

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra biomedicínské techniky

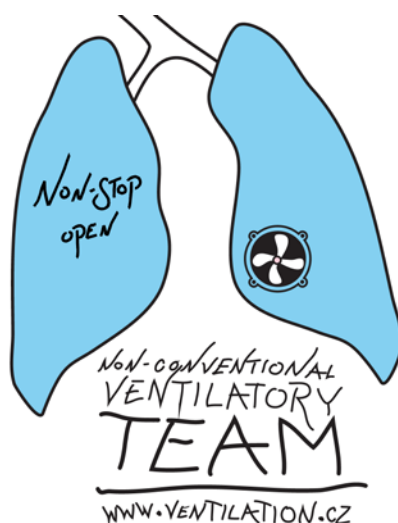
Respirační dny 2019

— odborná konference zaměřená na novinky
a prezentaci výsledků výzkumných projektů v oblasti
konvenční i nekonvenční umělé plicní ventilace

4. až 6. září 2019

Přední Labská u Špindlerova Mlýna

Sborník abstraktů



Respirační dny 2019

– odborná konference zaměřená na novinky
a prezentaci výsledků výzkumných projektů v oblasti
konvenční i nekonvenční umělé plicní ventilace

4. až 6. září 2019

Bumbálka, Přední Labská u Špindlerova Mlýna

Program konference:

Středa 4. 9. 2019:

- | | |
|---------------|--|
| 18.00 – 18.15 | Zahájení konference (prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno) |
| 18.15 – 19.00 | Úloha biomedicínského inženýra v klinické praxi (Ing. Petr Kudrna, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno) |
| 19.00 – 20.30 | Ventilační workshop: Krátké kazuistiky z oblasti ARIM a technického řešení umělé plicní ventilace
(moderuje prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno) |

Čtvrtek 5. 9. 2019:

- | | |
|---------------|--|
| 9.00 – 10.00 | Elektrická impedanční tomografie – aktuality z klinického prostředí (MUDr. Martin Müller, Thomayerova nemocnice v Praze, KARIM) |
| 10.15 – 12.00 | Řízená diskuse na téma Elektrická impedanční tomografie – technické problémy (doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno) |
| 13.30 – 15.00 | Řízená diskuse na téma Elektrická impedanční tomografie – interpretace výsledků (prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno) |
| 15.10 – 17.00 | Řízená diskuse na téma Close loop or Open loop systems? (Ing. Petr Kudrna, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno) |

17.15 – 18.00	Dýchání v lavinách – revize výzkumných projektů ve světě (MUDr. Lenka Horáková, prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno)
18.30 – 22.00	Společenský večer
<i>Pátek 6. 9. 2019:</i>	
9.30 – 11.30	Prezentace odborných sdělení (moderují doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D. a Ing. Jakub Ráfl, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno)
11.45 – 12.00	Sumarizace výsledků odborných diskusí (Ing. Petr Kudrna, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno)
12.00 – 12.05	Zakončení konference (prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno)

Výbor konference:

Ing. Martin Rožánek, Ph.D., předseda organizačního výboru,
telefon: 604 577 226, e-mail: rozanek@fbmi.cvut.cz

Ing. Petr Kudrna, Ph.D.; Ing. Jakub Ráfl, Ph.D., členové organizačního výboru konference

prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., prezident konference
tel. 603 479 901, e-mail: roubik@fbmi.cvut.cz

Za věcnou i obsahovou správnost zveřejněných příspěvků výhradně odpovídají autoři.
Editor sborníku: Ing. Petr Kudrna, Ph.D.

Vydáno v prosinci 2019.

Tento sborník je k dispozici v elektronické podobě na adrese www.ventilation.cz.

Poděkování

*Konference Respirační dny 2019 byla podpořena z prostředků ČVUT v Praze,
projektu číslo SVK 48/19/F7 Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze.*

Obsah

Vliv aplikace tekutin na obraz elektrické impedanční tomografie při umělé plicní ventilaci	8
Martin Müller	
Model SpO₂ signálu nezralého novorozence	14
Veronika HUTTOVÁ, Jakub RÁFL, Petr KUDRNA, Martin ROŽÁNEK	
Časové zpoždění distribuce O₂ ve ventilačním systému po změně FiO₂: Vylepšení matematického modelu	18
Leoš Tejkl	
Analýza cerebrálních perfuzních tlaků u pacientů s traumatickým poraněním mozku	21
Anna Plhalová, ČVUT FBMI Kladno	
Problematika hodnocení dechového úsilí pomocí simulátoru plic ASL 5000	23
Anna Miltová, ČVUT FBMI Kladno	
Fyzikální vlastnosti materiálu při dýchání v simulovaném lavinovém sněhu	27
Šimon Walzel, ČVUT FBMI Kladno	

Prezentace účastníků konference

Vliv aplikace tekutin na obraz elektrické impedanční tomografie při umělé plicní ventilaci

MUDr. Martin Müller

Motivace

Monitorace objemové terapie při šoku

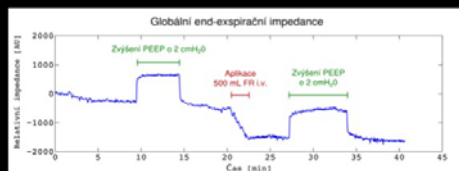
- převážně empirická
- málo spolehlivých monitorovacích technik
- invazivita spojená s rizikem komplikací

Pľíce klinicky reagují na tekutinovou bilanci organismu

EIT je neinvazivní, monitorovací technika, použitelná u lůžka, bez nežádoucích účinků na pacienta

Motivace

EIT reaguje nejen na změny provzdušnění pľíce, ale také na i. v. aplikaci tekutin



Motivace

Vliv kombinace změn v provzdušnění pľic a v objemu tekutiny v pľících na bioimpedanci hrudníku a EIT obraz

- tyto vlivy se překrývají
- může být příčinou signifikantních nepřesností v hodnocení EIT obrazu
- málo prozkoumaná, málo publikací

Motivace

Byla prokázána korelace mezi bioimpedancí pľic a EVLW

- EVLW měřena gravimetricky na zvířecím modelu
- EVLW měřena dvouindikátorovou diluční technikou u pacientů s ARDS



Cíle studie

1. Detailně popsat změny v EIT záznamu během rychlé infuze krystaloidu
2. Nalézt způsob jak rozlišit změny v EIT obraze způsobené vlivem infuze krystaloidu od těch, které jsou způsobeny změnou ventilačních parametrů

Hypotézy

1. Aplikace tekutin má vliv na EIT obraz
2. Pomocí měření EELV je možné verifikovat, že změny v EIT obraze při/po aplikaci krystaloidu nejsou způsobeny změnami plicních objemů
3. Pomocí PICCO je možné detekovat, že při/po aplikaci bolusu krystaloidu dochází ke změnám v množství tekutiny v hrudníku, které změny v EIT obraze způsobují a který kompartment v hrudníku se na těchto změnách nejvíce podílí

Metody

Charakteristika souboru pokusných zvířat

Druh	Prase domácí (<i>Sus strofa f. domestica</i>)
Počet	11
Pohlaví	samice
Průměrná hmotnost	47,7 ± 2,9 kg

Metody

Elektrická impedanční tomografie (EIT)

