



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

Analýza parametru perfuzní index

Analysis of perfusion index parameter

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský technik

Autor bakalářské práce: Inka Zuzaňáková

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Kudrna, Ph.D.

Kladno 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Inka Zuzanáková**
Obor: Biomedicínský technik
Téma: **Analýza parametru perfuzní index**
Téma anglicky: Analysis of perfusion index parameter

Zásady pro vypracování:

Navrhněte a realizujte experiment pro analýzu parametru s názvem perfuzní index, měřeného pokročilými pulzními oxymetry výrobce MASIMO. Zaměřte se na ovlivnění perfuzního indexu různými artefakty, jako jsou pohybové, či artefakty ovlivňující periferní perfuzi vlivem nízké teploty. Pro experiment použijte pulzní oxymetr Radical 7, dostupný na FBMI. Zhodnoťte využití perfuzního indexu jako pomocného diagnostického indikátoru pro dospělé, ale i neonatologické pacienty.

Seznam odborné literatury:

- [1] John G. Webster, Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, ed. 6, Wiley, 2006, ISBN 978-0-471-26358-6
- [2] Tricia L. Gomella, Neonatology: management, procedures, on-call problems, diseases and drugs, ed. Sixth Edition, McGraw Hill Professional, 2009, ISBN 78-0-07-154431-3
- [3] Rafl, 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

Zadání platné do: 20.09.2019

Vedoucí: Ing. Petr Kudrna, Ph.D.


vedoucí katedry / pracoviště


děkan

V Kladně dne 19.02.2018

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Analýza parametru perfuzní index“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně 18. 5. 2018

.....

Inka Zuzaňáková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala panu Ing. Petru Kudrovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce.

ABSTRAKT

Analýza parametru perfuzní index

Pulzní oxymetrie je neinvazivní optická diagnostická metoda, pomocí které lze měřit saturaci krve kyslíkem ale i jiné veličiny. Jedním z parametrů, který lze měřit pulzním oxymetrem, je perfuzní index. Tento parametr udává poměr objemu nové okysličené krve, která přichází do místa měření, k celkovému objemu krve. Cílem práce bylo pomocí navržených praktických experimentů monitorovat změnu tohoto parametru při simulovaných artefaktech (pohybový artefakt a artefakty snižující perfuzi periferní tkáně vlivem zaškrcení cévy v končetině a jejího podchlazení). Pro test bylo využito přístrojů od firmy Masimo a Nellcor.

Měření poukázalo na značný vliv artefaktů, na které je nutné brát zřetel v klinické praxi. Moderní přístroje již umí artefakty odhalit, upozornit na ně obsluhu přístroje nebo měření při špatných podmínkách sami přerušit.

Klíčová slova

Pulzní oxymetrie, perfuzní index, snížená perfuze, artefakt

ABSTRACT

Analysis of perfusion index parameter

Pulse oximetry is an optical non-invasive diagnostic method through which you can measure blood saturation with oxygen and other parameters. Perfusion index is one of the other attributes you can measure with pulse oximetry. Perfusion index shows a ratio of newly oxygenated blood volume in site of measurement to total blood volume. The aim of my thesis is to monitor the change of the perfusion index through practical experiment which simulate artefact such as motion artefact or artefacts lowering tissue perfusion (hypothermia of tissue or tourniquet). For experiment the devices from Masimo and Nellcor were used.

The experiment results show that the artefacts play a significant role in the measurement of the perfusion index which should be taken into account in clinical practice. Modern devices are able to detect these artefacts and alarm the personnel or to stop the measurement altogether.

Keywords

Pulse oximetry, perfusion index, low perfusion, artefact

Obsah

Seznam symbolů a zkratek.....	8
1 Úvod	9
2 Teoretický úvod k pulzní oxymetrii	10
2.1 Hemoglobin.....	10
2.2 Definice saturace krve kyslíkem	11
2.3 Disociační křivka hemoglobinu	12
2.4 Oxymetrie.....	12
2.4.1 Fyzikální základ optických metod.....	13
2.4.2 Pulzní oxymetrie.....	14
2.4.3 Omezení v pulzní oxymetrii a artefakty	17
2.5 Cíle práce.....	18
3 Materiál a metody.....	20
3.1 Použité přístroje a software	20
3.2 Popis experimentu	20
3.2.1 Průběh měření.....	21
3.3 Prezentace a hodnocení výsledků měření.....	22
4 Výsledky.....	23
4.1 Výsledky experimentu – pohybový artefakt	23
4.2 Výsledky experimentu – snížení perfuze zaškrcením cévy	25
4.3 Výsledky experimentu – snížení perfuze podchlazením.....	27
4.4 Výsledky experimentu – celkové zhodnocení.....	30
5 Diskuse.....	31
6 Závěr	33
Seznam použité literatury	34
Příloha A: Hodnoty při pohybovém artefaktu.....	36
Příloha B: Hodnoty při zaškrcení cévy	46
Příloha C: Hodnoty při podchlazení končetiny	51
Příloha D: Grafické zobrazení dat naměřených přístrojem Masimo	61

Seznam symbolů a zkratk

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
<i>SpO₂</i>	%	Saturace arteriální krve periferní tkáně kyslíkem
<i>PI</i>	-	Perfuzní index
<i>SpO₂</i>	%	Saturace arteriální krve kyslíkem
<i>SpHb</i>	%	Podíl hemoglobinu v krvi
<i>SpMet</i>	%	Podíl methemoglobinu v krvi
<i>SpCO</i>	%	Podíl karboxyhemoglobinu v krvi
<i>SpOC</i>	%	Měření kyslíkové rezervy
<i>Pvi</i>	-	Měření dynamických změn perfuzního indexu
<i>RRa</i>	Hz	Měření dechové frekvence

Seznam zkratk

Zkratka	Význam
Hb	Hemoglobin
HbO ₂	Oxyhemoglobin
RHb	Redukovaný hemoglobin (Deoxyhemoglobin)
COHb	Karboxyhemoglobin
MetHb	Methemoglobin
HR	Tepová frekvence (heart rate)

1 Úvod

Kyslík je nezbytnou látkou pro fungování biologických procesů v lidském těle. Molekuly kyslíku jsou v lidském těle vázány na hemoglobin (Hb) v červených krvinkách a jeho přenos do tkání je zajištěn dýchací soustavou a krevním oběhem. [1] [2]

Pulzní oxymetrii lze považovat v klinické praxi za standardně používanou metodu měření. Její velkou výhodou je neinvazivnost způsobu měření, technologická dostupnost a finanční nenáročnost jednotlivých měření. Stanovení nasycení krve kyslíkem je velice důležitý diagnostický parametr a jeho měření se stalo standardním procesem při monitoringu pacienta na jednotkách intenzivní péče nebo při zákrocích vyžadující celkovou anestezii pacienta. Saturace krve kyslíkem (SpO_2) se měří pulzním oxymetrem. Provedení může být buď jako samostatný přístroj nebo je technologie implementována do monitorů životních funkcí.

Pulzní oxymetrie je neinvazivní optická metoda založená na absorpci záření procházejícího měřenou periferní tkání. Od doby konstrukce prvního pulzního oxymetru v 80. letech 20. století prošla technologie měření značným vývojem a v dnešní době jsou již dostupné moderní přístroje, které pro genezi záření využívají LED diody a pro měření fotodiody. Podle konkrétní použité technologie jsou přístroje schopny měřit nejen saturaci krve kyslíkem a jinými látkami (např. oxidem uhelnatým), ale i další parametry jako jsou tepová frekvence, akustická dechová frekvence, index kyslíkové rezervy a perfuzní index (PI). Perfuzní index vyjadřuje poměr toku pulzující okysličené krve a nepulzující krve v periferní tkáni pacienta, jako jsou prsty, špička nosu nebo ušní lalůček. Hodnota PI je také indikátorem síly srdečního pulzu. Její velikost se uvádí buď jako bezrozměrná veličina nebo v procentech a pohybuje se v rozmezí 0,2-20 %. Číselná hodnota udává, kolik procent z celkového objemu krve je právě okysličená krev, která do periferie přitekla za jeden stah srdce. [3] [4]

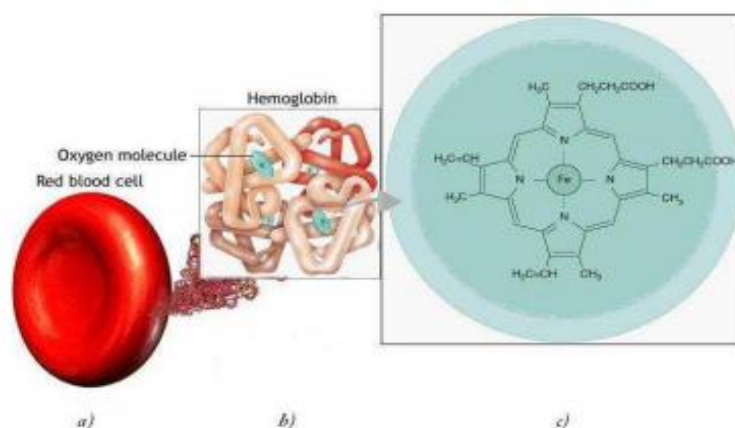
2 Teoretický úvod k pulzní oxymetrii

Přítomnost kyslíku v krvi je nezbytně důležitá ro fungování řady biologických procesů. Již po krátké absenci kyslíku může dojít k poškození důležitých orgánů. Hodnota saturace krve kyslíkem se měří metodou zvanou pulzní oxymetrie. Tato metoda se pro svou jednoduchost, neinvazivnost a bezpečnost pro pacienta stala součástí monitoringu na pooperačních odděleních, jednotkách intenzivní péče i přímo na operačních sálech.

Kyslík je v těle transportován krví. Tekutou složku krve tvoří plasma, pevnou krevní elementy – destičky, červené a bílé krvinky. Malé množství kyslíku, přibližně 1-2 % je fyzikálně rozpuštěno v krevní plasmě. Zbytek kyslíku je vázaný na molekuly hemoglobinu, které jsou obsaženy v červených krvinkách. [3] [5] [6]

2.1 Hemoglobin

Z celkového množství kyslíku v těle je ho 98 % až 99 % chemicky vázáno na barvivo hemoglobin obsažené v červených krvinkách (viz. Obr. 2.1). Kyslík z nadechovaného vzduchu se na hemoglobin naváže v plicích a je dále roznášen krevním řečištěm do tkání. Zde je kyslík uvolněn a je nahrazen molekulami oxidu uhličitého. Oxid uhličitý je hemoglobinem nesen do plic, kde dojde k jeho uvolnění a vydechnutí.



Obr. 2.1: a) červená krvinka, b) stavba hemoglobinu, c) stavba hemu [7]

Hemoglobin se skládá z čtyř podjednotek, přičemž každá z nich je schopna navázat jednu molekulu plynu. Podjednotku tvoří polypeptidový řetězec (globin) a skupina hem, která obsahuje atom železa. Na tento atom železa se váže nesená látka. Hemoglobin s navázaným kyslíkem se nazývá oxyhemoglobin (HbO₂) a je ho za normální stavu v arteriální krvi mezi 98-99 %. Hemoglobin nenesoucí kyslík se nazývá deoxyhemoglobin nebo také hemoglobin redukovaný (RHb). Tyto dvě formy jsou označovány jako funkční hemoglobiny. V těle se nacházejí také tzv. disfunkční

hemoglobiny, které místo kyslíku vážou jinou látku, jako je například oxid uhelnatý. Ten se do těla dostává vdechováním zplodin při hoření a hemoglobin jej nesoucí se nazývá karboxyhemoglobin (COHb). Dalším druhem je methemoglobin (MetHb), který svou chemickou proměnou ztrácí vázat kyslík. Každý z typů hemoglobinu má díky rozdílnému chemickému složení jinou barvu. [1] [2] [8] [7] [9]

2.2 Definice saturace krve kyslíkem

V arteriální krvi jsou obsaženy všechny čtyři výše uvedené druhy hemoglobinu. Pro diagnostiku je důležitá především přítomnost oxyhemoglobinu a deoxyhemoglobinu. Methemoglobin a karboxyhemoglobin jsou za fyziologického stavu zanedbatelné. Saturace arteriální krve lze měřit invazivně (SaO_2) a neinvazivně (SpO_2) pomocí oxymetrie. Rozpětí hodnot saturace je při měření oběma metodami 95-99 %.

Frakční saturace krve kyslíkem je definována jako podíl koncentrace oxyhemoglobinu a součtu koncentrací všech typů hemoglobinu. Po vynásobení stem získáváme hodnotu v procentech. Koncentraci lze nahradit množstvím. Výpočet demonstruje vztah (2.1).

$$SaO_2 = \frac{[HbO_2]}{[HbO_2 + RHb + COHb + MetHb]} \cdot 100 \% \quad (2.1)$$

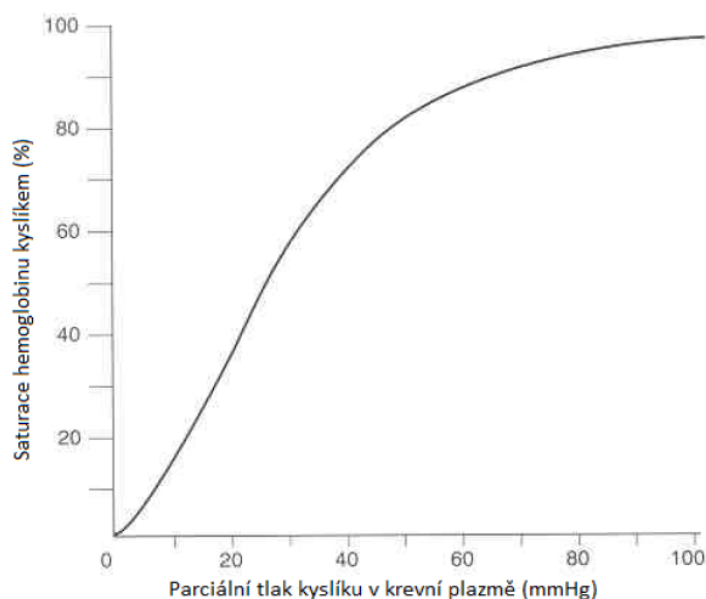
Funkční saturace se používá pro zjednodušení. Vychází z předpokladu, že vyjma patologických stavů se koncentrace COHb a MetHb pohybuje ve velmi nízkých hodnotách. Normální koncentrace COHb je u zdravého člověka 0,4 % až 0,7 % a MetHb 1 % až 3 %. Tyto typy hemoglobinu lze tedy zanedbat. Výpočet demonstruje vztah (2.2).

$$SaO_2 = \frac{[HbO_2]}{[HbO_2 + RHb]} \cdot 100 \% \quad (2.2)$$

Výpočet je snazší, ale problém může nastat u stavů, kdy je jedna ze zanedbaných složek markantně zvýšená a ovlivní výsledný poměr. [7] [10]

