečko s ľadom, sensor je po celú dobu umiestnený na prste. Po 1 minúte bude vrečko s ľadom odstránené a záznam perfúzneho indexu bude prebiehať až do ustálenia hodnôt. Po odstránení senzorov z prstov rúk bude experiment ukončený. Odhadovaná doba merania pre jedného dobrovoľníka je maximálne 40 minút.

Použité prístroje budú v priebehu experimentu zapojené do ZIS (zdravotníckej izolovanej sústavy), ktorá zabezpečuje galvanické oddelenie prístrojov. Všetky zariadenia majú platnú bezpečnostne-technickú kontrolu.

Meranie perfúzneho indexu nemá žiadne kontraindikácie. Vylučovacím kritériom sú poranenia kože na prstoch rúk a úrazy horných končatín, ktoré by mohli mať vplyv na ich prekrvenie. **Dobrovoľník svojím podpisom potvrdzuje, že týmto vylučovacím kritériám porozumel a že ich nenapĺňa.**

Diskomfortom pre dobrovoľníka môže byť vkladanie ruky do teplej vody, priloženie vrečka s ľadom na ruku a čas strávený pri experimente. Samotné meranie perfúzneho indexu je bezpečné a bez rizík. Z nameraných dát nebude vyvodzovaný záver o Vašom zdravotnom stave.

Náklady na odškodnenie v prípade poškodenia probanda poniesie ČVUT FBMI, avšak riziko je minimalizované použitím prístrojov s platnou bezpečnostne-technickou kontrolou podľa zákona 268/2014, ktoré budú navyše pripojené do galvanicky izolovanej sústavy ZIS. **Účasť v experimente je dobrovoľná a bez nároku na akúkoľvek odmenu. Nepredpokladajú sa žiadne finančné výdaje pre dobrovoľníka.**

Podpísaním tohoto písomného informovaného súhlasu súhlasíte s tým, že hlavný riešiteľ a etická komisia budú mať prístup k pôvodnej klinickej dokumentácii za účelom overenia priebehu experimentu alebo údajov, pričom nedôjde k porušeniu dôvernosti informácií o Vašej osobe, v miere povolenej právnymi predpismi. Záznamy, podľa ktorých je možné Vás identifikovať, budú uchované ako dôverné a nebudú, v miere zaručenej právnymi predpismi, verejne prístupné. V prípade publikácie výsledkov experimentu nebude totožnosť dobrovoľníkov zverejnená.

Ak sa vyskytne informácia, ktorá by mohla mať vplyv na rozhodnutie dobrovoľníka o pokračovaní v účasti v tejto štúdiu, bude dobrovoľník o tejto skutočnosti včas informovaný.

Ďalšie informácie o experimente alebo právach dobrovoľníkov je možné získať u vyššie uvedených riešiteľov. V prípade poškodenia zdravia súvisiacim s experimentom je potrebné kontaktovať hlavného riešiteľa.

Účasť v štúdiu je dobrovoľná a môže byť ukončená kedykoľvek bez udania dôvodu a bez finančných či právnych dôsledkov.

Dobrovoľník môže byť z experimentu vylúčený z dôvodu poranenia v oblasti rúk alebo iných nepriaznivých skutočností, ktoré by mohli mať vplyv na prekrvenie končatín. Predpokladaná doba trvania experimentu pre jedného dobrovoľníka je maximálne 40 minút.

Prehlásenie:

Prehlasujem a svojím podpisom potvrdzujem, že som sa zoznámil/a a porozumel/a všetkému vyššie uvedenému a súhlasím s účasťou v experimente. Prehlasujem, že nespĺňam žiadne vylučovacie kritérium, ktoré by moju účasť v experimente neumožňovalo.

Meno probanda:

Dátum narodenia:

Proband bol do štúdie zaradený pod číslom:

Zodpovedný riešiteľ:

Podpis probanda

Podpis zodpovedného
riešiteľa

Dátum

Dátum

Príloha D: Karta probanda

Názov výskumného projektu: Využitie parametru perfúzny index v praxi

ID probanda:

Základné údaje

Meno:

Priezvisko:

Pohlavie: muž

žena

Vek:

Dátum narodenia:

Bydlisko:

Kontakt (email, telefón):

Zdravotné údaje

Výška:

Váha:

BMI (kg/m²):

Vzt'ah k fajčeniu: fajčiar
(aspoň 1 cigareta denne)

nefajčiar

Choroby:

Doplňujúce informácie, poznámky:

Proband podpísal informovaný súhlas: **áno** **nie**

V Kladne dňa:

Podpis probanda:

Príloha E: Protokol merania

Názov výskumného projektu: Využitie parametru perfúzny index v praxi

ID probanda:

Dátum merania:

Čas merania (od-do):

Miesto:

1. Príprava merania

- Usadenie probanda k stolu s meriacimi prístrojmi
- Zapnutie vodného kúpeľa (teplota 40°C bola nastavená pri pilotnom meraní)
- Zoznámenie probanda s experimentom
- Podpísanie informovaného súhlasu
- Vyplnenie karty probanda
- Zapnutie oboch prístrojov Masimo Radical 97
 - Kontrola synchronizácie času a dátumu na prístrojoch:
Nastavenia – Device settings – Localisation - Current time a Current date
 - Kontrola nastavenia formátu výstupu IAP:
Nastavenia – Device settings – Device output – USB Port - IAP
- Umiestnenie prstového senzoru prístroja Masimo Radical 97 na ľavý prostredník probanda
 - Čas _____
- Umiestnenie prstového senzoru druhého prístroja Masimo Radical 97 na pravý prostredník probanda
 - Čas _____
- Záznam hodnôt PI na oboch rukách počas 2 minút

2. Meranie perfúzneho indexu pri rôznych teplotách ruky

- Odstránenie prstového senzoru z ľavej ruky
 - Čas _____
- Vloženie ľavej ruky probanda do vodného kúpeľa s teplotou vody 40 °C na 2 minúty

- Vyňatie ruky z vodného kúpeľa, rýchle osušenie čistou kuchynskou utierkou, opätovné umiestnenie prstového snímača na ľavý prostredník

- Čas _____

- Záznam PI počas 4 minút
- Priloženie igelitového vrečka s ľadom na ľavú ruku probanda

- Čas _____

- Čas na stopkách _____

- Po 1 minúte odstránenie vrečka s ľadom a záznam PI počas 4 minút

- Čas odstránenia vrečka s ľadom _____

- Čas ukončenia záznamu _____

3. Ukončenie merania a export dát

- Odstránenie oboch prstových snímačov z rúk probanda
- Vypnutie vodného kúpeľa, v prípade pokračovania experimentu s novým probandom zostáva vodný kúpeľ zapnutý
- Pripojenie prístroja Masimo Radical 97, slúžiaceho ako referenčné zariadenie snímajúce dáta z pravej ruky probanda, k osobnému počítaču pomocou USB kábla, skontrolovanie pripojenia prístroja Masimo do portu COM3 – Správca zariadenia – Porty(COM a LPT) – COM3
- Vytvorenie zložky a podzložiek s ID probanda: Tento počítač – Disk C – MICT – Trend – vytvorenie zložky s ID probanda – vytvorenie podzložky Ref_ID a Mer_ID
- Zapnutie programu MICT na osobnom počítači
 - Options – Setup Connection – Instrument – Rad 97
 - Connection – Serial
 - Config – Port – COM 3
 - BaudRate – 921600
 - Potvrdenie tlačidlom OK
 - Potvrdenie tlačidlom OK
- Options – Download trend – Trend – zložka s ID probanda – uloženie dát do zložky Ref_ID

- Pripojenie druhého prístroja Masimo Radical 97, zariadenie snímajúce dáta z ľavej ruky probanda, k osobnému počítaču pomocou USB kábla, skontrolovanie pripojenia prístroja Masimo do portu COM3 – Správca zariadenia – Porty(COM a LPT) – COM3
- Zapnutie programu MICT na osobnom počítači
 - Options – Setup Connection – Instrument – Rad 97
 - Connection – Serial
 - Config – Port – COM 3
 - BaudRate – 921600
 - potvrdenie tlačidlom OK
 - Potvrdenie tlačidlom OK
 - Options – Download trend – Trend – zložka s ID probanda – uloženie dát do zložky Mer_ID
- Odpojenie prístroja Masimo z osobného počítača
- Vypnutie všetkých prístrojov
- Upratanie pracoviska do pôvodného stavu

Poznámky:

Protokol vyplnil/a:

Príloha F: Obsah príloženého CD

- Kľúčové slová v sj a aj (Kľúčové_slová_v_sj_a_aj.pdf)
- Abstrakt slovensky (Abstrakt_v_sj.pdf)
- Abstrakt anglicky (Abstrakt_v_aj.pdf)
- Naskenované zadanie diplomovej práce (Zadanie_Diplomovej_práce.pdf)
- Diplomová práca (Diplomová_praca.pdf)