- PulmoVista 500 (Dräger Medical, Lübeck, Německo)
- elektrodový pás v úrovni bránice (6. mezizebří) při PEEP 5 cmH₂O
- frekvence aplikovaného proudu 110 kHz
- frekvence snímků 50 Hz



Metody

End-expirační plicní objem (EELV)

- Engström Carestation (GE Healthcare, WI, U.S.A.) s modulem FRC InView
- wash-in/wash-out metoda pro kyslík
- změna FiO_2 nastavena na 10 %
- validní výsledky při rozdílu mezi wash-in a wash-out fází do 10 %



Metody

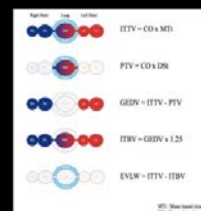
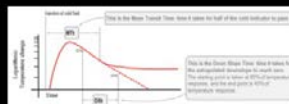
Monitorace hemodynamiky

- EV1000 (Edwards Lifesciences, Irvine, CA, U.S.A.)
- systém PICCO
 - transpulmonální termodiluce
 - analýza pulzní křivky
- srdeční výdej, objem plicní tekutiny, krevní tlaky



Metody

System PiCCO





Vyhodnocení dat a statistické zpracování

Elektrická impedanční tomografie (EIT)

- předzpracování v software Dräger EIT Data Analysis Tool (Dräger Medical, Lübeck, Německo)
- délka hodnoceného intervalu EIT záznamu 1 minuta
- hodnocení a výpočty EIT záznamů v software MatLab (Mathworks Inc., Natick, MA, USA), použití vlastních algoritmů a vývoj nových algoritmů pro vyhodnocování

Metody

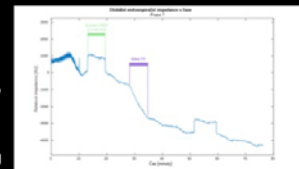
Vyhodnocení dat a statistické zpracování

- normalita dat testována pomocí Shapiro-Wilkova testu
- normalita nezamítnuta
 - Studentův párový t-test
 - ANOVA pro opakovaná měření
- normalita zamítnuta
 - párový Wilcoxonův test
 - Friedmanův test
- statisticky významné rozdíly při $p < 0,05$

Výsledky

Globální end-expirační impedance (GEEI)

- pokles GEEI po bolusu krystaloidu byl přítomný ve všech případech
- křivka GEEI měla při všech měřeních stejnou morfologii



Výsledky

Globální end-expirační impedance (GEEI)

- GEEI hodnocena jako percentuální změny oproti 1. měření
- GEEI při snížení PEEP i po bolusu krystaloidu klesla
- rozdíly mezi jednotlivými intervaly jsou statisticky signifikantní

Výsledky

Změny v regionálních dechových vlnách (RDV) v oblastech zájmu (ROI) definovaných jako 4 kvadranty

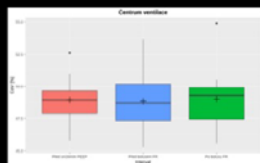
- při snížení PEEP dochází ke změně v RDV, změny jsou statisticky signifikantní
 - ve ventrálních kvadrantech RDV narůstají, v dorzálních klesají → reálnější ventilace do ventrální části plic
- po bolusu FR k žádným změnám v RDV nedochází



Výsledky

Centrum ventilace (CoV)

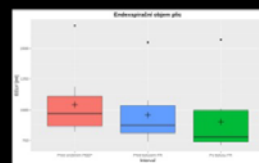
- hodnota CoV se nezměnila ani při snížení PEEP ani při bolusu FR



Výsledky

Endexpirační objem plic (EELV)

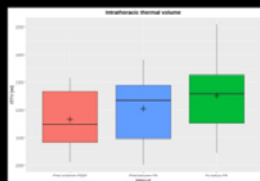
- klesl jak při snížení PEEP, tak při bolusu FR
- pokles při snížení PEEP je statisticky významný
- pokles při bolusu FR není statisticky významný



Výsledky

Intrathoracic thermal volume (ITTV)

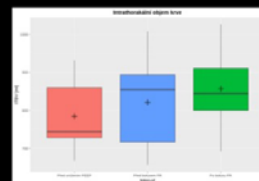
- ITTV vzrostl jak po snížení PEEP, tak po bolusu FR
- rozdíly jsou statisticky signifikantní mezi hodnotami přes snížením PEEP a po bolusu FR



Výsledky

Intrathorakální objem krve (ITBV)

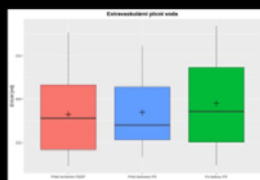
- ITBV stoupl jak po snížení PEEP, tak po bolusu FR
- statisticky významný je jen rozdíl mezi hodnotami před snížením PEEP a po bolusu FR



Výsledky

Extravaskulární plicní voda (EVLW)

- EVLW se při snížení PEEP nezměnila a po bolusu FR minimálně vzrostla, rozdíl ale není statisticky významný



Diskuze

Morfologie křivky globální impedance je stejná jak při bolusu krystaloidu, tak při derecruitmentu plic

Amplituda změny GEEI po snížení PEEP o 2 cmH₂O se příliš neliší od změny GEEI po bolusu 500 ml FR

Po bolusu krystaloidu nedochází ke změnám RDV v ROI, narozdíl od změny PEEP

CoV se ani při snížení PEEP, ani při bolusu FR nezměnilo

Diskuze

Pokles EELV nejen po snížení PEEP, ale i po bolusu FR

- trvalý, pomalý derecruitment plic během celého experimentu, který nastává po 1. PEEP manévru

Diskuze

ITTV se zvýšil jak po bolusu FR, tak po snížení PEEP

- nesignifikantní nárůst po bolusu FR je pravděpodobně způsoben malým objemem bolusu a jeho rychlou distribucí do celého oběhu
- nárůst ITTV i po snížení PEEP (nesignifikantní) je způsoben jednak trvalým přívodem tekutin z peritonzorů (anestezie, hrázení k udržení TK a CO) a jednak je možný i podíl snížení nitrohrudního tlaku, což může vést ke zmenšení útlaku cév a tak zvýšení objemu krve v cévách

EIT je citlivější než PICCO ke změnám objemu tekutiny v hrudníku/plicích

Diskuze

ITBV narostl jak po bolusu FR, tak po snížení PEEP

- změny jsou, stejně jako v případě ITTV, nesignifikantní
- ITBV kopíruje změny ITTV, což svědčí o tom, že většina objemu z aplikovaných tekutin zůstává během měření intravaskulárně

Absence změn EVLW po bolusu FR

- únik tekutiny do plicního intersticia je během experimentu minimální a je pod detekční schopností PICCO
- malý objem bolusu FR
- příliš krátký časový úsek

Postup dalšího výzkumu v rámci disertační práce

Navrhnout a vytvořit algoritmus zpracování EIT obrazu, který umožní rozlišení etiologie změn v bioimpedanci hrudníku

Vypracování postupu hodnocení EIT obrazu, kterým bude možné identifikovat, jaké změny v bioimpedanci hrudníku jsou způsobeny vlivem tekutinové bilance