2.3 Disociační křivka hemoglobinu

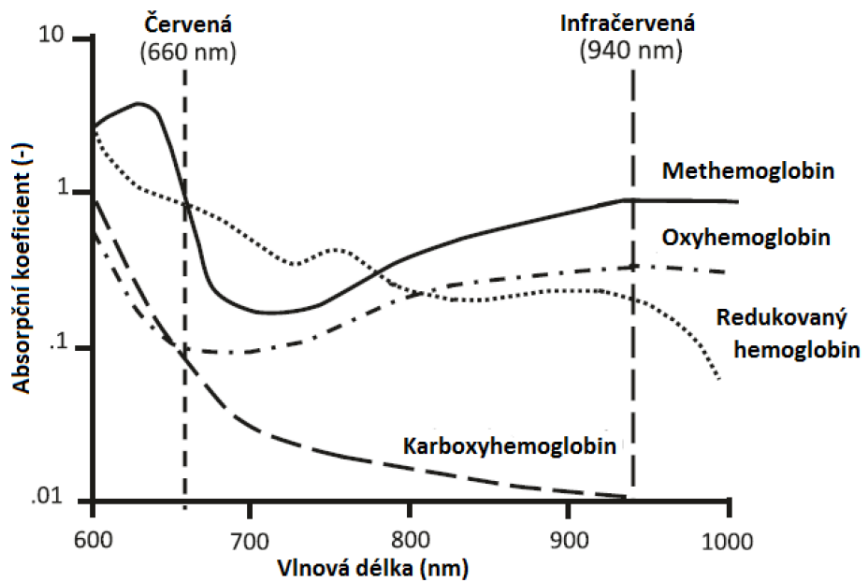
Nasycení hemoglobinu kyslíkem závisí na jeho parciálním tlaku. V plicích je parciální tlak kyslíku vysoký, a proto se kyslík snadno naváže na molekuly hemoglobinu. Z plic odchází krev nasycena téměř z 99 %. V tkáních dochází k procesu opačnému. Hodnota parciálního tlaku kyslíku poklesne a tím se kyslík z oxyhemoglobinu snadno odštěpí. Závislost je popsána na obrázku 2.2. [7] [9] [11]



Obr. 2.2: Závislost saturace hemoglobinu kyslíkem na jeho parciálním tlaku [11]

2.4 Oxymetrie

Oxymetrie je jednoduchá neinvazivní diagnostická metoda stanovení nasycení krve kyslíkem. V rámci měření kombinují oxymetry dvě technologie – spektrofotometrii měřící množství oxyhemoglobinu, a pletysmografii, která měří pulsační změny arteriální krve. Princip oxymetrie se zakládá na spektrální analýze elektromagnetického záření, které prochází krví, resp. na detekci krevních elementů s různou absorpcí. Pro nás zajímavé jsou především propustnosti různých druhů hemoglobinu. Každý jeho druh disponuje jinou absorpcí pro určitou vlnovou délku záření v závislosti na jeho barvě, resp. na navázané molekule. Závislost absorpčního koeficientu záření na jeho vlnové délce pro jednotlivé druhy hemoglobinu demonstruje následující obrázek 2.3. Pro zjištění funkční saturace je třeba sestavit dvě rovnice absorbance. K měření se využívá dvou LED diod emitujících záření ve spektru červeného světla a infračerveného záření. Nejdůležitější jsou hodnoty absorbance oxy- a deoxyhemoglobinu. [7] [3] [11] [9]



Obr. 2.3: Závislost absorpčního koeficientu různých druhů hemoglobinu na vlnové délce absorbovaného záření [11]

2.4.1 Fyzikální základ optických metod

Lambert-Beerův zákon

Tento zákon definuje veličinu absorpance. Dle vzorce 2.3 je pro monochromatické záření absorpance přímo úměrná její koncentraci.

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l \quad (2.3)$$

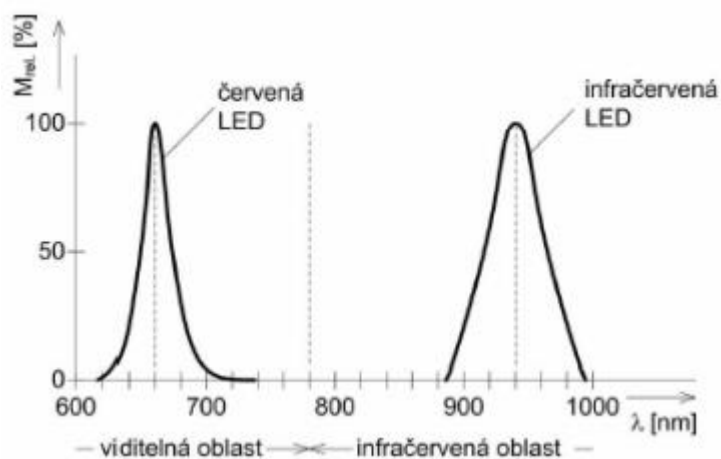
Ve vzorci A značí absorpanci, ε molární absorpční koeficient, c koncentraci a l délku dráhy, kterou světlo urazí ve vzorku roztoku (běžně délku kyvety nebo zkumavky). Předpokladem pro možnost využití tohoto vzorce je skutečnost, že velikost krevních elementů je tak malá, že krev lze považovat za homogenní roztok. [7]

Absorbance

Absorbance je bezrozměrná veličina udávající, jak mnoho emitovaného záření bylo pohlceno roztokem, resp. kolik jej prošlo přes měřený roztok. Jednoduše řečeno popisuje schopnost molekul látky pohlcovat záření určité vlnové délky. Je vyjádřena jako záporně vzatý dekadický logaritmus podílu intenzity záření vystupujícího z roztoku ku záření, které na roztok dopadá (vztah 2.4).

$$A = -\log \frac{I_{out}}{I_{in}} \quad (2.4)$$

V praxi využívané zdroje světelného záření emitují záření o určité vlnové délce a této délce příbuzné. Tento jev se nazývá spektrální charakteristika. Obrázek 2.4 znázorňuje přibližné spektrální charakteristiky červené a infračervené LED diody. [7] [9] [11]



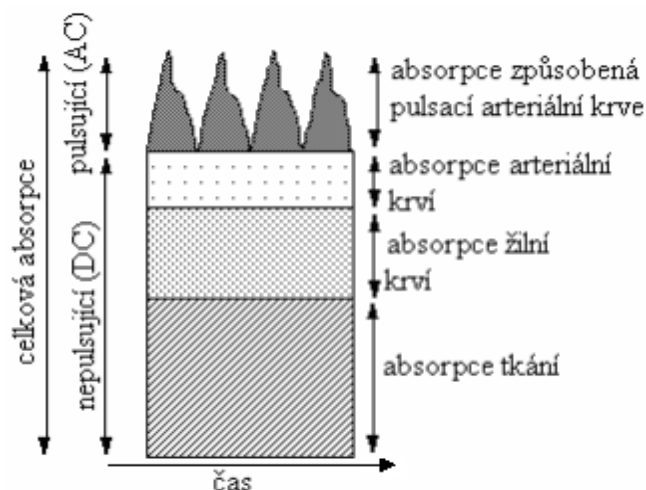
Obr. 2.4: Spektrální charakteristiky červené a infračervené LED diody [7]

2.4.2 Pulzní oxymetrie

Absorpce záření

Záření procházející měřenou tkání pohlcují všechny její složky. Ty se dělí na stálé a proměnné. Stálé bezkrevné struktury jsou kůže, nehty, svaly a kosti či jiné, které jsou pevně umístěné v měřené části tkáně. Krevní složkou stálého vlivu je žilní krev, která pod senzorem konstantně proudí a nepulzuje.

Proměnnou složku tvoří kapilární krev, jejíž objem se mění v závislosti na tepové frekvenci, dochází tudíž ke změnám absorpce záření. Oxymetrické sondy se proto umísťují na části těla, ve kterých je pod kůží hustá síť kapilár, jsou dobře přístupná a snadno prosvítitelná. Mezi taková patří konečky prstů nebo ušní lalůček. Rozložení struktur ovlivňující absorpci je na obrázku 2.5. Protože po každém pulzu zůstává v měřené tkáni i malý objem kapilární krve, je toto množství zahrnuto jako statická složka. [10]



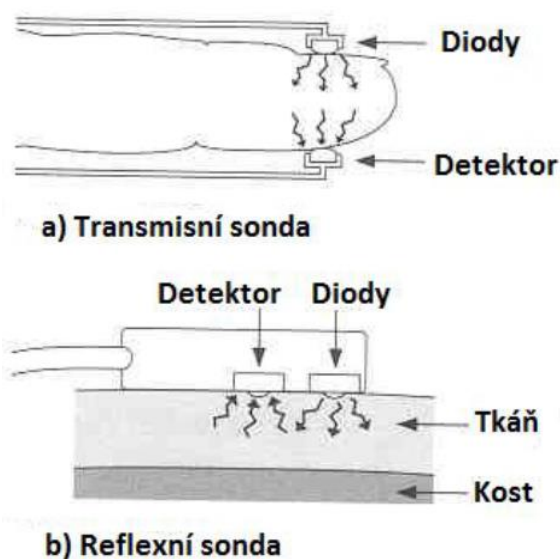
Obr. 2.5: Složky ovlivňují absorpci [11]

Sondy v pulzní oxymetrii

Dvěma základními prvky tvořícími senzor pulzního oxymetru jsou zdroj záření, kterým jsou většinou dvě LED diody, a detektor, kterým je buď fototranzistor nebo fotodioda. Dle způsobu a místa měření je dále upravena jeho konstrukce. Sondy jsou děleny na transmisní a reflexní (Obr. 2.7).

Transmisní sonda je ve většině případů tvořena klipsem, do kterého se vkládá měřená tkáň. Zdroj záření a detektor jsou umístěny naproti sobě. Záření je ze zdroje k detektoru emitováno kolmo, aby urazilo co nejkratší dráhu.

Méně často využívaným typem je reflexní sonda. Prvky sondy jsou umístěny v jedné rovině. [7] [11]

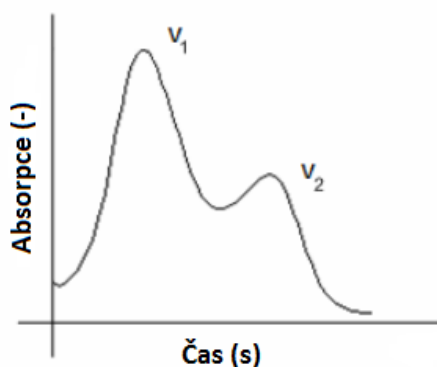


Obr. 2.7: Schéma transmisní (a) a reflexní sondy (b) [11]

Pulzní křivka

Objem arteriální krve se mění s každým stahem srdce, což zapříčiňuje změnu absorpce světla. Běžný vzhled pletysmografických křivek je znázorněn na následujícím obrázku.

Na obrázku je zachycen tvar křivky jednoho srdečního stahu. Ten vyvolá tlakovou vlnu šířící se krevním řečištěm. Tento tlakový signál vystihuje vrchol V_1 . Část krve se odrazí a vlna postupuje v opačném směru a v místě pod senzorem lze zaznamenat druhý tlakový signál, který způsobuje vrchol V_2 . Sedlo mezi těmito vrcholy se nazývá dikrotický zářez. Pomocí tohoto signálu a detekcí vrcholu V_1 lze v rámci měření sledovat tepovou frekvenci. [7] [11]



Obr. 2.7: Pletysmografická křivka [11]

Perfuzní index

Perfuzní index je relativní posouzení síly srdečního pulzu. Udává podíl nově okysličené krve, která přichází s každým srdečním pulzem, ku celkovému množství krve, které se v měřeném místě nachází. Jeho hodnoty se pohybují v rozmezí 0,02-20. Na pulzních oxymetrech Masimo se tento parametr zobrazuje jako PAI (Pulse Amplitude Index), kde výška sloupce reprezentuje sílu pulzu. Perfuzní index se dá v klinické praxi využít pro rychlé vyhodnocení vhodnosti místa aplikace senzoru pulzního oxymetru. Hodnota PI roste se silou (amplitudou) pulsu, tedy vyšší PI značí vyšší prokrvení a vhodnější místo měření. U většiny pulzních oxymetrů platí, že pokud je hodnota PI 0,4 a méně, nejsou data měřena spolehlivě nebo je měření úplně nedostupné.

Při anestezii, u dětí nebo ve stavech, kdy je narušená fyziologická stabilita těla pacienta, může změna PI upozornit na zhoršení stavu pacienta. PI je také používán jako včasné varování před selháním anestetik. Studie ukázaly, že zvýšení PI je včasným indikátorem toho, že celková nebo epidurální anestezie zahájila dilataci periferních cév, která se obvykle vyskytuje před nástupem anestézie. Klesající PI by naznačoval

nedostatek anestetického účinku. V nemocnici se pro monitorování kriticky nemocných pacientů používá index perfuze spolu s mnoha dalšími parametry. Studie ukázaly, že PI má vysokou korelaci s dobou kapilárního návratu. V novorozenecké akutní péči je nízký PI objektivní a přesný ukazatel akutních onemocnění. PI je u každého pacienta jiný a liší se i v závislosti na místě měření. Neexistuje „normální“ hodnota, spíše odráží to, co je normální pro konkrétního pacienta. [12] [4] [13] [14]

Retinopatie nedonošených

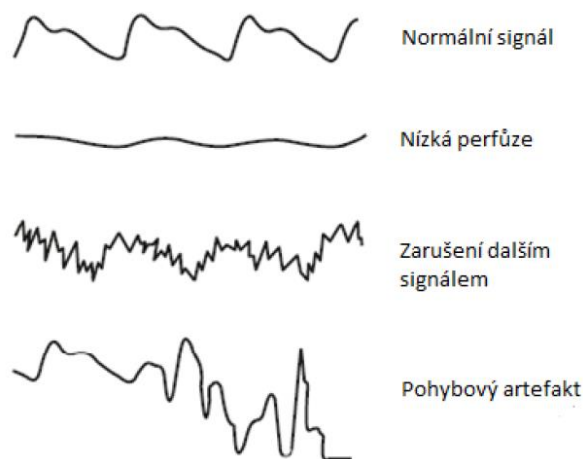
Retinopatie je onemocnění nezralé sítnice, které je způsobeno narušením standardního vývoje dítěte. Mezi rizikové faktory patří nedonošenost a nízká porodní váha a hyperoxie. Prevencí je kontrolované podávání kyslíku tak, aby k hyperoxii nedocházelo. Retinopatie je nejčastější příčinou nevidomosti. [15]

2.4.3 Omezení v pulzní oxymetrii a artefakty

Obdobně jako jiné přístroje i pulzní oxymetry jsou při měření limitovány vnějšími podmínkami. Na základě špatné interpretace výsledků pulzní oxymetrie může být chybně stanovena diagnóza a pacient ohrožen na životě. Z toho důvodu je nutné s těmito omezeními minimálně počítat, v nejlepším případě se jim úplně vyhnout.