Příprava metodiky pro experiment u pacientů v intenzivní péči

- cílem experimentu bude sledování vlivu tekutinové bilance na EIT obraz v delším časovém úseku

Abstrakty konferenčních příspěvků

Model SpO₂ signálu nezralého novorozence

Veronika HUTTOVÁ, Jakub RÁFL, Petr KUDRNA, Martin ROŽÁNEK

¹ Katedra biomedicínské techniky, Fakulta biomedicínského inženýrství, České vysoké učení technické v Praze, Náměstí Sítná 3105, 272 01 Kladno

veronika.huttova@fbmi.cvut.cz

Abstrakt. Model pulzního oxymetru, který umožní simulovat věrohodný signál SpO₂, je nezbytnou součástí matematického modelu oxygenace nezralého novorozence, vhodného pro testování automatických řídicích systémů frakce kyslíku v inspirační směsi. Cílem této práce je stanovit vlastnosti výstupního signálu SpO₂ nezralých novorozenců, které budou odrážet současné problémy typické pro měření SpO₂ v klinické praxi, jako je nadhodnocování SpO₂ nebo šum v důsledku nepřesného měření SpO₂. Z klinických dat byla určena typická odchylka SpO₂ od SaO₂ ve třech intervalech SaO₂, stejně jako šum charakteristický pro kontinuální monitorování SpO₂ u novorozenců. Výsledky této práce pomohou přizpůsobit model oxygenace nezralého novorozence reálným situacím pozorovaným v klinické praxi.

Klíčová slova: Measurement bias, neonatal model, noise model, pulse oximetry, SpO₂

Úvod

Matematický model oxygenace nezralého novorozence je jedním z možných nástrojů pro bezpečné a komplexní testování dostupných automatických systémů pro řízení frakce kyslíku v inspirační směsi (FiO₂) u nezralých novorozenců. Normoxémie, tedy normální hladina kyslíku v arteriální krvi, je udržována pomocí nastavování FiO₂ na základě naměřených hodnot saturace periferní krve kyslíkem (SpO₂). Proto je nezbytné, aby model oxygenace nezralého novorozence obsahoval i model pulzního oxymetru, který převede vypočítanou saturaci arteriální krve kyslíkem (SaO₂) na SpO₂. Dle výrobců pulzních oxymetrů by si měly hodnoty SaO₂ a SpO₂ odpovídat, avšak několik studií potvrdilo systematické nadhodnocování SpO₂ oproti SaO₂ při nízkých hodnotách saturace krve kyslíkem typických pro nezralé novorozence. Klinické studie zároveň poukázaly na velkou variabilitu SpO₂ měření, způsobenou např. nízkou perfuzí periferních tkání nebo přítomností šumu v důsledku pohybových artefaktů, světelného šumu aj. Cílem této práce je charakterizovat vlastnosti výstupního signálu SpO₂ typické pro nezralé novorozence, které by bylo možné následně implementovat do komplexního matematického modelu oxygenace nezralého novorozence.

Použité metody

Hlavní součástí modelu pulzního oxymetru nezralého novorozence je SpO₂–SaO₂ bias, který popisuje typickou odchylku měřené hodnoty SpO₂ jako funkci správné hodnoty SaO₂. Funkční závislost SpO₂ na SaO₂ byla určena na základě klinických dat z prospektivní multicentrické observační studie na 225 mechanicky ventilovaných hypoxémických dětech ve věku od 37. gestačního týdne do 60. dne od porodu, které k dalšímu zpracování poskytl Ross a kol. SpO₂–SaO₂ bias byl vypočítán ve třech sousedících intervalech SaO₂. Pro SaO₂ v rozmezí 70–96 % byl pro každou hodnotu SaO₂ vypočítán medián všech hodnot SpO₂. Následně byly tyto mediány proloženy polynomickou funkcí 3. řádu. Pro SaO₂ menší než 70 % byla odchylka ponechána konstantní, rovná odchylce pro hodnotu SaO₂=70 % určené polynomickou funkcí 3. řádu. Pro SaO₂ větší než 96 % byla odchylka určena jako nulová.

Dále byla určena charakteristika základního šumu vznikajícího vlivem různých artefaktů, s výjimkou významných pohybových artefaktů. Charakteristika šumu byla určena z kontinuálních záznamů SpO_2 naměřených ve Všeobecné fakultní nemocnici v Praze na 5 stabilních spontánně dýchajících novorozencích bez známých patologií získaná během prvního dne po porodu s minimální délkou záznamu 10 hodin. Charakteristika šumu byla určena pouze ze stabilních úseků signálu SpO_2 bez výrazných desaturací, pohybových či jiných artefaktů. Hodnota šumu byla vypočítána pro každý časový vzorek jako rozdíl naměřené hodnoty SpO_2 od vypočtené hodnoty SpO_2 , která byla považována za správnou hodnotu bez šumu. Správná hodnota SpO_2 bez šumu byla pro každý vzorek určena pomocí mediánového filtru s délkou okna 20 minut.

Výsledky

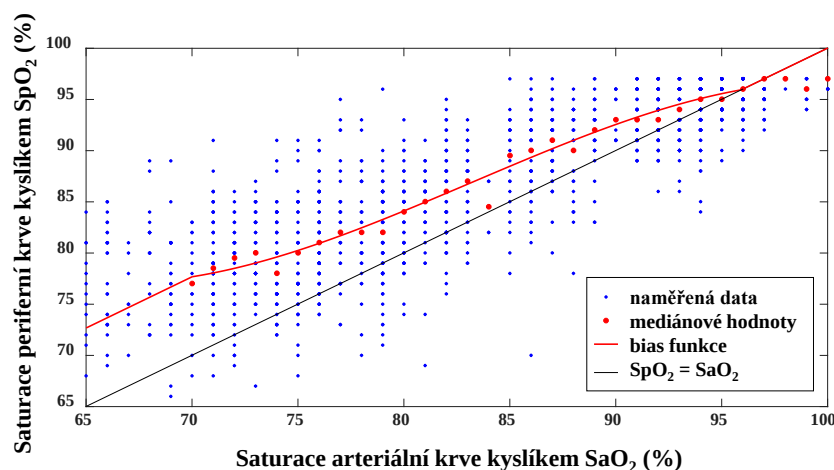
Funkční závislost SpO_2 na SaO_2 , vypočítanou z klinických dat z multicentrické studie, lze charakterizovat ve třech intervalech SaO_2 pomocí níže uvedených matematických vztahů. SpO_2 - SaO_2 bias je dále zobrazen na Obr. 1.