Důležité je také zmínit, že vliv na výsledky má také přesnost přístroje. Ta klesá úměrně s hodnotou saturace arteriální krve kyslíkem. Přístroje pracují nejpřesněji v rozmezí hodnot saturace 70-100 %. Přičemž při saturaci nad 90 % je přesnost přibližně 2 %. Při poklesu saturace pod 90 % klesá přesnost na hodnotu 5-10 %. Konkrétní hodnoty přesnosti přístroje jsou vždy uvedeny v jeho návodu nebo katalogovém listu. [16] [17]

Pro tuto práci jsou nejzajímavější artefakty způsobené pohybem a nízkou perfuzí. Detailněji budou popsány níže. Z dalších neméně důležitých vlivů lze jmenovat zarušení jiným signálem [16], intoxikace organismu CO [18], porucha krevetvorby [17], zvýšený nebo vliv parazitních světelných zdrojů [11] [16]. Vliv nalakovaných či umělých nehtů je diskutabilní a názory se v literatuře velice liší. [11] Podoba pletysmografické křivky při zarušení artefakty je vidět na následujícím obrázku (Obr. 2.7).



Obr. 2.7: Tvar pletysmografické křivky při zkresení artefakty [11]

Pohybový artefakt

Pohybem měřící sondy, resp. části těla, na kterém je sonda umístěna, může být do měření vnesena značná chyba. Takový pohyb je způsoben například třesem ruky pacienta nebo otřesy při manipulaci nebo převozu pacienta. Tyto artefakty není oxymetr schopen rozeznat od fyziologické pulzace krve. Změna tvaru pletysmografické křivky také ztěžuje určení tepové frekvence. Pohybovým artefaktům se dá předejít pevnějším uchycením měřící sondy (použitím nalepovacího typu) nebo klidněním pacienta. [11] [16] [19]

Nízká perfuze

Nízké prokrvení tkání může být zapříčiněno několika vlivy. Lze jmenovat vazokonstrikci způsobenou podchlazením organismu, kdy tělo v zájmu zachování tepelného standardu omezí proudění krve do periférií a centralizuje většinu krve do svého jádra pro udržení správného fungování životně důležitých orgánů. Ke stejnému efektu dochází při ztrátě krve. Negativně perfuzi ovlivňuje i nízký krevní tlak. Slabé prokrvení tkáně pod měřící sondou zapříčiní zeslabení potřebného signálu pro správné zobrazení pletysmografické křivky a vyhodnocení měřených veličin. V konečném důsledku může dojít k nevhodnému stanovení diagnózy a léčebného postupu. Platí také, že při nízkém prokrvení jsou oxymetry citlivější na pohybové artefakty. [11] [16] [19]

2.5 Cíle práce

Nesprávná interpretace výsledků měření saturace krve kyslíkem může být fatální například při oxygenoterapii. Analýza parametru perfuzní index může pomoci jako diagnostický indikátor pro dospělé, ale i neonatologické pacienty.

Měření perfuzního indexu je zatíženo artefakty, ze kterých lze vybrat pohybový artefakt a artefakty ovlivňující periferní perfuzi. Práce si klade za cíl navrhnout a zrealizovat sadu experimentů, na jejichž základě bude možné posoudit, jak jednotlivé artefakty ovlivňují hodnoty naměřené pulzním oxymetrem, konkrétně tepovou frekvenci, saturaci krve kyslíkem a perfuzní index. Pohybový artefakt bude simulován pohybem prstu, respektive celého předloktí, na kterém bude umístěna měřicí sonda. Snížení perfuze bude způsobeno zaškrcením cévy pomocí manžety pro neinvazivní měření krevního tlaku a v druhém kroku podchlazením končetiny uchopením studeného předmětu. Zaznamenané výsledky budou dále zpracovány a komentovány.

3 Materiál a metody

Experiment byl sestaven ze zkoumání dvou vybraných vlivů: pohybový artefakt a artefakt způsobený sníženou perfuzí. Všechna měření byla prováděna současně na třech přístrojích, z nichž jeden sloužil jako referenční a byl připojen na druhou ruku než druhé dva. Celý průběh měření byl dokumentován na mobilní telefon. Měření se zúčastnilo 10 probandů z řad studentů fakulty.

3.1 Použité přístroje a software

Pro experiment bylo využito dvou přístrojů Rad-97 (Masimo Corporation, Irvine, CA). Jeden jako měřicí, druhý jako referenční přístroj. Tento model CO pulzního oxymetru je vybaven technologií Rainbow. Pro detekci jednotlivých krevních složek a fyziologických parametrů využívá záření o sedmi vlnových délkách a díky tomu s ním lze neinvazivně měřit veličiny, které dříve vyžadovaly invazivní zákrok. Mezi zmíněné parametry patří SpO₂ – měření saturace krve kyslíkem, HR – měření tepové frekvence, PI – měření parametru perfuzní index, SpHb – měření celkového hemoglobinu, SpMet – měření methemoglobinu, SpOC – měření celkového okysličení organismu (měření kyslíkové rezervy), PVi – měření dynamických změn PI během jednoho nebo více úplných respiračních cyklů, SpCO – měření karboxyhemoglobinu, RRa – měření dechové frekvence. [20] [21] [22] [23]

Jako druhý měřicí přístroj byl použit pulzní oxymetr Libra (Nellcor™, Minneapolis, MN). Tento pulzní oxymetr pracuje se zářením o dvou vlnových délkách a umí měřit pouze SpO₂, HR a amplitudu pulsu. [24] [25]

Data byla vyčítána z jednoho přístroje Masimo s frekvencí 1 Hz pomocí programu RealTerm 3.0.1.44 a ukládána v podobě textového souboru. V programu byla na záložce „Display“ vybrána možnost „Display As Ascii plain“. Tento styl vyčítání dat musel být nastaven i na pulzním oxymetru. Na záložce „Port“ programu bylo z nabídky zvoleno číslo portu, ve kterém je připojen pulzní oxymetr a modulační rychlost 921 600 baudů. Na záložce „Capture“ byla zvolena cílová složka pro ukládání textového souboru s daty a tlačítka Start a Stop Capture bylo ovládáno nahrávání záznamu. Soubor byl poté nahrán do prostředí Matlab. V připraveném scriptu se data převedla do přehledných grafů.

3.2 Popis experimentu

Po příchodu do laboratoře byly zapnuty všechny potřebné přístroje, aby došlo k jejich zahřátí na provozní teplotu. Měřicí přístroj Masimo byl připojen k počítači pomocí USB kabelu a spárován. Ve vyčítacím programu RealTerm 3.0.1.44 byly nastaveny parametry pro nahrávání záznamu z pulzního oxymetru. Proband byl na začátku měření seznámen s jeho průběhem. Za tento čas také došlo k uklidnění dýchání a tepové

frekvence probanda. Ženy nesměly mít nalakované, umělé či jinak upravené nehty. Na nehtech či bříškách ukazováků a levého prostředníku nesměla být zřetelné poškození (říznutí, puchýř aj.).

Proband v průběhu experimentu seděl v klidu na židli. Na levou paži mu byla umístěna manžeta pro neinvazivní měření krevního tlaku. Na ukazováky obou rukou byly umístěny sondy přístrojů Masimo a na prostředník ruky levé sonda pulzního oxymetru Nellcor (zobrazeno na Obr. 3.1 a 3.2). Pravá ruka sloužila jako referenční místo a na levé probíhalo experimentální měření. Pravá ruka byla vždy v klidu položena na stehně probanda.

Celé měření bylo dokumentováno videozáznamem, na kterém byly mluveným komentářem označeny začátky a konce jednotlivých experimentálních úseků. Tyto komentáře společně s ručně psanými poznámkami sloužily pro lepší orientaci v sadách dat při vyhodnocování

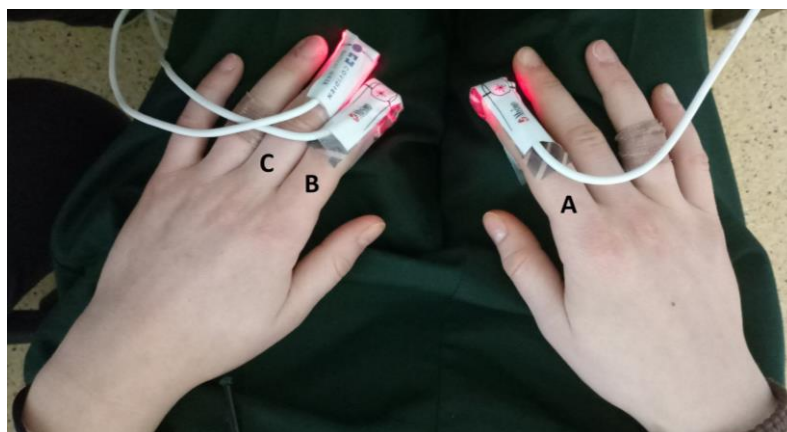
3.2.1 Průběh měření

Proband měl obě ruce položeny na stehnech. Došlo k naměření první sady dat hodnot saturace krve kyslíkem, tepové frekvence a perfuzního indexu (1 minuta).

Proband začal hýbat levou rukou: na začátku ruka flexovaná v lokti na přibližně 90 ° a položená na stehně, loket bude přitisknut k boku, zápěstí bude v extenzi s úhlem přibližně 180 ° a dlaň je ve vertikální rovině (malíkovou stranou dolů). Pohyb byl prováděn pouze ve vertikální rovině s rozsahem $\pm 40^\circ$ a frekvencí 1 Hz (tedy 1x za sekundu). V této části experimentu bylo nutné zajistit, aby kabel SpO₂ sondy byl dostatečně volný, aby nebránil v pohybu a neovlivňoval pozici sondy. Měření vlivu pohybového artefaktu probíhalo 2 minuty, poté proband opět položil ruku na stehno a vyčkalo se na ustálení měřených veličin (přibližně minutu).

Spustilo se měření krevního tlaku automatickým tonometrem. Jeden cyklus nafouknutí a vypuštění manžety a s tím spojené zaškrcení cévy a snížení perfuze periferie trval 40 vteřin. Po dokončení této části experimentu bylo třeba vyčkat alespoň 4 minuty na plnou regeneraci sevřené cévy a obnovení cirkulace krve končetinou, aby nedošlo k ovlivnění dalších výsledků.

Proband sevřel do dlaně měřené ruky láhev se zmrzlou vodou a druhá mu byla přiložena na hřbet prstů. Po tento čas probíhala vazokonstrikce a zmenší se perfuze tkání ruky. Délka této části experimentu byla 2 minuty. Poté se odstranily chladné předměty z probandovy končetiny a on ještě setrval 1 minutu do konce měření v klidu. Měření se ukončilo. Naměřená data byla uložena k dalšímu zpracování.



Obr. 3.1: Umístění sond pulzních oxymetrů: A) Masimo referenční, B) Masimo měřící, C) Nellcor měřící



Obr. 3.2: Použité pulzní oxymetry: A) Masimo referenční, B) Masimo měřící, C) Nellcor měřící

3.3 Prezentace a hodnocení výsledků měření

Vyhodnocení naměřených dat probíhalo vizuálně z pořízeného záznamu. Ze záznamu byly v ekvivalentních krocích vždy odečteny hodnoty SpO₂, HR a v případě přístrojů Masimo i hodnoty PI. Pomocí značek ↑, ↓, 0 a - bylo hodnoceno, zda zkoumaná veličina v průběhu měření rostla nebo klesala (vztaženo k počátečním hodnotám – před začátkem měření byl proband v klidu) a případně bude uveden rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou, neměnila svou hodnotu nebo nebyla vlivem artefaktu změřena. U hodnocení SpO₂ byly změny započítány od rozdílu o 1 %, u hodnot HR o 5 tepů za minutu a u PI při změně o 0,1. Délka měření je popsána výše a zaznamenané okamžiky byly vždy po 5 sekundách. Vyhodnocení experimentů bylo pro snadné porovnání vypsáno do shrnujících tabulek. Konkrétní číselné hodnoty a grafické zpracování výsledků z přístroje Masimo jsou uvedeny v Příloze A-D této práce.

4 Výsledky

Výsledky jsou prezentovány pomocí tabulek s popisem chování veličiny a dle metodiky jsou rozděleny do kapitol podle jednotlivých zkoumaných artefaktů. V první části jsou tabulky pro jednotlivé probandy a na konci kapitoly se nachází tabulky, které shrnují získané poznatky.

4.1 Výsledky experimentu – pohybový artefakt

Výsledné hodnocení dat získaných po dobu simulace pohybového artefaktu jsou jednotlivě pro každého probanda uvedeny níže.

Tabulka č. 1: Pohybový artefakt – proband 1

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	↑ o 3	↑ o 9
HR (tepů/min)	↑ poté ↓ o 10	Kolísavě ↑ i ↓ o 22	↑ poté ↓ o 9
PI (-)	↑ o 0,6	0	Neměřeno

Tabulka č. 2: Pohybový artefakt – proband 2

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	0
HR (tepů/min)	↑ o 9	↑ o 20	↑ o 6
PI (-)	↓ o 1,3	↓ o 0,1	Neměřeno

Tabulka č. 3: Pohybový artefakt – proband 3

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	0
HR (tepů/min)	0	0	0
PI (-)	↓ o 0,3	0	Neměřeno

Tabulka č. 4: Pohybový artefakt – proband 4

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	↓ o 3
HR (tepů/min)	0	↑ o 11	↑ o 7
PI (-)	↓ o 0,12	0	Neměřeno

Tabulka č. 5: Pohybový artefakt – proband 5

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	0
HR (tepů/min)	↑ o 9	↑ o 20	↑ o 6
PI (-)	↓ o 1,3	↓ o 0,1	Neměřeno

Tabulka č. 6: Pohybový artefakt – proband 6

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	↓ poté ↑ o 11
HR (tepů/min)	↑ o 10	Kolísavě ↑ i ↓ o 12	↑ o 19
PI (-)	↓ o 0,6	0	Neměřeno

Tabulka č. 7: Pohybový artefakt – proband 7

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	0
HR (tepů/min)	Kolísavě ↑ i ↓ o 15	Kolísavě ↑ i ↓ o 17	↓ o 8
PI (-)	↑ o 1,32	↑ o 0,8	Neměřeno

Tabulka č. 8: Pohybový artefakt – proband 8

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	0
HR (tepů/min)	0	0	0
PI (-)	↓ o 0,3	0	Neměřeno

Tabulka č. 9: Pohybový artefakt – proband 9

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	Kolísavě ↑ i ↓ o 7
HR (tepů/min)	↑ o 8	↑ o 8	0
PI (-)	↑ o 0,42	0	Neměřeno

Tabulka č. 10: Pohybový artefakt – proband 10

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	↓ poté ↑ o 2	↑ poté ↓ o 2	Kolísavě ↑ i ↓ o 5
HR (tepů/min)	Kolísavě ↑ i ↓ o 9	Kolísavě ↑ i ↓ o 18	0
PI (-)	↑ o 0,3	0	Neměřeno

4.2 Výsledky experimentu – snížení perfuze zaškrcením cévy

Výsledné hodnocení dat získaných po dobu simulace artefaktu snížení perfuze zaškrcením cévy jsou jednotlivě pro každého probanda uvedeny níže.

Tabulka č.1: Zaškrcení cévy – proband 1

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	↓ o 6	↓ o 4
HR (tepů/min)	0	0	0
PI (-)	↑ poté ↓ o 0,4	↑ poté ↓ o 0,1	Neměřeno

Tabulka č. 12: Zaškrcení cévy – proband 2

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	↓ o 3
HR (tepů/min)	↓ o 6	↓ o 9	0
PI (-)	↓ o 0,7	↓ o 0,1	Neměřeno

Tabulka č. 13: Zaškrcení cévy – proband 3

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	↓ o 3
HR (tepů/min)	↓ o 10	↓ o 9	↓ o 9
PI (-)	↓ o 0,1	↓ o 0,2	Neměřeno

Tabulka č. 14: Zaškrcení cévy – proband 4

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	-	↓ o 10
HR (tepů/min)	↓ o 10	-	↓ o 9
PI (-)	↓ o 0,36	-	Neměřeno

Tabulka č. 15: Zaškrcení cévy – proband 5

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	↓ o 3
HR (tepů/min)	↓ o 6	↓ o 9	0
PI (-)	↓ o 0,7	↓ o 0,1	Neměřeno

Tabulka č. 16: Zaškrcení cévy – proband 6

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	-	0
HR (tepů/min)	0	-	0
PI (-)	↓ o 0,3	-	Neměřeno

Tabulka č. 17: Zaškrcení cévy – proband 7

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	-	↑ o 4
HR (tepů/min)	0	-	0
PI (-)	↓ o 0,8	-	Neměřeno

Tabulka č. 18: Zaškrcení cévy – proband 8

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	↓ o 3
HR (tepů/min)	↓ o 10	↓ o 9	↓ o 9
PI (-)	↓ o 0,1	↓ o 0,2	Neměřeno

Tabulka č. 19: Zaškrcení cévy – proband 9

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	-	↓ poté ↑ o 3
HR (tepů/min)	0	-	0
PI (-)	↓ o 0,2	-	Neměřeno

Tabulka č. 20: Zaškrcení cévy – proband 10

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	-	0
HR (tepů/min)	↓ o 7	-	0
PI (-)	↓ o 0,3	-	Neměřeno

4.3 Výsledky experimentu – snížení perfuze podchlazením

Výsledné hodnocení dat získaných po dobu simulace artefaktu snížení perfuze podchlazením končetiny jsou jednotlivě pro každého probanda uvedeny níže.

Tabulka č. 21: Podchlazení končetiny – proband 1

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	0
HR (tepů/min)	↑ poté ↓ o 10	↑ poté ↓ o 7	Kolísavě ↑ i ↓ o 7
PI (-)	↑ o 1,3	↑ poté ↓ o 3,2	Neměřeno

Tabulka č. 22: Podchlazení končetiny – proband 2

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	↑ o 3	-	↑ o 4
HR (tepů/min)	↑ o 12	-	↑ o 15
PI (-)	↓ o 1,77	-	Neměřeno

Tabulka č. 23: Podchlazení končetiny – proband 3

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	↑ o 3
HR (tepů/min)	0	0	0
PI (-)	↓ o 0,5	↑ o 0,5	Neměřeno

Tabulka č. 24: Podchlazení končetiny – proband 4

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	↑ o 2	↑ o 2	↑ o 4
HR (tepů/min)	Kolísavě ↑ i ↓ o 12	Kolísavě ↑ i ↓ o 11	↑ i ↓ o 11
PI (-)	↓ poté ↑ o 0,32	↓ poté ↑ o 0,51	Neměřeno

Tabulka č. 25: Podchlazení končetiny – proband 5

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	↑ o 3	-	↑ o 4
HR (tepů/min)	↑ o 12	-	↑ o 15
PI (-)	↓ o 1,77	-	Neměřeno

Tabulka č. 26: Podchlazení končetiny – proband 6

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	-	0
HR (tepů/min)	Kolísavě ↑ i ↓ o 8	-	0
PI (-)	↓ poté ↑ o 1,02	-	Neměřeno

Tabulka č. 27: Podchlazení končetiny – proband 7

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	0
HR (tepů/min)	↓ poté ↑ o 12	↓ poté ↑ o 13	↓ poté ↑ o 12
PI (-)	↑ poté ↓ o 0,26	↑ o 0,45	Neměřeno

Tabulka č. 28: Podchlazení končetiny – proband 8

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	↑ o 3
HR (tepů/min)	0	0	0
PI (-)	↓ o 0,5	↑ o 0,5	Neměřeno

Tabulka č. 29: Podchlazení končetiny – proband 9

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	0	0
HR (tepů/min)	Kolísavě ↑ i ↓ o 13	↓ poté ↑ o 16	↓ poté ↑ o 15
PI (-)	Kolísavě ↑ i ↓ o 0,26	↓ o 0,5	Neměřeno

Tabulka č. 30: Podchlazení končetiny – proband 10

	Reference	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0	↑ o 2	0
HR (tepů/min)	Kolísavě ↑ i ↓ o 10	Kolísavě ↑ i ↓ o 8	Kolísavě ↑ i ↓ o 12
PI (-)	↓ o 0,7	↓ o 0,5	Neměřeno

4.4 Výsledky experimentu – celkové zhodnocení

V této kapitole jsou uvedeny tabulky, které shrnují chování měřených veličin v průběhu simulace artefaktů. Konkrétněji jsou data komentována v diskuzi (kap. 5).

Tabulka č. 31: Pohybový artefakt

	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0 (max. změna o 2-3 ↑ i ↓)	Kolísavě
HR (tepů/min)	↑ (max. změna o 22)	↑ (max. změna o 19)
PI (-)	0 (max. změna o 0,1 ↓ a 0,5 ↑)	Neměřeno

Tabulka č. 32: Zaškrcené cévy

	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0 (max. změna o 6 ↓)	↓ (max. změna o 10)
HR (tepů/min)	↓ (max. změna o 9)	0 (max. změna o 9 ↓)
PI (-)	↓ (max. změna o 0,2)	Neměřeno
Pozn.	4x nezměřeno	

Tabulka č. 33: Podchlazení ruky

	Masimo	Nellcor
SpO ₂ (%)	0 (max. změna o 2 ↑)	↑ (max. změna o 4)
HR (tepů/min)	Kolísavě	Kolísavě
PI (-)	Kolísavě	Neměřeno
Pozn.	3x nezměřeno	

5 Diskuse

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout a realizovat experiment pro analýzu parametrů saturace krve kyslíkem, tepová frekvence a perfuzní index. Experiment se skládal ze simulace tří artefaktů, konkrétně pohybového artefaktu a snížení perfuze zaškrcením cévy a podchlazením měřené končetiny, a byly využity přístroje Rad-97 firmy Masimo a Libra od výrobce Nellcor.

V první části experimentu byl simulován pohybový artefakt senzoru, resp. končetiny, na které byl senzor umístěn. Tento artefakt je v klinické praxi přítomný například při převozu pacienta, a proto je považován za důležitý. Naměřená data jsou shrnuta do tabulek v Příloze A a jejich hodnocení lze sledovat v kapitole 4.1. a v tabulce č. 31. v kapitole 4.4. Přístroj Masimo byl při měření saturace a PI velice stabilní. Saturace se během měření měnila pouze u dvou probandů a od stabilní hodnoty se odchýlila maximálně o 3 % podobně jako hodnoty referenčního měření. Hodnota perfuzního indexu byla také téměř neměnná. U dvou probandů došlo k poklesu hodnoty PI o 0,1 a u jednoho k diskrétnímu nárůstu o 0,5. Hodnoty tepové frekvence se při pohybu senzoru zvyšovaly, a to jak u přístroje Masimo (až o 22 tepů/min) tak zařízení Nellcor (až o 19 tepů/min). Zařízení Nellcor vykazovalo nejednoznačný průběh při měření saturace (viz Tabulka č. 31). U jednoho probanda se saturace kolísavě měnila v rozmezí 11 %.

Druhá část experimentu se zabývala měřením za snížené perfuze periferních tkání. Tohoto jevu bylo dosaženo nejprve zaškrcením paže pomocí nafukovací manžety automatického tonometru a posléze podchlazením končetiny. Tabulky v příloze B prezentují hodnoty saturace, tepové frekvence a perfuzního indexu naměřené při zaškrcení paže a vyhodnocením těchto dat se zabývá kapitola 4.2. Shrnutí výsledků je v tabulce č. 32 v kapitole 4.4. V této části experimentu došlo u přístroje Masimo 4x k výpadku měření z důvodu příliš nízké perfuze. Na display přístroje bylo znát utlumení pletysmografické křivky až její úplné vymizení. U oxymetru Nellcor byly patrné změny ve tvaru pletysmografické křivky a přístroj tyto odchylky vyhodnotil jako pohybové artefakty. V případech, kdy měření proběhlo bez výpadku, vykazoval přístroj Masimo při měření saturace stabilní hodnoty. Oproti němu u přístroje Nellcor došlo u osmi probandů k naměření klesající hodnoty saturace, a to v průměru o 4,6 %. Tepová frekvence byla naměřena přístrojem Nellcor ve dvou případech z deseti s poklesem o 9 tepů/min. U ostatních probandů byla tepová frekvence stabilní. Oxymetr Masimo vykazoval stejný

pokles měřené veličiny u čtyř ze šesti naměřených probandů. Parametr PI se působením zaškrcení snižoval o 0,1-0,2

Druhým způsobem snížení perfuze bylo podchlazení končetiny. Toho bylo docíleno uchopením láhve se zmrzlou vodou do dlaně a přiložením druhé lahve na hřbet prstů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách v Příloze C a jejich hodnocení prezentuje kapitola 4.3. Celkově poslední část experimentu shrnuje tabulka č. 33 v kapitole 4.4. I v této části měření oxymetr Masimo 3x přerušil měření kvůli nedostatečné perfuzi a přístroj Nellcor zaznamenal nepřesnosti v měření jako pohybové artefakty. Saturace byla přístrojem Masimo měřena stabilně, pouze u dvou probandů (ze sedmi) došlo k nárůstu o 2 %. U oxymetru Nellcor byl nárůst hodnot vyšší, a to o 3-4 %. Vyhodnocení měření tepové frekvence je velice nejednoznačné. U obou přístrojů docházelo k výraznému kolísání měřené veličiny. Perfuzní index u třech probandů klesl a u třech stoupl o přibližně 0,5. U jednoho probanda byl rozdíl naměřených hodnot 3,2.

Experimentem a jeho vyhodnocením byl dokázán nemalý vliv artefaktů na výsledky měření. Moderní přístroje umí artefakty sami odhalit a upozornit na ně. Správné měření a interpretace výsledků pulzní oxymetrie je důležité pro klinickou praxi. Vhodně se této metody využívá například u neonatologických pacientů.

6 Závěr

Výsledkem práce je analýza veličin měřených pulzním oxymetrem při simulovaných artefaktech. Zkoumané veličiny byly: saturace krve kyslíkem, tepová frekvence a perfuzní index. Artefakty byly zvoleny dva, resp. tři: pohybový artefakt simulovaný pohybem horní končetiny se senzorem a snížení perfuze periferní tkáně způsobené zaškrcením cévy a podchlazením končetiny poblíž senzoru. Pro experiment byly využity přístroje dostupné na FBMI, konkrétně Rad-97 od firmy Masimo a Libra výrobce Nellcor. Experimentem byl dokázán vliv artefaktů na měření. Výsledky experimentu jsou uvedeny v kapitole 4.

Správné měření saturace krve kyslíkem může je užitečný pomocný diagnostický parametr plicních onemocnění a pro svou jednoduchost se klasicky využívá jako monitoring na jednotkách intenzivní péče a při zákrocích vyžadujících anestezii. Své uplatnění nachází i v neonatologické péči. Předcházením hyperoxii se lze vyhnout retinopatii, které u nedonošených dětí zapříčiňuje slepotu.

Seznam použité literatury

- [1] MOUREK, Jindřich. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. 2., dopl. vyd. Praha: Grada, 2012. Sestra (Grada). ISBN ISBN978-80-247-3918-2.
- [2] VOKURKA, Martin. *Patofyziologie pro nelékařské směry*. 3., upr. vyd. Praha: Karolinum, 2012. ISBN ISBN 978-80-247-3918-2.
- [3] KAMAT, Vijaylakshm. Pulse Oxymetry. *INDIAN JOURNAL OF ANAESTHESIA* [online]. 2002, **46**(4), 261-268 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://medind.nic.in/iad/t02/i4/iadt02i4p261.pdf>
- [4] Perfuzní index. *Oxymetr, saturace pod kontrolou* [online]. b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.oxymetr.cz/perfuzni-index.htm>
- [5] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
- [6] Transport kyslíku krví. *WikiSkripta* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Transport_kyslíku_krví
- [7] SYNEK, Josef. *PULSNÍ OXYMETR V LABVIEW* [online]. Brno, 2010 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30333. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [8] *Lékařská fyziologie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-.
- [9] PENHAKER, Marek. *Lékařské diagnostické přístroje: učební texty*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0751-3.
- [10] SINEX, James E. *Pulse oximetry: Principles and limitations*. b.r., , -. DOI: 10.1016/S0735-6757(99)90019-0. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0735675799900190>
- [11] ANTOŠ, Adam. *Vliv artefaktů na přesnost měření pulzních oxymetrů*. Kladno, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [12] Co je Perfúzní Index. *Zdraví a Nemoc* [online]. b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://cs.winesino.com/conditions-treatments/cardiovascular-disease/1010033023.html>
- [13] What is Perfusion Index (PI). *AmperorDirect* [online]. b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.amperordirect.com/pc/help-pulse-oximeter/z-what-is-pi.html>