Pro SaO_2 v rozmezí 0–70 %: $SpO_2(\%) = SaO_2 + SpO_2^{SaO_2=70\%} = SaO_2 + 7,66$

Pro SaO_2 v rozmezí 70–96 %:

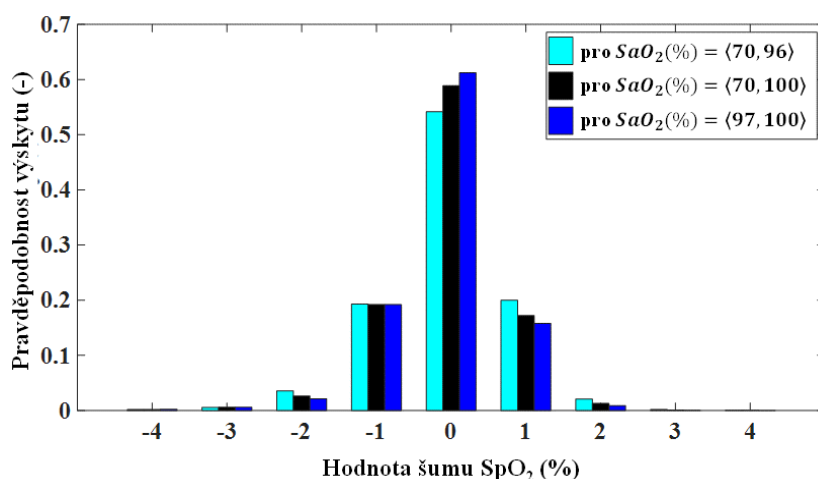
$$SpO_2(\%) = -0,001 \cdot (SaO_2)^3 + 0,262 \cdot (SaO_2)^2 - 20,896 \cdot SaO_2 + 617,496$$

Pro SaO_2 v rozmezí 96–100 %: $SpO_2(\%) = SaO_2$



Obr. 1. SpO_2 - SaO_2 bias vypočítaný z experimentálních dat poskytnutých Rossem a kol.

Statistické vlastnosti náhodného šumu byly určeny pro soubor všech vybraných časových vzorků od všech pacientů. Statistické vlastnosti byly také určeny zvlášť pro dva intervaly saturace arteriální krve kyslíkem, $SaO_2 \leq 96$ % a $SaO_2 \geq 97$ %, kdy hodnoty SaO_2 byly vypočítány z příslušných správných hodnot SpO_2 bez šumu dle rovnic pro SpO_2 - SaO_2 bias uvedených výše. Výsledný šum je charakterizován histogramem na Obr. 2.



Obr. 2. Normalizovaný histogram SpO_2 šumu.

Diskuse

Hlavním přínosem této práce je stanovení vlastností výstupního signálu SpO_2 nezralého novorozence, které budou implementovány do modelu oxygenace nezralého novorozence. Výstupní signál SpO_2 se skládá z SpO_2 – SaO_2 biasu, odchylky měřené SpO_2 od skutečné SaO_2 , dle klinických dat z rozsáhlé multicentrické studie. Tato odchylka je v souladu i s jinými publikovanými studiemi. Dále byl k signálu SpO_2 přidán šum, charakteristický pro měření SpO_2 na stabilních novorozencích. Pro určení šumu byly použity záznamy fyziologických spontánně dýchajících novorozenců v prvních 24 hodinách po porodu, ze kterých byly odfiltrovány významné propady signálu v důsledku desaturací či pohybových artefaktů. Do budoucna je potřeba na základě klinických dat charakterizovat vlastnosti šumu v signálu SpO_2 při pohybových artefaktech a také určit šum pro méně stabilní novorozence.

Závěr

Tato práce navrhla metody pro výpočet systematické odchylky mezi saturací arteriální a periferní krve kyslíkem typické pro nezralé novorozence a pro výpočet šumu v signálu SpO_2 , charakteristického pro kontinuální monitorování saturace periferní krve kyslíkem. Tyto výsledky pomohou vylepšit simulace vývoje oxygenace nezralých novorozenců ve srovnání s reálnými situacemi pozorovanými v klinické praxi.

Poděkování

Tato práce byla podpořena projekty CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_027/0008465 a CZ.2.16/3.1.00/21564 a grantem SGS17/203/OHK4/3T/17.

Reference

- [1] FATHABADI, O.S., et al. *Automated control of inspired oxygen for preterm infants: what we have and what we need*. Biomedical Signal Processing and Control, 2016. 28: 9-18.
- [2] SANCHEZ-MORILLO, D., et al. *Physiological closed-loop control in intelligent oxygen therapy: a review*. Computer methods and programs in biomedicine, 2017. 146: 101-108.

- [3] ROSS, P.A. – NEWTH, C.J.L. – KHEMANI, R.G. *Accuracy of pulse oximetry in children*. Pediatrics, 2014. 133: 22-29.
- [4] BACHMAN, T.E., et al. *Characterization of the bias between oxygen saturation measured by pulse oximetry and calculated by an arterial blood gas analyzer in critically ill neonates*. Lékař a technika-Clinician and Technology, 2017. 47: 130-134.

Časové zpoždění distribuce O_2 ve ventilačním systému po změně FiO_2 : Vylepšení matematického modelu

Leoš TEJKL

¹ Katedra biomedicínské techniky, Fakulta biomedicínské inženýrství, České vysoké učení technické v Praze, Náměstí Sítná 3105, 272 01 Kladno

leos.tejkl@fbmi.cvut.cz

Abstrakt. Předčasně narozené děti často trpí hypoxémií. Normoxémie je udržována úpravou frakce kyslíku (FiO_2) v inhalované ventilační směsi, která se nastavuje ručně nebo automaticky na základě měřené periferní saturace kyslíkem (SpO_2) pulzním oxymetrem. Automatické zpětnovazební řídicí systémy pro oxygenaci organismu mají mnoho výhod; ta nejdůležitější je delší doba v cílovém rozmezí hodnot SpO_2 . Byl navržen matematický model přenosu kyslíku předčasně narozeného novorozence, který by mohl být užitečným nástrojem pro návrh, ověření a porovnání automatických řídicích algoritmů. V této práci byl vylepšen původní matematický model použitím experimentálně získaných časových zpoždění dodávky O_2 po změně FiO_2 během neinvazivní ventilační podpory nCPAP. Blok zpoždění byl implementován do původního matematického modelu, který umožňuje realističtější výkon modelu při simulaci regulace oxygenace v uzavřené smyčce.

Klíčová slova: Matematický model, předčasně narozený novorozenec, zpoždění distribuce kyslíku, respirační podpora.

Úvod

Kyslíková terapie je nezbytnou léčbou předčasně narozených dětí trpících hypoxémií v důsledku nedostatečného rozvoje nervového, respiračního nebo kardiovaskulárního systému [1]. Kromě invazivní mechanické ventilace může být směs se zvýšenou frakcí kyslíku (FiO_2) dodávána pomocí neinvazivní ventilace s kontinuálním pozitivním tlakem v dýchacích cestách (nCPAP) nebo pomocí nosní kanyly s vysokoprůtočnou zvlhčenou ventilační směsí (HFHHNC) [2]. Hypoxémie vede k nedostatečnému okysličování tkání, kyslíková terapie na druhou stranu představuje riziko hyperoxémie, která může mít negativní vliv na sítnici oka a vývoj plic [3]. Běžně je používáno ruční řízení podle aktuální hodnoty saturace periferní krve kyslíkem (SpO_2). Ruční řízení je časově náročné a několik studií dokumentuje, že personál v klinické praxi často nedokáže udržet SpO_2 v požadovaném rozsahu [4, 5]. Automatické zpětnovazební systémy, které nepřetržitě upravují FiO_2 zajišťují správnou oxygenaci u předčasně narozených dětí [3, 6, 7].