- [14] Perfusion Index (PI). In: *Infiniti* [online]. b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: http://www.infiniti.se/upload/servicemanual/masimo/beskrivning_piwhite%20paper.pdf
- [15] Retinopatie nedonošených. In: *WikiSkripta* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Retinopatie_nedonošených
- [16] ERBEN, Josef. *Hodnocení působení externích vlivů na průběh a výstup měření saturace hemoglobinu pulzním oxymetrem* [online]. Liberec, 2017 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/21890/BP_Erben.pdf?sequence=1.
Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [17] ŠEBLOVÁ, Jana a Jiří KNOR. *Urgentní medicína v klinické praxi lékaře*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4434-6.
- [18] DOBIÁŠ, Viliam. *Klinická propedeutika v urgentní medicíně*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4571-8.
- [19] AMAL, Jubran. Pulse Oxymetry. *Critical Care* [online]. b.r., 1999, 12-17 [cit. 2018-05-17]. ISSN 1364-8535. Dostupné z: <https://ccforum.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/cc341>
- [20] Rad-97 Family. *Masimo* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.masimo.com/products/continuous/rad97-family/>
- [21] Rad-97. *Masimo* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.masimo.com/products/continuous/rad97/>
- [22] Upgradable rainbow SET Technology Platform. *Masimo* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.masimo.com/technology/co-oximetry/rainbow/>
- [23] Masimo. In: *Wikipedia, The Free Encyklopedia* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Masimo>
- [24] Nellcor SpO₂ monitorovací systém pro pacienta u lůžka. In: *Medtronic* [online]. b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: http://www.medtronic.com/content/dam/covidien/library/us/cs/product/pulse-oximetry/BedsideSpO2_OperatorsManual_CZ_10006043B00.pdf
- [25] Nellcor™ Bedside SpO₂ Patient Monitoring System. *Medtronic* [online]. b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.medtronic.com/covidien/en-us/products/pulse-oximetry/nellcor-bedside-spo2-patient-monitoring-system.html>

Příloha A: Hodnoty při pohybovém artefaktu

Tabulka č. 34: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 1

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	96	65	1,4	95	65	1,2	95	65
5	97	66	1,4	96	67	1,2	95	66
10	97	69	1,4	96	67	1,2	95	68
15	96	72	1,3	96	69	1,2	96	69
20	96	73	1,3	96	69	1,2	97	70
25	96	73	1,3	96	69	1,2	98	71
30	96	73	1,3	96	68	1,2	98	73
35	97	74	1,3	97	64	1,2	97	74
40	97	75	1,3	98	59	1,2	96	74
45	96	74	1,3	98	53	1,2	97	73
50	96	72	1,3	98	53	1,2	97	72
55	96	71	1,3	98	54	1,2	97	72
60	96	72	1,4	98	55	1,2	98	72
65	96	73	1,4	98	73	1,2	97	71
70	97	70	1,4	98	73	1,2	97	70
75	97	68	1,5	98	73	1,2	97	69
80	97	68	1,6	98	73	1,2	97	68
85	97	68	1,7	98	73	1,2	97	68
90	96	68	1,8	98	73	1,2	97	67
95	96	69	1,8	98	71	1,2	97	67
100	97	67	1,8	98	61	1,2	97	69
105	97	68	1,9	98	53	1,2	97	68
110	97	70	1,9	98	51	1,2	97	70
115	97	68	1,9	98	53	1,2	97	68

Tabulka č. 35: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 2

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	68	2,5	96	68	3,5	96	70
5	93	73	2,5	96	71	3,5	96	73
10	93	74	2,5	97	72	3,5	96	73
15	93	74	2,4	97	74	3,5	97	73
20	94	73	2,3	97	72	3,5	96	73
25	94	72	2,0	96	74	3,5	97	73
30	93	72	1,6	96	73	3,5	97	72
35	93	71	1,3	97	72	3,5	97	71
40	93	71	1,3	97	72	3,5	97	72
45	94	71	1,2	97	71	3,5	96	73
50	94	72	1,3	97	70	3,5	96	72
55	93	73	1,4	96	68	3,5	96	74
60	93	74	1,6	96	69	3,5	96	74
65	93	74	1,7	96	69	3,5	96	73
70	93	75	1,7	96	61	3,5	96	76
75	93	77	1,7	96	58	3,5	96	76
80	93	74	1,7	96	62	3,5	96	76
85	93	73	1,6	96	66	3,5	96	75
90	93	74	1,6	96	69	3,5	96	73
95	93	74	1,6	96	70	3,5	96	74
100	93	74	1,6	96	76	3,5	96	74
105	93	77	1,6	96	78	3,4	96	75
110	93	72	1,6	96	76	3,4	96	73
115	93	72	1,6	96	73	3,4	96	73

Tabulka č. 36: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 3

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	92	70	1,6	95	69	2,1	96	70
5	93	71	1,6	96	68	2,1	95	72
10	93	71	1,6	96	68	2,1	95	72
15	93	72	1,5	96	69	2,1	96	72
20	93	71	1,5	96	69	2,1	96	72
25	93	70	1,4	95	69	2,1	96	73
30	93	72	1,4	95	69	2,1	96	72
35	92	74	1,4	95	69	2,1	95	71
40	92	73	1,4	95	69	2,1	95	72
45	92	73	1,4	95	69	2,1	95	72
50	92	73	1,5	95	70	2,1	95	72
55	92	73	1,6	95	71	2,1	95	73
60	92	74	1,6	95	71	2,1	95	73
65	92	75	1,6	95	71	2,1	95	73
70	92	73	1,6	95	70	2,1	95	73
75	92	71	1,5	95	68	2,1	96	74
80	92	73	1,4	95	70	2,1	96	74
85	93	74	1,3	95	70	2,1	95	74
90	93	71	1,3	95	70	2,1	95	74
95	93	71	1,3	95	70	2,1	95	73
100	93	71	1,3	95	70	2,1	95	73
105	92	71	1,3	95	69	2,1	95	73
110	92	72	1,3	95	70	2,1	95	73
115	92	72	1,4	95	71	2,1	95	73

Tabulka č. 37: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 4

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	97	84	0,88	97	79	1,3	97	82
5	98	80	0,87	98	79	1,3	94	82
10	97	80	0,87	98	82	1,3	95	82
15	97	80	0,87	98	87	1,3	96	83
20	97	80	0,85	98	86	1,3	96	83
25	98	80	0,82	98	86	1,3	96	83
30	98	79	0,80	98	86	1,3	96	84
35	97	79	0,78	98	86	1,3	96	85
40	97	80	0,78	98	82	1,3	96	87
45	97	80	0,78	98	78	1,3	95	87
50	97	80	0,78	98	82	1,3	95	87
55	97	80	0,78	98	82	1,3	96	86
60	97	80	0,77	98	82	1,3	96	87
65	97	79	0,77	97	79	1,3	97	87
70	97	79	0,76	97	77	1,3	96	87
75	98	79	0,76	98	76	1,3	96	87
80	98	79	0,76	98	80	1,3	95	87
85	98	80	0,76	98	84	1,3	95	87
90	98	82	0,76	98	85	1,3	96	87
95	97	84	0,76	98	86	1,3	94	87
100	97	83	0,76	98	85	1,3	95	87
105	97	83	0,76	98	85	1,3	94	88
110	97	83	0,76	98	84	1,3	94	89
115	97	84	0,76	97	79	1,3	94	89

Tabulka č. 38: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 5

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	68	2,5	96	68	3,5	96	70
5	93	73	2,5	96	71	3,5	96	73
10	93	74	2,5	97	72	3,5	96	73
15	93	74	2,4	97	74	3,5	97	73
20	94	73	2,3	97	72	3,5	96	73
25	94	72	2,0	96	74	3,5	97	73
30	93	72	1,6	96	73	3,5	97	72
35	93	71	1,3	97	72	3,5	97	71
40	93	71	1,3	97	72	3,5	97	72
45	94	71	1,2	97	71	3,5	96	73
50	94	72	1,3	97	70	3,5	96	72
55	93	73	1,4	96	68	3,5	96	74
60	93	74	1,6	96	69	3,5	96	74
65	93	74	1,7	96	69	3,5	96	73
70	93	75	1,7	96	61	3,5	96	76
75	93	77	1,7	96	58	3,5	96	76
80	93	74	1,7	96	62	3,5	96	76
85	93	73	1,6	96	66	3,5	96	75
90	93	74	1,6	96	69	3,5	96	73
95	93	74	1,6	96	70	3,5	96	74
100	93	74	1,6	96	76	3,5	96	74
105	93	77	1,6	96	78	3,4	96	75
110	93	72	1,6	96	76	3,4	96	73
115	93	72	1,6	96	73	3,4	96	73

Tabulka č. 39: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 6

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	98	103	2,2	98	102	1,6	99	102
5	98	104	2,2	98	99	1,6	99	99
10	98	104	1,7	98	105	1,6	99	99
15	99	105	1,7	98	110	1,6	100	98
20	99	105	1,7	98	107	1,6	100	98
25	99	105	1,7	98	106	1,6	100	98
30	99	105	1,7	98	106	1,6	100	100
35	99	107	1,7	99	107	1,6	100	103
40	99	107	1,7	99	106	1,6	95	105
45	98	109	1,7	98	106	1,6	89	107
50	98	109	1,7	98	108	1,6	90	108
55	98	109	1,7	98	109	1,6	95	111
60	98	110	1,7	98	110	1,6	96	111
65	98	110	1,7	98	111	1,6	97	112
70	98	110	1,7	98	110	1,6	97	111
75	98	110	1,6	98	108	1,6	96	111
80	98	110	1,6	98	108	1,6	96	111
85	98	110	1,6	98	108	1,6	96	111
90	98	110	1,6	98	108	1,6	96	113
95	98	111	1,6	98	110	1,6	96	114
100	98	111	1,6	98	109	1,6	97	113
105	98	111	1,6	98	109	1,6	98	113
110	98	111	1,6	98	109	1,6	98	115
115	98	113	1,6	98	108	1,6	98	117

Tabulka č. 40: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 7

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	98	84	0,78	98	83	0,8	97	82
5	98	84	0,78	98	85	0,81	98	81
10	98	84	0,78	98	85	0,81	98	81
15	98	84	0,78	98	85	0,81	98	81
20	98	80	0,78	98	80	0,81	98	81
25	98	79	0,78	98	79	0,81	97	80
30	98	75	0,80	98	76	0,81	97	79
35	99	76	0,89	99	75	0,81	97	77
40	99	75	0,90	99	75	0,81	97	76
45	99	75	0,95	99	75	0,81	98	75
50	99	74	0,97	99	75	0,81	98	74
55	99	73	0,97	99	74	0,81	98	74
60	99	74	1,0	99	72	0,9	98	74
65	99	74	1,1	99	72	0,92	98	74
70	99	80	1,4	99	80	1,1	98	74
75	99	88	1,6	99	89	1,3	98	74
80	99	86	1,7	99	86	1,3	98	75
85	98	86	1,7	99	85	1,5	98	76
90	98	85	1,7	99	84	1,5	98	77
95	98	82	1,7	99	81	1,5	98	78
100	98	80	1,8	99	81	1,5	98	77
105	98	79	1,8	99	81	1,6	98	77
110	98	76	1,9	99	80	1,6	98	77
115	98	75	2,1	99	76	1,6	98	76

Tabulka č. 41: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 8

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	92	70	1,6	95	69	2,1	96	70
5	93	71	1,6	96	68	2,1	95	72
10	93	71	1,6	96	68	2,1	95	72
15	93	72	1,5	96	69	2,1	96	72
20	93	71	1,5	96	69	2,1	96	72
25	93	70	1,4	95	69	2,1	96	73
30	93	72	1,4	95	69	2,1	96	72
35	92	74	1,4	95	69	2,1	95	71
40	92	73	1,4	95	69	2,1	95	72
45	92	73	1,4	95	69	2,1	95	72
50	92	73	1,5	95	70	2,1	95	72
55	92	73	1,6	95	71	2,1	95	73
60	92	74	1,6	95	71	2,1	95	73
65	92	75	1,6	95	71	2,1	95	73
70	92	73	1,6	95	70	2,1	95	73
75	92	71	1,5	95	68	2,1	96	74
80	92	73	1,4	95	70	2,1	96	74
85	93	74	1,3	95	70	2,1	95	74
90	93	71	1,3	95	70	2,1	95	74
95	93	71	1,3	95	70	2,1	95	73
100	93	71	1,3	95	70	2,1	95	73
105	92	71	1,3	95	69	2,1	95	73
110	92	72	1,3	95	70	2,1	95	73
115	92	72	1,4	95	71	2,1	95	73

Tabulka č. 42: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 9

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	99	71	0,79	98	71	1,1	97	74
5	99	72	0,79	99	74	1,1	96	74
10	99	73	0,78	99	74	1,1	97	74
15	99	73	0,78	99	74	1,1	97	74
20	99	73	0,8	99	74	1,1	97	74
25	99	73	0,82	98	74	1,1	97	74
30	99	72	0,85	98	74	1,1	98	74
35	99	71	0,89	99	73	1,1	100	74
40	99	71	1,0	99	73	1,1	98	74
45	99	71	1,2	98	72	1,1	97	74
50	99	71	1,2	98	72	1,1	98	74
55	99	72	1,2	98	72	1,1	99	74
60	99	72	1,2	98	71	1,1	97	74
65	99	73	1,2	99	70	1,1	96	74
70	99	74	1,2	99	72	1,1	95	75
75	99	75	1,2	98	73	1,1	93	75
80	99	77	1,2	98	75	1,1	95	77
85	99	79	1,2	98	76	1,1	98	79
90	99	79	1,2	98	77	1,1	98	79
95	99	79	1,3	98	77	1,1	97	79
100	99	78	1,3	98	78	1,1	97	79
105	99	76	1,3	98	78	1,1	96	79
110	98	75	1,4	98	76	1,1	96	79
115	98	73	1,4	98	73	1,1	96	79

Tabulka č. 43: Hodnoty naměřené při pohybovém artefaktu u probanda 10

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	98	78	1,2	98	76	0,89	97	80
5	98	81	1,2	98	76	0,89	97	80
10	97	81	1,2	98	80	0,89	97	80
15	96	81	1,2	98	85	0,89	97	80
20	97	81	1,2	98	86	0,89	97	80
25	97	81	1,2	98	88	0,89	97	81
30	96	82	1,2	98	88	0,89	99	81
35	96	83	1,2	98	88	0,89	100	83
40	96	84	1,2	98	88	0,89	100	82
45	96	84	1,2	99	87	0,89	95	80
50	96	84	1,2	99	86	0,89	96	82
55	97	82	1,4	99	85	0,89	98	81
60	97	86	1,4	100	84	0,89	99	80
65	97	87	1,4	100	82	0,89	99	80
70	97	86	1,4	100	84	0,89	99	80
75	97	85	1,4	100	83	0,89	98	80
80	96	84	1,4	100	87	0,89	99	80
85	96	84	1,4	100	89	0,89	98	80
90	98	80	1,4	100	90	0,89	98	80
95	98	79	1,4	99	94	0,89	98	80
100	98	80	1,4	99	91	0,89	98	80
105	98	86	1,5	98	92	0,89	98	80
110	98	86	1,5	98	91	0,89	99	80
115	98	86	1,5	98	91	0,89	100	80