Při vývoji automatických regulačních algoritmů se používají matematické modely vztahu $FiO_2 - SpO_2$ [6]. Morozoff et al vytvořil model, který byl implementován v prostředí Matlab – Simulink (Mathworks, Natick, USA) [7, 8]. V modelu nebylo zahrnuto časové zpoždění mezi změnou ve směšovači vzduch/kyslík a skutečnou změnou FiO_2 v dýchacích cestách [9]. Ve snaze zlepšit dostupný matematický model neonatálního transportu kyslíku bylo cílem této práce implementovat časové zpoždění dodávky kyslíku po změně FiO_2 během neinvazivní ventilační podpory z naměřených údajů.

Použité metody a materiál

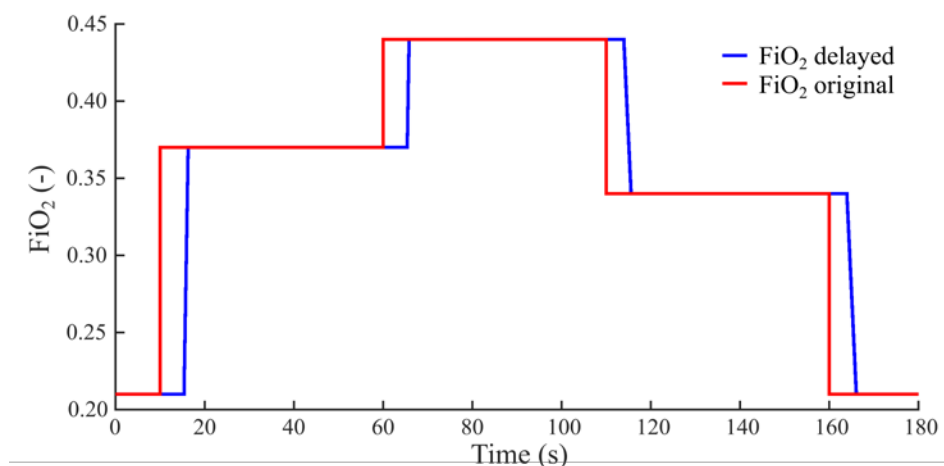
Naměřené hodnoty zpoždění nCPAP ventilátoru z laboratorního experimentu byly použity pro implementaci do zpožďovacího bloku matematického modelu. Zpoždění bylo rozděleno na fázi plató (čas 1) a fázi růstu (čas 2). Blok zpoždění porovnává velikost změny frakce a průtoku plynu a poté vypočítá délku zpoždění pro fázi plató a fázi růstu. V případě zpoždění času 1 ve fázi plató se zpoždění přidá do signálu. Ve fázi růstu, kde je zpoždění popsáno časem 2, je exponenciální změna nahrazena rostoucí lineární funkcí pomocí *Dynamic rate limiter* v Simulinku. To znamená, že fáze růstu není nikdy rychlejší než popsaná rostoucí přímka.

Naměřená zpoždění byla interpolována polynomem třetího stupně pro $R^2 > 0,95$. Blok zpoždění používá tři varianty velikosti změny: dvě z naměřených dat zpoždění a třetí vypočtená z průměru naměřených dat. První pro $\Delta \text{FiO}_2 < 15\%$, druhá pro $15\% \leq \Delta \text{FiO}_2 \leq 25\%$, třetí pro $\Delta \text{FiO}_2 > 25\%$. Blok zpoždění byl vytvořen implementací rovnic vytvořených zpožděním času 1 a času 2 pro plató a fázi růstu. Celkové zpoždění je popsáno dvanácti rovnicemi. Šest z nich pro epizody nárůstu FiO_2 a šest pro epizody poklesu FiO_2 .

Blok zpoždění používá dva vstupy: aktuální FiO_2 (%) a průtok (L/min). Aktuální FiO_2 je porovnávána v každém kroku s předchozí hodnotou. Při změně se použijí dvě rovnice: první pro fázi plató a druhá pro fázi růstu podle směru a velikosti změny. Na obrázku 1 je znázorněna implementace zpožďovacího členu v prostředí Matlab – Simulink.

Výsledky

Řídící logika automaticky vyhodnotí, zda jde o nárůst, či pokles FiO_2 a o jak velkou změnu se jedná při daném průtoku. Podle těchto podmínek je vybrána rovnice, která vypočte velikost zpoždění. Na obrázku 1 je porovnáno originální a zpožděné FiO_2 .



Obr. 1. Porovnání originálního a zpožděného FiO_2 při průtoku 10 L/min. Nárůst v čase 10 s a 60 s. Pokles v čase 110 s a 160 s.

Diskuze

Implementace bloku zpoždění v matematickém modelu je založena na aktuální hodnotě FiO_2 a velikosti průtoku ventilační směsi. Řídící logika nastavuje časové zpoždění podle těchto dvou parametrů. V modelu je doba zpoždění rozdělena na fázi plató a fázi růstu. Fáze růstu je v modelu zjednodušena rostoucí lineární funkcí místo exponenciálního růstu.

Lineární funkce, jejíž směrnice vychází z jedné časové konstanty je nejrychlejší změnou, ke které může dojít. Použití jedné časové konstanty je z důvodu hlavní změny v první části fáze růstu. Vylepšení stávajícího modelu zvyšuje jeho přesnost a použitelnost jako nástroje pro testování různých přístupů k řízení oxygenace novorozenců.

Závěr

V této práci je popsáno vylepšení matematického modelu předčasně narozeného novorozence pomocí implementace časového zpoždění kyslíku po změně frakce kyslíku ve vdechované ventilační směsi během nCPAP ventilační podpory. Vylepšený model je praktickým nástrojem pro vývoj a testování automatických systémů řízení uzavřené smyčky $\text{FiO}_2 - \text{SpO}_2$ pro předčasně narozené novorozence.

Poděkování

Práce byla podpořena ČVUT v Praze, grantem SGS17/203/OHK4/3T/17. Práce byla podpořena projektem OP Prague Competitiveness „The Quality Care Improvement of Preterm Newborns“, reg.no. CZ.2.16/3.1.00/21564, spolufinancované Evropským fondem pro regionální rozvoj.

Reference

- [1] LOMAURO, A., ALIVERTI, A. Physiology Masterclass: Extremes of Age. *Breathe*, 2016, vol. 12, no. 1, p. 65–68. DOI: 10.1183/20734735.013315. ISSN 1810-6838.
- HASAN, A. *Understanding Mechanical Ventilation: A Practical Handbook*. 2nd ed. New York, NY: Springer, 2010. ISBN 978-184-8828-681.
- FATHABADI, O. S., GALE, T. J., OLIVIER, J. C., DARGAVILLE, P. A. Automated Control of Inspired Oxygen for Preterm Infants: What We Have and What We Need. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2016, vol. 28, p. 9–18. DOI: 10.1016/j.bspc.2016.03.002. ISSN 1746-8094
- FREY, B. Oxygen Administration in Infants. *Archives of Disease in Childhood - Fetal and Neonatal Edition*. 2003, vol. 88, no. 2, p. F84–F88. DOI: 10.1136/fn.88.2.F84. ISSN 1359-2998.
- FATHABADI, O. S., GALE, T. J., LIM, K., SALMON, B. P., DAWSON, J. A., WHEELER, K. I., OLIVIER, J. C., DARGAVILLE, P. A. Characterisation of the Oxygenation Response to Inspired Oxygen Adjustments in Preterm Infants. *Neonatology*, 2015, vol. 109, no. 1, p. 37–43. DOI: 10.1159/000440642. ISSN 1661-7800.
- ZAPATA, J., GÓMEZ, J. J., ARAQUE CAMPO, R., MATIZ RUBIO, A., SOLA, A. A Randomised Controlled Trial of an Automated Oxygen Delivery Algorithm for Preterm Neonates Receiving Supplemental Oxygen without Mechanical Ventilation. *Acta Paediatrica*, 2014, vol. 103, no. 9, p. 928–933. DOI: 10.1111/apa.12684. ISSN 0803-5253.
- MOROZOFF, E. P., SAIF, M. Oxygen Therapy Control of Neonates – Part I: A Model of Neonatal Oxygen Transport. *Control and Intelligent Systems*, 2008, vol. 36, no. 3, p. 227–237. ISSN 1480-1752.
- [2] MOROZOFF, E. P., SAIF, M. Oxygen Therapy Control of Neonates: Part II – Evaluating Manual, PID and Fuzzy Logic Controller Designs. *Control and Intelligent Systems*, 2008, vol. 36, no. 3, p. 238 – 249. ISSN 1480-1752.
- [3] MOROZOFF, E. P. *Modelling and fuzzy logic control of neonatal oxygen therapy*. [Master thesis]. Burnaby: Simon Fraser University, Department of Engineering Science, 1996.

Analýza cerebrálních perfuzních tlaků u pacientů s traumatickým poraněním mozku

Anna PLHALOVÁ

¹ Katedra biomedicínské techniky, Fakulta biomedicínského inženýrství, České vysoké učení technické v Praze, Náměstí Sítná 3105, 272 01 Kladno

anna.plhalova@fbmi.cvut.cz

Abstrakt. Intrakraniální tlak a cerebrální perfuzní tlak jsou předními parametry, které jsou sledovány při monitorování mozku. Především u pacientů s traumatickým poraněním mozku je důležité tyto parametry sledovat, protože nefunguje přirozená mozková autoregulace, která udržuje konstantní hodnotu těchto tlaků, proto je zapotřebí tuto schopnost nahradit. Cílem této práce je analýza sady dat, do jaké míry byla kompenzace mozkové autoregulace zdárná. Do studie byli vybráni pacienti s traumatickým poraněním mozku, jejich intrakraniální tlak byl kontinuálně monitorován. Získaná data budou zpracována v software ICM+ a vyhodnocena statisticky. Očekávané výsledky poukazují na to, že schopnost mozkové autoregulace byla dobře nahrazena.

Klíčová slova: Brain-monitoring, intracranial pressure, traumatic brain injury

Úvod

Monitorování mozku pomáhá udržovat funkční integritu centrálního nervového systému. Především u pacientů, jejichž neurologický stav se rapidně mění, jsou detekovány náhlé změny neurologických funkcí během operativních zákroků, ale také během intenzivní péče po zákroku. Základní variantou je monitorování intrakraniálního tlaku (ICP), jehož hodnotu je důležité sledovat především u pacientů po traumatickém poranění mozku (TBI). Důležitým sledovaným parametrem je cerebrální perfuzní tlak (CPP), který je hnací silou správné mozkové perfuze a oxygenace. Jeho hodnota odpovídá rozdílu intrakraniálního tlaku a středního arteriálního (MAP). Pro správnou funkci celého těla, je důležitá mozková autoregulace, která zahrnuje kompenzační mechanismy, které zajišťují udržování fyziologické hodnoty intrakraniálního tlaku. Pacienti s TBI mají tuto schopnost značně omezenou nebo ji nemají vůbec, proto je nutné ji nahradit. Pomocí medikamentů je u pacientů s TBI udržována konstantní hodnota středního arteriálního tlaku taková, aby rozdíl mezi naměřeným ICP a MAP odpovídal fyziologické hodnotě CPP. Cílem této práce je vyhodnocení procesu terapie pacientů s TBI, tedy do jaké míry se dařilo udržovat fyziologickou hodnotu CPP.

Použité metody a materiál

Tato práce bude koncipována jako retrospektivní studie na sadě dat. Data byla získána prostřednictvím neurologického oddělení nemocnice v Ústí nad Labem.

Metody monitorace mozku jsou jak invazivní, tak neinvazivní. Pro invazivní snímání se nejčastěji používá systém externí ventrikulární drenáže, který kromě snímání dokáže odvádět mozkomíšní mok a zajistit tak pokles ICP. Mezi metody neinvazivní se řadí například transkraniální Dopplerova ultrasonografie, pomocí které jsme schopni detekovat specifické

změny krevního průtoku, které souvisí se změnami ICP a CPP. Dané změny krevního průtoku jsou snímány ultrazvukovou sondou umístěnou na hlavě.

Pro analýzu naměřených parametrů bude použit software ICM+, který se běžně používá pro monitoraci mozku a vyhodnocení naměřených dat. Pro interpretaci výsledků budou zvoleny statistické metody vyhodnocení dat.

Diskuse

Vzhledem k tomu, že samotná analýza dat nebyla započata, nemohu nijak diskutovat dosavadní výsledky. Získané výsledky budou vyhodnoceny statisticky. Výsledky, které jsou očekávány, poukazují na zdárnou terapii pacientů s TBI, tedy na provedení dobré kompenzace mozkové autoregulace.

Závěr

Data budou zpracována pomocí softwaru ICM+. Výsledky budou vyhodnoceny pomocí statistických metod.

Reference

- [1] CARDIM, Danilo, Bernhard SCHMIDT, Chiara ROBBA, Joseph DONNELLY, Corina PUPPO, Marek CZOSNYKA a Peter SMIELEWSKI. Transcranial Doppler Monitoring of Intracranial Pressure Plateau Waves. *Neurocritical Care* [online]. 2017, 26(3), 330-338 [cit. 2019-05-13]. DOI: 10.1007/s12028-016-0356-5. ISSN 1541-6933. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12028-016-0356-5>
- [2] DIAS, Celeste, Maria João SILVA, Eduarda PEREIRA, et al. Optimal Cerebral Perfusion Pressure Management at Bedside: A Single-Center Pilot Study. *Neurocritical Care* [online]. 2015, 23(1), 92-102 [cit. 2019-05-13]. DOI: 10.1007/s12028-014-0103-8. ISSN 1541-6933. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12028-014-0103-8>
- [3] PRABHAKAR, Hemanshu. *Neuromonitoring techniques: quick guide for clinicians and residents*. London: Elsevier/Academic Press, 2018. ISBN 9780128099155.