Příloha B: Hodnoty při zaškrcení cévy

Tabulka č. 44: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 1

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	97	62	1,7	96	62	1,6	97	61
5	97	60	1,9	96	60	1,6	96	62
10	97	63	2,1	96	62	1,7	95	62
15	97	63	2,1	95	63	1,7	95	61
20	97	61	2,1	95	63	1,7	93	59
25	96	61	2,0	95	60	1,7	94	61
30	96	61	1,9	93	60	1,7	94	61
35	97	62	1,9	90	60	1,6	94	62
40	97	62	1,9	91	62	1,6	94	61

Tabulka č. 45: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 2

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	72	2,0	95	72	3,3	96	72
5	93	73	2,1	95	72	3,3	96	71
10	93	72	2,1	95	72	3,3	96	71
15	93	72	2,1	96	72	3,3	95	72
20	93	70	2,1	95	71	3,2	94	70
25	93	68	2,1	95	69	3,2	94	70
30	93	67	2,0	95	66	3,2	93	70
35	93	67	1,7	95	64	3,2	93	70
40	93	68	1,6	95	63	3,2	94	69

Tabulka č.46: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 3

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	75	1,3	95	73	2,1	96	76
5	93	74	1,3	95	72	2,0	96	72
10	93	73	1,3	95	72	2,0	95	71
15	93	69	1,3	95	68	2,0	95	70
20	93	65	1,3	95	66	1,9	95	67
25	93	66	1,3	95	65	1,9	95	67
30	93	67	1,2	95	64	1,9	94	67
35	93	68	1,2	94	64	1,9	94	67
40	93	68	1,2	94	64	1,9	93	67

Tabulka č. 47: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 4

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	97	77	1	97	78	1,4	96	77
5	97	74	0,99	97	74	1,4	94	72
10	97	72	0,94	-	-	-	91	72
15	97	72	0,87	-	-	-	89	73
20	97	70	0,77	-	-	-	89	70
25	98	68	0,7	-	-	-	86	69
30	97	70	0,65	-	-	-	94	74
35	97	78	0,64	-	-	-	96	78
40	97	78	0,63	-	-	-	96	77

Tabulka č. 48: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 5

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	72	2,0	95	72	3,3	96	72
5	93	73	2,1	95	72	3,3	96	71
10	93	72	2,1	95	72	3,3	96	71
15	93	72	2,1	96	72	3,3	95	72
20	93	70	2,1	95	71	3,2	94	70
25	93	68	2,1	95	69	3,2	94	70
30	93	67	2,0	95	66	3,2	93	70
35	93	67	1,7	95	64	3,2	93	70
40	93	68	1,6	95	63	3,2	94	69

Tabulka č. 49: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 6

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	98	109	1,6	98	109	1,20	97	107
5	98	109	1,6	98	108	1,20	97	107
10	98	108	1,6	98	107	1,30	97	108
15	98	107	1,5	-	-	-	97	109
20	99	107	1,4	-	-	-	97	109
25	99	106	1,4	-	-	-	97	108
30	99	106	1,4	97	107	0,72	97	106
35	99	105	1,3	97	105	0,70	98	105
40	98	105	1,3	97	102	0,70	98	104

Tabulka č. 50: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 7

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	98	73	2,1	98	74	2,4	96	74
5	98	74	2	98	74	2,0	96	74
10	98	75	1,7	98	74	1,9	96	74
15	98	75	1,5	-	-	-	95	74
20	98	76	1,4	-	-	-	94	73
25	98	75	1,4	-	-	-	95	74
30	98	74	1,4	-	-	-	98	75
35	98	73	1,5	-	-	-	97	74
40	98	73	1,5	99	72	1,1	96	74

Tabulka č. 51: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 8

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	75	1,3	95	73	2,1	96	76
5	93	74	1,3	95	72	2,0	96	72
10	93	73	1,3	95	72	2,0	95	71
15	93	69	1,3	95	68	2,0	95	70
20	93	65	1,3	95	66	1,9	95	67
25	93	66	1,3	95	65	1,9	95	67
30	93	67	1,2	95	64	1,9	94	67
35	93	68	1,2	94	64	1,9	94	67
40	93	68	1,2	94	64	1,9	93	67

Tabulka č. 52: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 9

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	99	73	1,2	99	74	1,50	96	73
5	99	72	1,2	99	73	1,50	95	73
10	99	71	1,2	98	72	1,50	94	72
15	99	70	1,1	-	-	-	93	72
20	99	69	1,1	-	-	-	93	72
25	99	70	1	-	-	-	94	72
30	99	71	1	97	74	0,69	95	71
35	99	70	1	97	71	1,00	95	70
40	99	69	1,1	98	70	1,40	96	70

Tabulka č. 53: Hodnoty naměřené při zaškrcení cévy u probanda 10

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	96	73	1,6	96	73	1,1	95	78
5	96	73	1,6	96	71	1,1	95	76
10	96	73	1,6	96	72	1,1	94	75
15	96	72	1,5	95	73	1,1	94	75
20	96	71	1,4	95	75	1,1	94	75
25	96	69	1,1	95	73	1,1	94	75
30	96	68	1,0	96	70	1,1	95	73
35	96	70	1,0	96	72	1,1	95	73
40	97	72	0,97	96	72	1,1	95	75

Příloha C: Hodnoty při podchlazení končetiny

Tabulka č. 54: Hodnoty naměřené při podchlazení končetiny u probanda 1

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	97	65	1,1	96	64	1,6	97	64
5	96	61	1,2	96	62	1,6	97	62
10	96	61	1,4	96	56	1,6	96	63
15	96	65	1,6	96	57	1,6	97	69
20	96	71	1,6	96	67	1,6	97	68
25	97	68	1,6	96	67	1,7	96	67
30	97	66	1,7	95	65	1,7	97	63
35	96	62	1,8	95	60	2,0	97	63
40	96	61	1,9	95	61	2,6	97	64
45	96	64	2,1	95	64	3,6	96	64
50	96	64	2,2	95	64	4,2	96	64
55	96	64	2,3	95	63	4,7	96	65
60	96	65	2,4	95	65	4,8	96	65
65	96	65	2,4	95	65	4,8	96	66
70	96	69	2,4	95	67	4,8	96	68
75	96	70	2,3	95	69	4,8	96	68
80	96	68	2,3	95	68	4,7	96	67
85	96	66	2,2	96	66	4,4	96	65
90	96	64	2,1	96	64	4,0	96	65
95	96	64	2,0	95	64	3,6	96	64
100	96	64	2,0	95	65	3,3	96	65
105	96	65	2,0	95	67	3,3	96	66
110	96	66	2,0	95	66	3,2	96	65
115	96	65	2,0	95	65	3,2	96	66

Tabulka č. 55: Hodnoty naměřené při pochazení končetiny u probanda 2

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	77	1,50	95	72	2,2	95	78
5	93	80	1,40	95	72	2,2	94	82
10	93	80	1,20	95	70	2,2	94	85
15	94	68	1,10	95	70	2,2	93	70
20	95	68	1,00	95	69	2,2	94	70
25	96	69	0,95	95	68	2,2	95	70
30	95	69	0,92	-	-	-	95	70
35	94	69	0,88	-	-	-	95	70
40	94	70	0,85	-	-	-	95	72
45	94	74	0,83	-	-	-	95	73
50	94	73	0,8	-	-	-	95	73
55	94	72	0,78	-	-	-	95	73
60	94	72	0,78	-	-	-	96	73
65	95	73	0,77	-	-	-	96	73
70	95	73	0,77	-	-	-	96	73
75	95	73	0,75	-	-	-	96	73
80	95	73	0,74	-	-	-	96	73
85	94	74	0,73	-	-	-	96	72
90	94	74	0,73	-	-	-	97	71
95	95	74	0,73	-	-	-	97	71
100	95	74	0,75	-	-	-	97	73
105	95	75	0,76	-	-	-	96	75
110	95	75	0,76	-	-	-	96	75
115	94	77	0,81	-	-	-	96	77

Tabulka č. 56: Hodnoty naměřené při pochazení končetiny u probanda 3

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	71	1,30	95	68	1,9	94	69
5	93	72	1,30	95	70	1,9	94	71
10	93	72	1,20	95	72	1,8	95	71
15	93	71	1,20	95	71	1,8	95	72
20	93	70	1,10	94	70	1,8	96	70
25	93	70	1,00	94	68	1,8	96	69
30	93	70	1,00	94	68	1,8	97	69
35	94	70	0,94	94	68	1,8	97	69
40	94	70	0,90	94	68	1,8	97	69
45	94	70	0,86	94	68	1,8	97	69
50	94	68	0,82	94	68	1,8	97	69
55	94	67	0,81	94	68	1,8	96	69
60	94	67	0,80	94	68	1,8	96	69
65	94	67	0,80	94	68	1,8	96	68
70	94	68	0,80	94	68	1,8	97	69
75	94	69	0,82	94	69	1,8	97	70
80	94	69	0,82	94	70	1,8	97	70
85	94	68	0,82	94	70	1,8	97	71
90	94	68	0,82	94	70	1,8	97	71
95	94	72	0,82	95	72	1,8	97	71
100	94	71	0,82	95	70	1,9	97	71
105	94	71	0,82	95	70	2,0	97	71
110	94	71	0,82	95	70	2,2	97	71
115	94	70	0,82	95	70	2,4	97	70

Tabulka č. 57: Hodnoty naměřené při pochazení končetiny u probanda 4

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	98	76	0,81	97	76	1,20	95	77
5	98	76	0,81	97	75	1,20	95	76
10	98	76	0,79	97	76	1,20	96	77
15	97	76	0,78	97	78	1,20	97	77
20	98	76	0,76	97	80	1,20	97	78
25	98	77	0,75	98	81	1,10	97	80
30	97	79	0,75	98	82	1,10	97	80
35	97	82	0,75	98	82	1,10	98	79
40	97	80	0,70	98	80	1,00	98	81
45	98	78	0,62	98	75	0,96	98	81
50	98	76	0,60	98	75	0,80	98	79
55	98	72	0,56	99	76	0,79	99	75
60	99	75	0,56	99	80	0,77	99	75
65	99	82	0,56	99	81	0,76	98	74
70	99	79	0,54	99	79	0,73	99	79
75	99	74	0,51	99	75	0,69	99	76
80	99	75	0,49	99	75	0,73	98	76
85	99	74	0,49	99	74	0,82	99	73
90	99	70	0,51	99	71	0,86	98	70
95	99	71	0,53	99	72	0,86	97	75
100	99	74	0,54	99	74	0,88	96	74
105	98	73	0,57	99	74	1,00	96	76
110	98	78	0,59	99	78	1,10	96	75
115	97	78	0,62	98	77	1,10	97	75

Tabulka č. 58: Hodnoty naměřené při pochazení končetiny u probanda 5

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	77	1,50	95	72	2,2	95	78
5	93	80	1,40	95	72	2,2	94	82
10	94	80	1,20	95	70	2,2	94	85
15	94	68	1,10	95	70	2,2	93	70
20	95	68	1,00	95	69	2,2	94	70
25	96	69	0,95	95	68	2,2	95	70
30	95	69	0,92	-	-	-	95	70
35	94	69	0,88	-	-	-	95	70
40	94	70	0,85	-	-	-	95	72
45	94	74	0,83	-	-	-	95	73
50	94	72	0,80	-	-	-	95	73
55	94	72	0,78	-	-	-	95	73
60	95	72	0,78	-	-	-	96	73
65	95	73	0,77	-	-	-	95	73
70	95	73	0,77	-	-	-	96	73
75	95	73	0,75	-	-	-	95	73
80	95	73	0,74	-	-	-	96	73
85	94	74	0,74	-	-	-	96	72
90	94	74	0,73	-	-	-	97	71
95	95	74	0,73	-	-	-	97	71
100	95	74	0,75	-	-	-	97	73
105	95	75	0,76	95	68	2,2	96	75
110	95	75	0,76	95	69	2,2	96	75
115	94	77	0,81	95	70	2,2	96	77

Tabulka č. 59: Hodnoty naměřené při pochlazení končetiny u probanda 6

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	98	99	1,50	98	96	1,6	98	100
5	99	101	0,97	-	-	-	98	102
10	99	102	0,90	-	-	-	98	102
15	99	104	0,88	-	-	-	98	103
20	99	100	0,90	-	-	-	98	102
25	99	99	0,94	-	-	-	98	100
30	99	100	1,00	-	-	-	98	100
35	99	101	1,10	-	-	-	98	101
40	99	101	1,20	-	-	-	98	101
45	99	101	1,20	-	-	-	98	101
50	99	101	1,30	-	-	-	98	101
55	98	101	1,40	-	-	-	98	101
60	98	101	1,50	-	-	-	98	101
65	98	101	1,50	-	-	-	98	100
70	98	102	1,60	-	-	-	98	100
75	98	103	1,60	99	104	1,5	98	99
80	98	100	1,60	98	100	1,8	98	99
85	98	96	1,60	97	95	2,0	98	99
90	98	97	1,70	97	95	2,0	98	99
95	98	99	1,70	97	96	2,1	98	100
100	98	100	1,80	97	100	2,1	98	100
105	98	102	1,80	97	102	2,1	98	101
110	98	100	1,90	96	103	2,1	98	101
115	98	98	1,90	95	104	2,1	98	100

Tabulka č. 60: Hodnoty naměřené při pochazení končetiny u probanda 7

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	99	74	0,88	99	76	0,85	98	74
5	99	74	0,86	99	74	0,85	98	71
10	99	70	0,85	99	70	0,90	98	68
15	100	63	0,84	99	63	0,91	98	63
20	100	64	0,90	99	63	1,00	98	63
25	100	64	0,92	98	64	1,00	98	64
30	100	64	1,00	98	64	1,20	98	64
35	99	64	1,00	99	64	1,20	98	64
40	99	65	1,10	99	65	1,20	98	64
45	99	66	1,10	99	66	1,20	98	66
50	99	67	1,00	99	67	1,20	98	68
55	99	69	1,00	99	68	1,20	97	69
60	99	70	0,99	99	69	1,20	97	70
65	99	70	0,95	98	70	1,20	98	71
70	99	71	0,92	98	71	1,20	98	74
75	99	72	0,93	98	73	1,30	98	75
80	99	72	0,89	98	73	1,30	98	75
85	99	74	0,87	98	75	1,30	98	75
90	99	75	0,88	98	75	1,30	98	75
95	99	75	0,88	98	75	1,30	97	73
100	99	72	0,88	98	73	1,30	97	72
105	99	71	0,88	98	72	1,30	97	72
110	99	71	0,95	98	72	1,30	97	71
115	99	71	1,00	98	71	1,30	97	70