Problematika hodnocení dechového úsilí pomocí simulátoru plic ASL 5000

Ing. Anna Miltová

¹ Katedra biomedicínské techniky, Fakulta biomedicínského inženýrství, České vysoké učení technické v Praze, Náměstí Sítná 3105, 272 01 Kladno

anna.miltova@fbmi.cvut.cz

Abstrakt. V případě hodnocení dechového úsilí spontánně dýchajícího subjektu je hodnoceno navýšené, tzv. imposed dechové úsilí pomocí parametrů iWoB (imposed Work of Breathing) a iPTP (imposed Pressure-Time Product), které je rovno energii potřebné pro překonání odporu uměle přidaného před respirační soustavu. Byl proveden experiment pomocí simulátoru plic ASL 5000 (IngMar Medical, USA), nastavitelného průtočného odporu a anesteziologického monitoru vitálních funkcí Datex-Ohmeda S/5 (GE Healthcare, USA), jehož cílem bylo zhodnotit chování parametrů iWoB a iPTP na základně zvyšujícího se průtočného odporu. Pro hodnocení bylo využito normalizace dle dechového cyklu, jednotkového času, jednotkového objemu a jednotkové minutové ventilace. Bylo zjištěno, že v případě normalizace dle dechového cyklu a jednotkového času dochází k poklesu hodnot iWoB a limitaci parametru iPTP. V případě uvažování normalizace dle dechového objemu a minutové ventilace dochází k limitaci parametru iWoB a parametr iPTP není nijak limitován a jeho hodnoty nadále rostou. iPTP normalizovaný dechovým objemem a minutovou ventilací jeví jako nejvhodnější parametry pro popis dechového úsilí.

Klíčová slova: dechové úsilí, work of breathing, pressure time product, ASL 5000

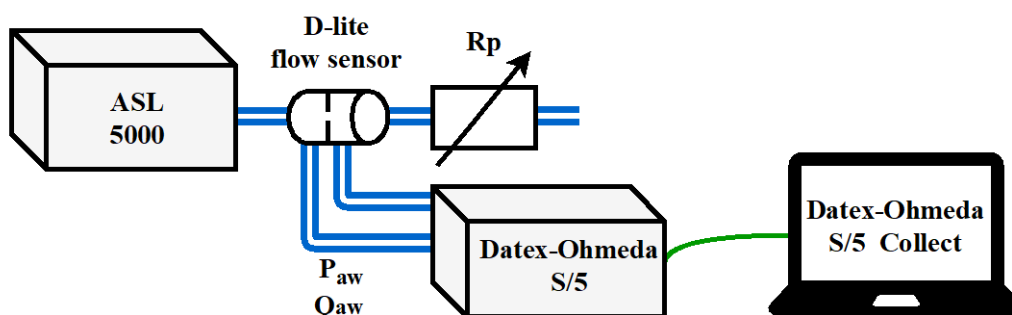
Úvod

Dle [1] je za dechové úsilí uvažováno jakékoliv množství energie, potřebné pro zajištění ventilace. V klinické praxi je dechové úsilí nejčastěji hodnoceno pomocí parametru Work of Breathing (WoB) a Pressure-Time Product (PTP). V případě hodnocení dechového úsilí spontánně dýchajícího subjektu je hodnoceno navýšené, tzv. imposed dechové úsilí pomocí parametrů iWoB (imposed WoB) a iPTP (imposed PTP), které je rovno energii potřebné pro překonání odporu uměle přidaného před respirační soustavu.

Metody

Byl proveden experiment pomocí simulátoru plic ASL 5000 (IngMar Medical, USA) a navrženého nastavitelného průtočného odporu. Nastavitelný průtočný odpor byl vytvořen ze dvou do sebe šroubovatelných duralových koncovek (závit M18x1,5) a vyměnitelné teflonové clonky s otvorem o různém vnitřním průměru, která se vkládá mezi koncovky. Po proměření průtokově-tlakových charakteristik jednotlivých průměrů otvorů clon byl vypočítán jejich průtočný odpor.

Na simulátoru plic ASL 5000 byl vybrán přednastavený režim Adolescent, simulující spontánní dýchání dospívajícího mladistvého s maximálním inspiračním i expiračním tlakem generovaným svaly 10 cmH₂O·s, dechovou frekvencí tři dechy za minutu a dechovým objemem 400 mL. Anesteziologickým monitorem vitálních funkcí Datex-Ohmeda S/5 (GE Healthcare, USA) byl pomocí standardní clonky D-Lite (GE Healthcare, USA) měřen proximální tlak P_{aw} a průtok Q_{aw} v dýchacích cestách. Signály tlaku a průtoku byly zaznamenány pro všechny průměry otvorů clon, tzn. pro všechny průtočné odpory. Uspořádání experimentu je zobrazeno na Obrázku 1.



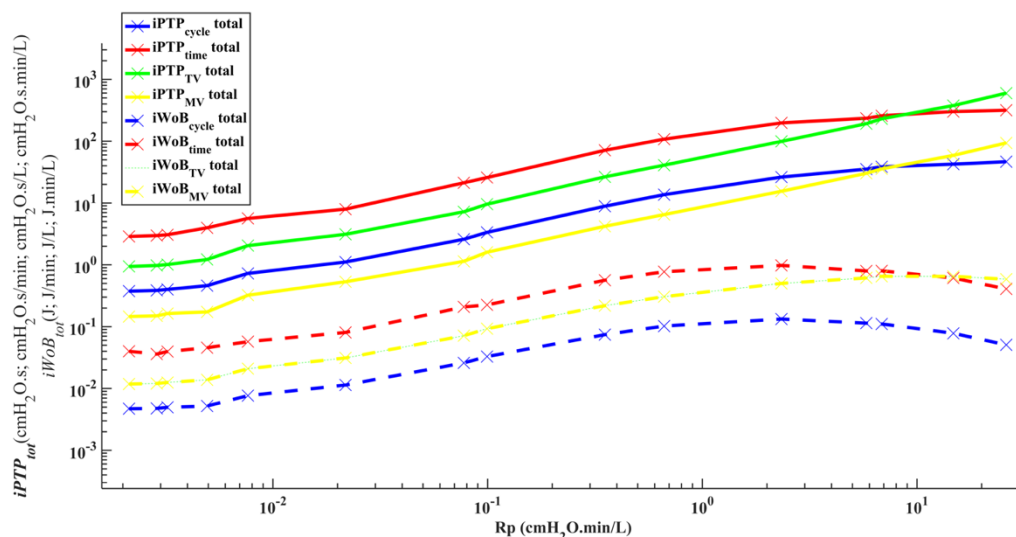
Obrázek 1: Uspořádání experimentu se simulátorem plic ASL 5000

Výsledky

Ze získaných průběhů P_{aw} a Q_{aw} byly vypočítány parametry iWoB a iPTP, včetně jejich normalizací. Pro parametr iPTP byla zvolena základní jednotka cmH₂O|s a následně byly uvažovány normalizace dle jednotkového času (cmH₂O|s/min), jednotkového dechového objemu (cmH₂O|s/L) a jednotkové minutové ventilace (cmH₂O|s·min/L).