Tabulka č. 61 Hodnoty naměřené při pochlazení končetiny u probanda 8

Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	93	71	1,30	95	68	1,9	94	69
5	93	72	1,30	95	70	1,9	94	71
10	93	72	1,20	95	72	1,8	95	71
15	93	71	1,20	95	71	1,8	95	72
20	93	70	1,10	94	70	1,8	96	70
25	93	70	1,00	94	68	1,8	96	69
30	93	70	1,00	94	68	1,8	97	69
35	94	70	0,94	94	68	1,8	97	69
40	94	70	0,90	94	68	1,8	97	69
45	94	70	0,86	94	68	1,8	97	69
50	94	68	0,82	94	68	1,8	97	69
55	94	67	0,81	94	68	1,8	96	69
60	94	67	0,80	94	68	1,8	96	69
65	94	67	0,80	94	68	1,8	96	68
70	94	68	0,80	94	68	1,8	97	69
75	94	69	0,82	94	69	1,8	97	70
80	94	69	0,82	94	70	1,8	97	70
85	94	68	0,82	94	70	1,8	97	71
90	94	68	0,82	94	70	1,8	97	71
95	94	72	0,82	95	72	1,8	97	71
100	94	71	0,82	95	70	1,9	97	71
105	94	71	0,82	95	70	2,0	97	71
110	94	71	0,82	95	70	2,2	97	71
115	94	70	0,82	95	70	2,4	97	70

Tabulka č. 62: Hodnoty naměřené při pochazení končetiny u probanda 9

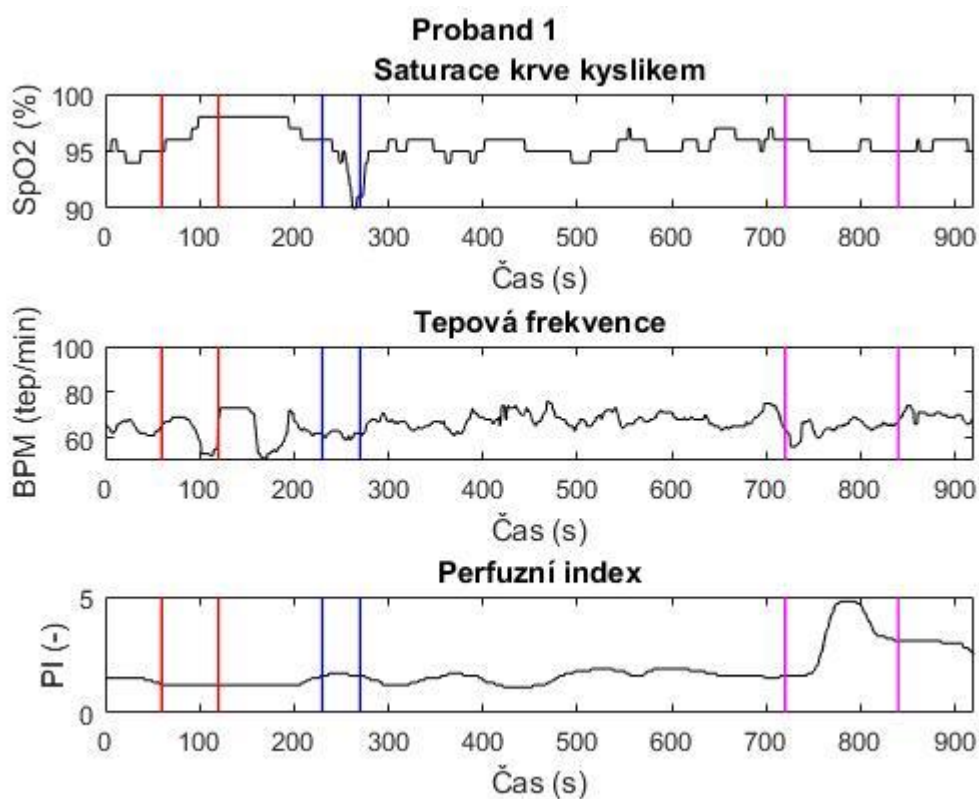
Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	99	66	0,82	98	74	1,10	95	70
5	99	61	0,80	98	72	1,10	94	68
10	99	70	0,80	98	72	1,10	95	70
15	99	75	0,79	97	74	1,10	96	70
20	99	65	0,75	97	66	1,00	97	65
25	100	63	0,74	98	64	1,00	98	66
30	100	60	0,75	98	61	1,00	98	62
35	100	56	0,76	98	61	1,00	98	63
40	100	60	0,80	98	61	1,00	97	65
45	99	64	0,87	98	64	0,98	97	66
50	99	68	0,90	98	69	0,95	97	68
55	99	71	0,90	98	70	0,90	97	70
60	99	73	0,85	98	73	0,90	95	72
65	99	75	0,81	98	74	0,88	95	77
70	99	72	0,75	98	73	0,88	95	73
75	100	70	0,69	97	72	0,88	96	72
80	100	70	0,65	97	71	0,88	97	73
85	100	70	0,66	98	71	0,88	98	75
90	100	75	0,65	98	76	0,88	97	75
95	99	79	0,64	98	77	0,88	97	76
100	99	75	0,65	98	76	0,88	97	76
105	100	73	0,67	98	74	0,88	98	76
110	100	71	0,65	98	72	0,85	97	77
115	100	71	0,66	98	73	0,84	96	77

Tabulka č. 63: Hodnoty naměřené při pochlazení končetiny u probanda 10

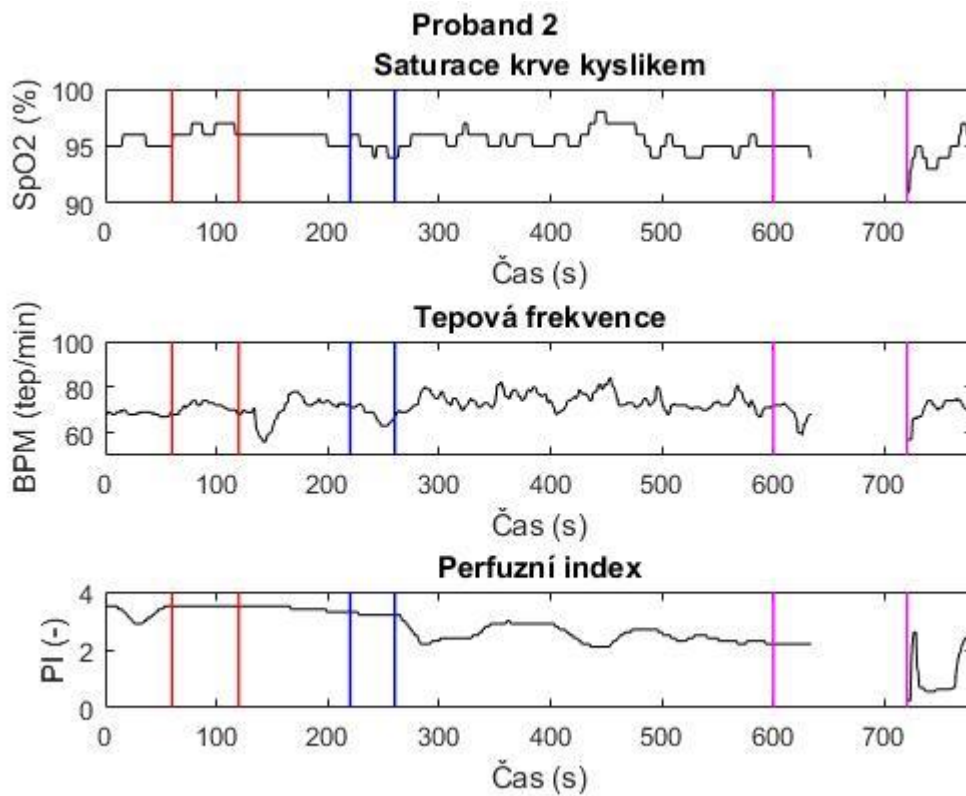
Čas (s)	Reference (Masimo)			Masimo			Nellcor	
	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)	PI (-)	SpO ₂ (%)	HR (tepů/min)
0	96	78	1,9	97	79	1,6	96	80
5	96	78	1,7	96	78	1,6	96	77
10	96	77	1,5	97	79	1,6	96	77
15	96	77	1,5	97	79	1,6	96	75
20	96	75	1,5	97	75	1,6	96	75
25	97	72	1,5	97	71	1,6	97	74
30	97	75	1,5	97	75	1,6	97	75
35	97	80	1,5	98	79	1,6	97	78
40	97	75	1,5	98	75	1,5	97	75
45	97	74	1,5	98	73	1,4	97	74
50	97	75	1,5	98	75	1,4	97	73
55	97	77	1,4	98	77	1,4	96	73
60	97	75	1,4	98	75	1,4	96	72
65	97	73	1,4	98	72	1,4	96	71
70	97	73	1,4	99	72	1,4	96	70
75	97	73	1,4	99	72	1,3	97	70
80	97	72	1,4	98	72	1,3	97	70
85	97	72	1,4	98	73	1,3	96	68
90	97	70	1,3	98	71	1,2	96	71
95	97	70	1,3	98	71	1,2	96	72
100	97	75	1,3	98	75	1,2	96	75
105	97	76	1,3	98	76	1,2	96	75
110	97	75	1,3	98	75	1,2	96	75
115	97	74	1,2	98	73	1,1	96	74

Příloha D: Grafické zobrazení dat naměřených přístrojem Masimo

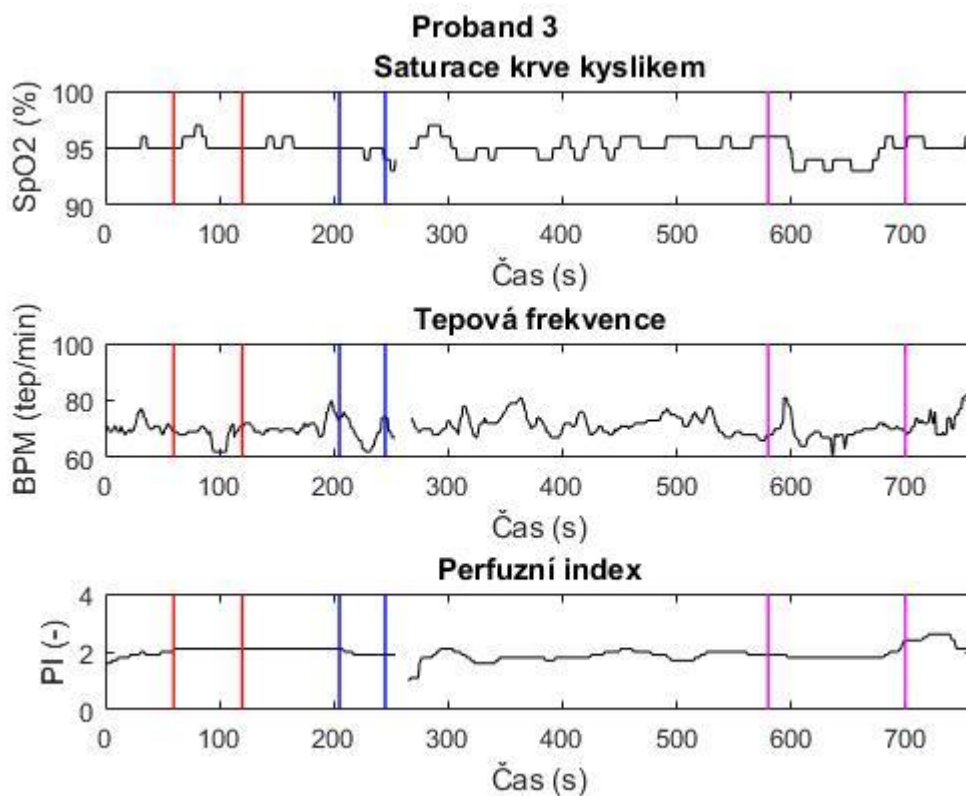
V této kapitole se nacházejí grafy, které znázorňují data naměřená přístrojem Masimo. Červenými svislými čarami je oddělena část záznamu, při kterém probíhala simulace pohybového artefaktu. Oblast mezi modrými čarami znázorňuje dobu snížené perfuze způsobenou zaškrcením cévy a čáry barvy fialové ohraničují poslední část experimentu, a to snížení perfuze podchlazením končetiny.



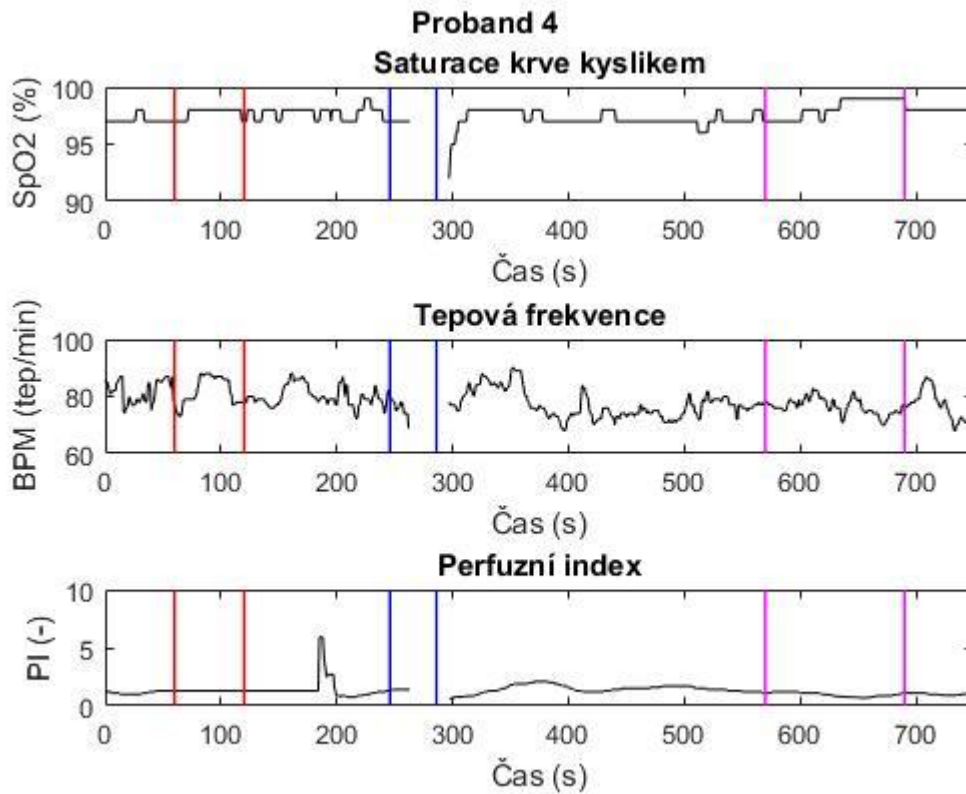
Obr. D1: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 1



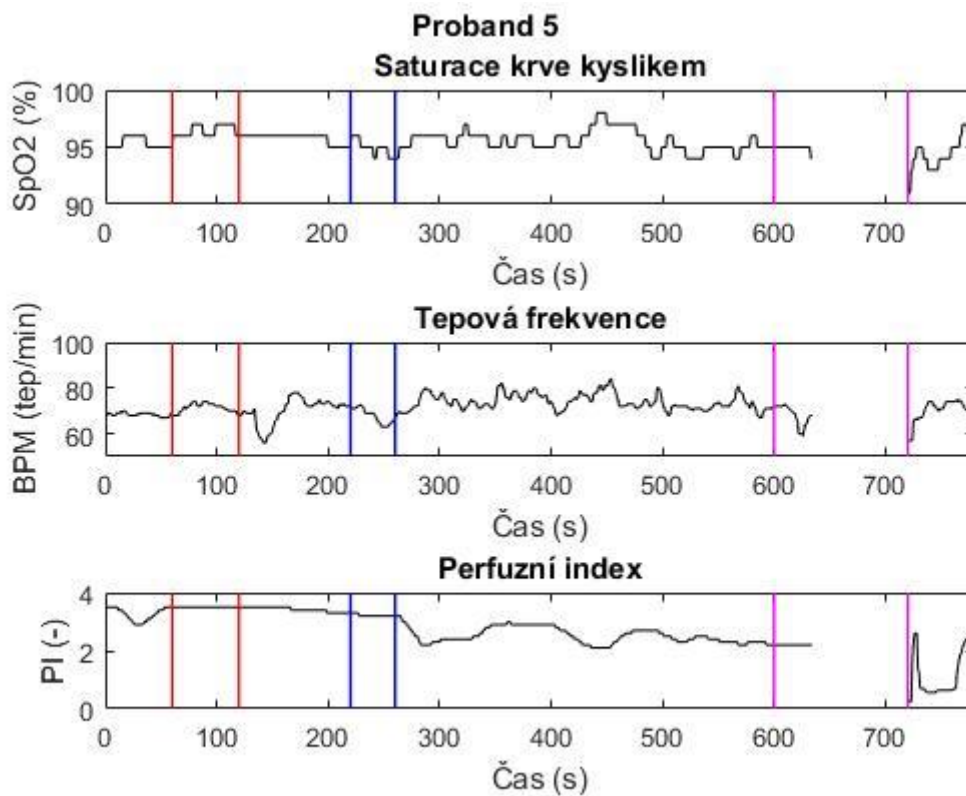
Obr. D2: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 2



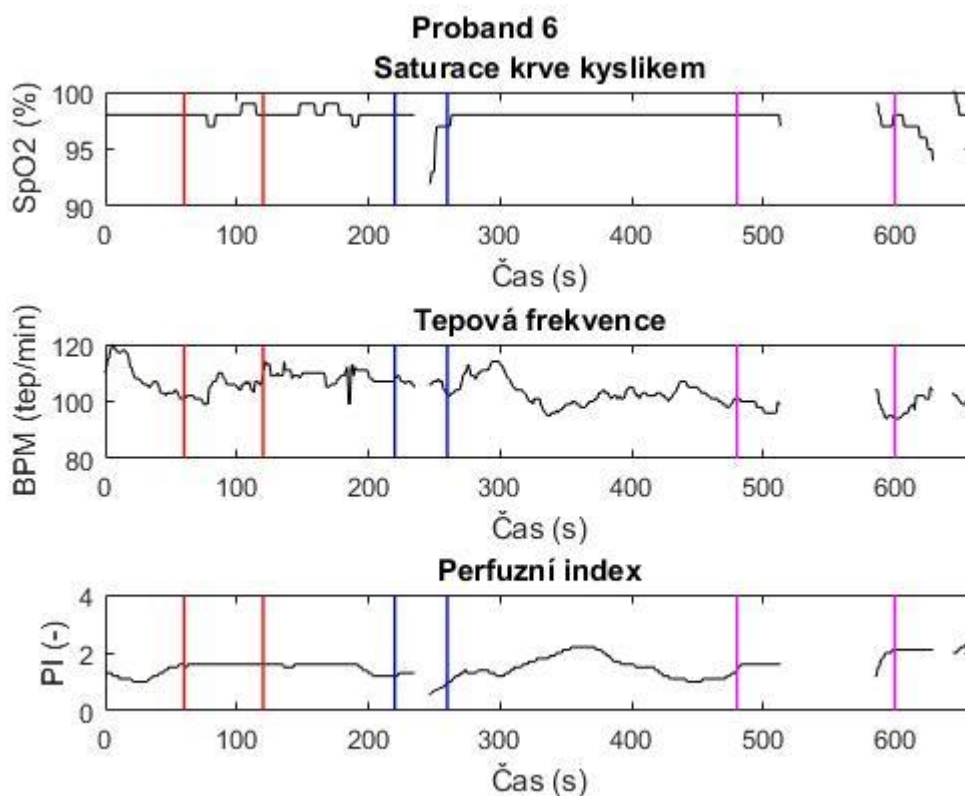
Obr. D3: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 3



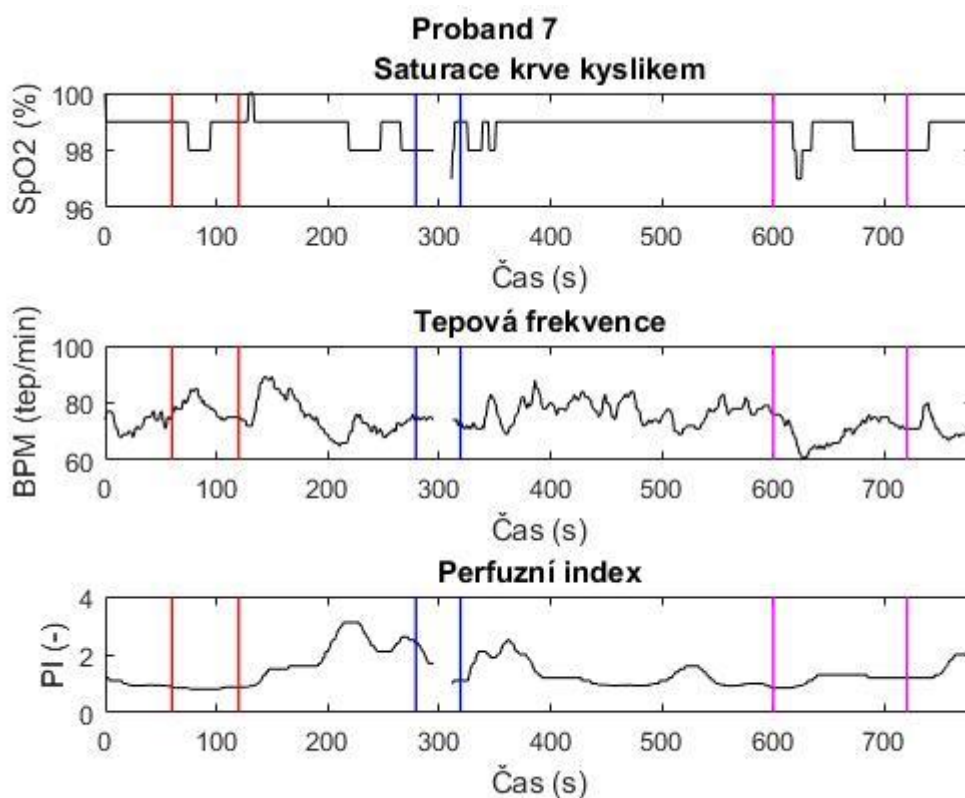
Obr. D4: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 4



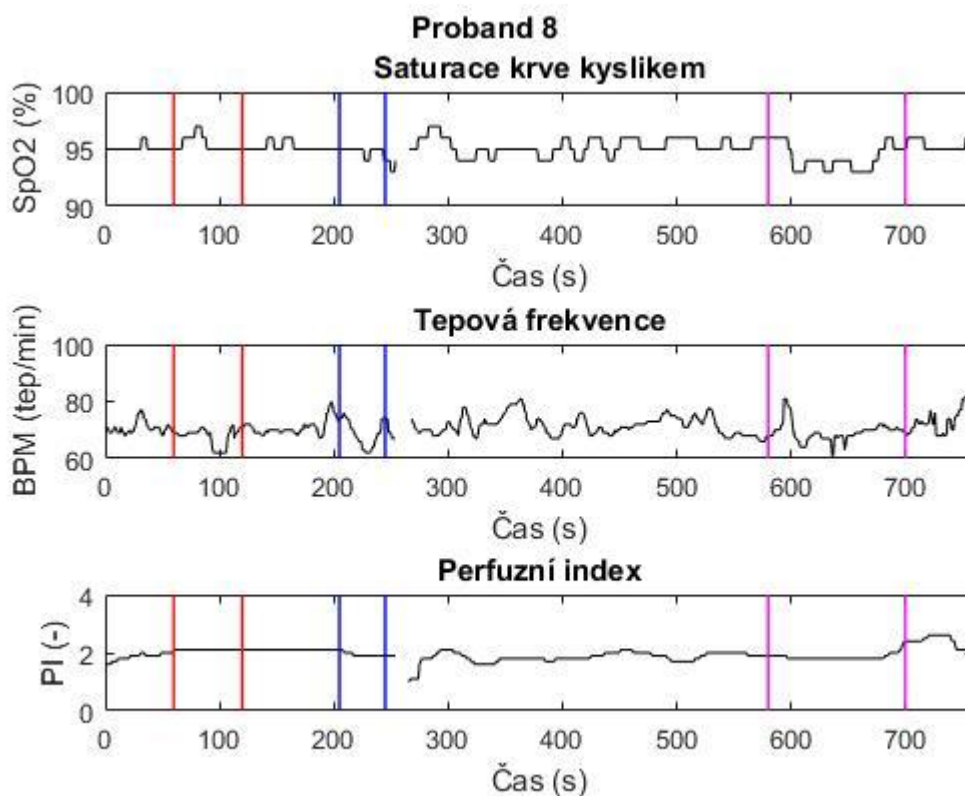
Obr. D5: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 5



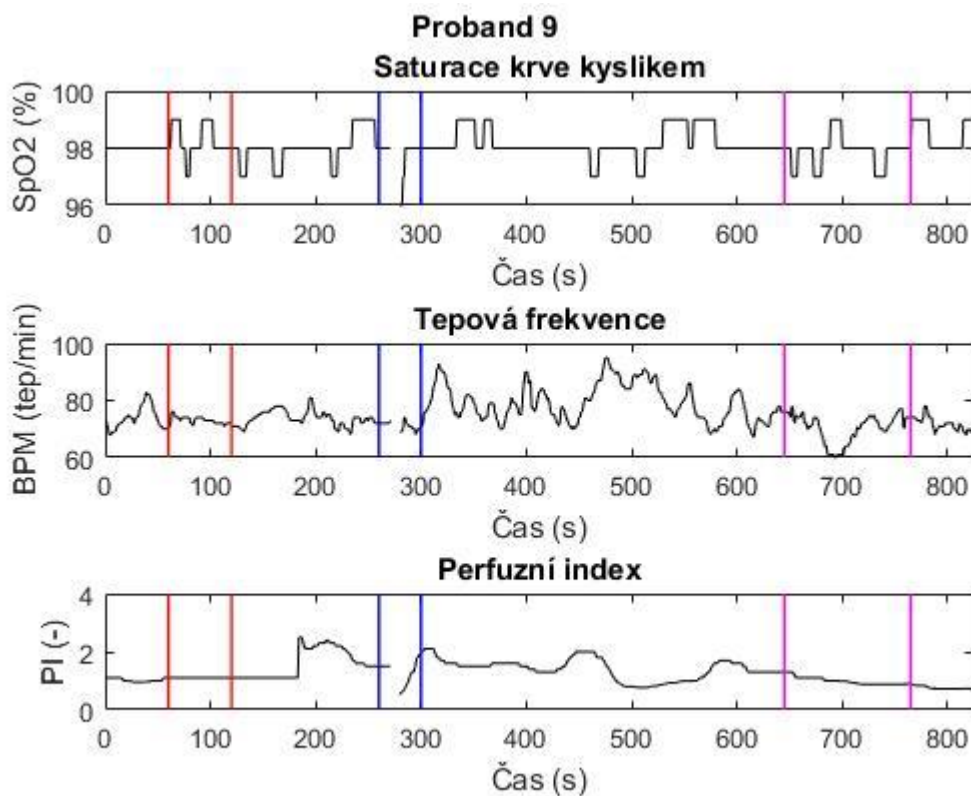
Obr. D6: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 6



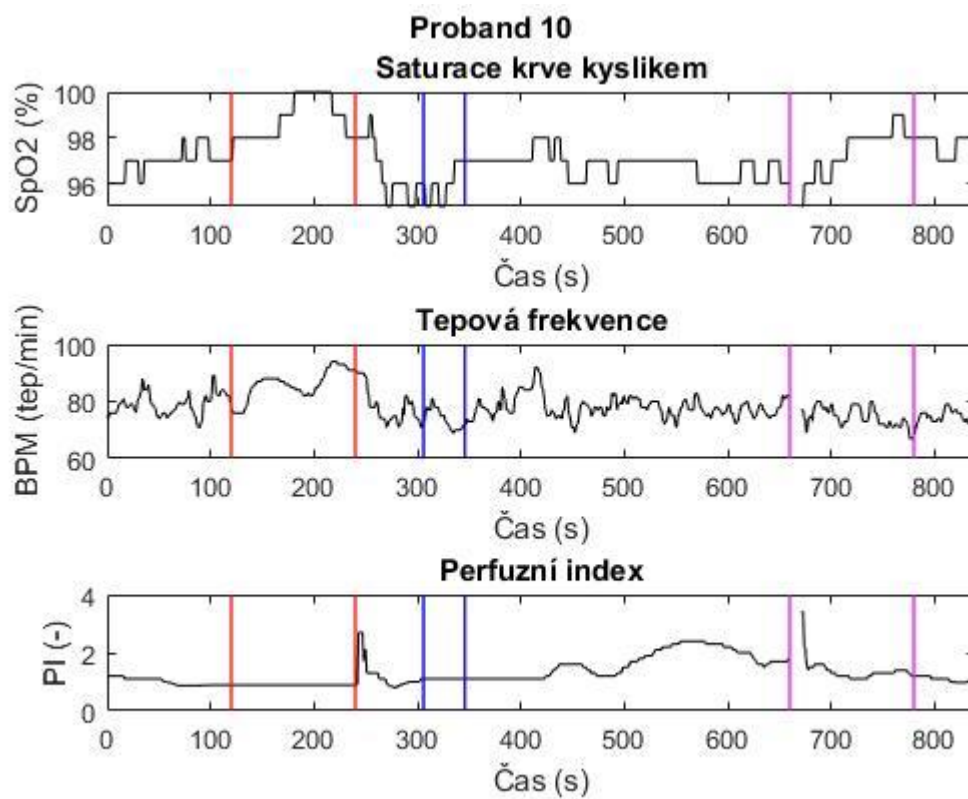
Obr. D7: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 7



Obr. D8: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 8



Obr. D9: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 9



Obr. D10: Graf naměřených hodnot přístrojem Masimo pro probanda 10