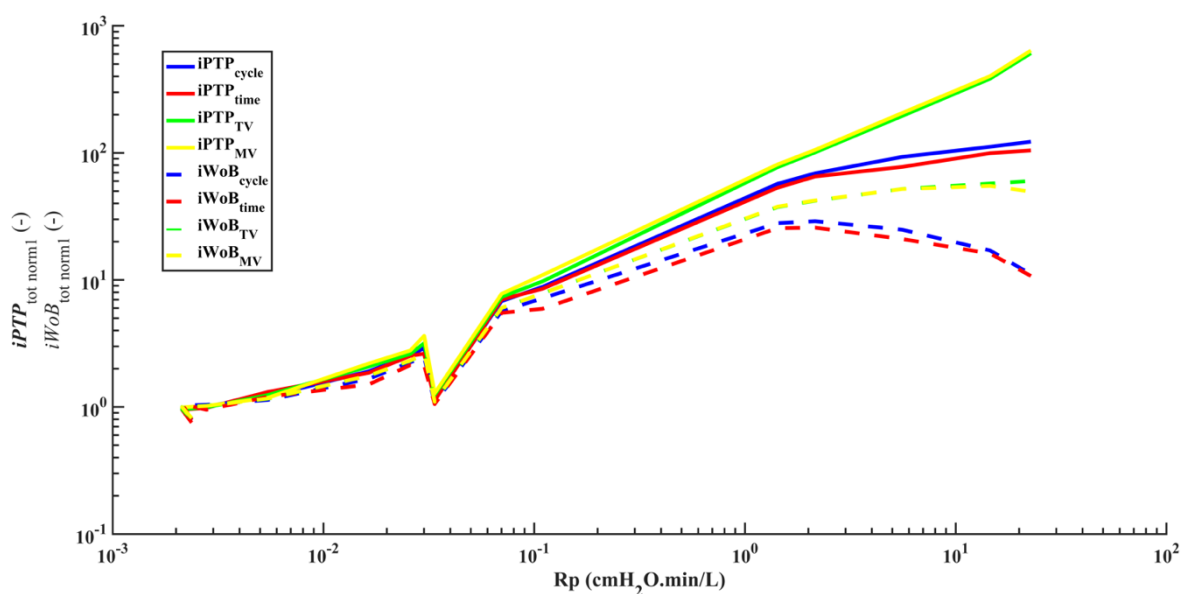
Pro parametr iWoB byla zvolena základní jednotka Joul (J) a následně byly uvažovány normalizace dle jednotkového času (J/min), jednotkového dechového objemu (J/L) a jednotkové minutové ventilace (J|min/L).

Hodnoty byly vneseny do grafu závislosti normalizovaných parametrů na zvyšujícím se průtočném odporu, který je zobrazen na Obrázku 2.



Obrázek 2: Závislost vypočítaných a normalizovaných parametrů iPTP a iWoB na zvyšujícím se průtočném odporu R_p .

V případě normalizace hodnot iPTP a iWoB jejich nejmenší hodnotou byl získán graf na Obrázku 3.



Obrázek 3: Závislost normalizovaných parametrů iPTP a iWoB jejich nejmenší hodnotou na zvyšujícím se průtočném odporu R_p

Diskuse

Hlavním zjištěním navrženého experimentu jsou rozdílné průběhy parametrů iPTP a iWoB v závislosti na zvyšujícím se průtočném odporu a to včetně jejich normalizací. V případě hodnocení dechového úsilí pomocí klinicky běžně více využívaného parametru

iWoB dochází v závislosti na zvyšujícím se průtočném odporu k limitaci (na Obrázku 2 žlutá a zelená přerušovaná křivka) či dokonce až k poklesu (na Obrázku 2 červená a modrá přerušovaná křivka) vypočítaných hodnot v důsledku snižujícího se průtoku. V případě hodnocení dechového úsilí pomocí parametru iPTP dochází v závislosti na zvyšujícím se průtočném odporu k limitaci (na Obrázku 2 modrá a červená křivka) či k dalšímu pozvolnému nárůstu (na Obrázku 2 žlutá a zelená křivka) vypočítaných hodnot. V případě normalizace získaných parametrů iWoB a iPTP jejich nejmenší hodnotou byl získán rozdílový graf na Obrázku 3. Průběhy iWoB i iPTP potvrzují výše uvedené závislosti, že v případě normalizace dle dechového cyklu a jednotkového času dochází u parametru iWoB k poklesu a u parametru iPTP k limitaci. Naopak v případě uvažování normalizace dle dechového objemu a minutové ventilace dochází pouze k limitaci parametru iWoB a parametr iPTP není nijak limitován a jeho hodnoty nadále rostou.

Na Obrázku 3 je viditelné jak se průběhy parametrů iWoB a iPTP rozcházejí už i v případě uvažování nižších hodnot průtočného odporu. Rozdílné průběhy mezi parametry iWoB a iPTP vycházejí z rozdílného principu jejich výpočtu. Výpočet parametru iWoB uvažuje změnu tlaku i změnu průtoku, naopak výpočet parametru iPTP změnu průtoku záměrně zanedbává a uvažuje pouze změnu tlaku. Navržený experiment je zatížen limitací používané techniky, zvláště nastavitelného průtočného odporu. Pro výrobu vyměnitelných disků byl zvolen teflon, který technicky neumožňuje výrobu disků tenčích než stávající 4 mm. Z tohoto důvodu pravděpodobně dochází ke vzniku turbulencí, či jiným nežádoucím jevům z důvodu mechaniky tekutin. Tyto negativní jevy vedou k zarušení a následnému ovlivnění naměřených hodnot, které je zobrazeno na Obrázku 3 jako výrazný pokles u všech hodnot.

Závěr

Bylo zjištěno, že v případě normalizace dle dechového cyklu a jednotkového času dochází k poklesu hodnot iWoB a k limitaci parametru iPTP. V případě uvažování normalizace dle dechového objemu a minutové ventilace dochází k limitaci parametru iWoB a parametr iPTP není nijak limitován a jeho hodnoty nadále rostou. iPTP normalizovaný dechovým objemem a minutovou ventilací jeví jako nejvhodnější parametry pro popis dechového úsilí.

Poděkování

Experiment byl podpořen grantem SGS 1611714G000.

Reference

[1] BELLANI, Giacomo a Antonio PESENTI. Assessing effort and work of breathing. Current Opinion in Critical Care [online]. 2014, 20(3), 352-358 [cit. 2019-02-19]. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000089. ISSN 1070-5295.

Fyzikální vlastnosti materiálu při dýchání v simulovaném lavinovém sněhu

Bc. Šimon Walzel

¹ Katedra biomedicínské techniky, Fakulta biomedicínského inženýrství, České vysoké učení technické v Praze, Náměstí Sítná 3105, 272 01 Kladno

walzesim@fbmi.cvut.cz

Abstrakt

Podle statistik zemrou pod lavinou až stovky lidí ročně, a proto se touto problematikou zabývá ve světě hned několik výzkumných týmů. Tento výzkum by mohl pomoci pochopit jednotlivé děje, které nastávají při dýchání pod lavinovým sněhem, protože většina obětí zemře právě v důsledku asfyxie. Cílem práce bylo navrhnout, sestavit a otestovat vhodnou aparaturu, která by umožňovala studium konvekčních a difuzních vlastností respiračních plynů v simulovaném lavinovém sněhu. Aparatura se skládala z plastového válce (1200 mm dlouhý, 300 mm vnitřní průměr) se 13 vzorkovacími jehlami připojenými k monitoru vitálních funkcí S/5 (Datex-Ohmeda, GE Healthcare, Chicago, USA) s modulem pro analýzu plynů. Suchý perlit, mokrá perlit a sníh byly použity jako materiál simulující lavinový sníh. Byly studovány dvě situace distribuce respiračních plynů: jednoduchá difuze bez nuceného podélného průtoku a kombinace konvekce a difuze. Směs kyslíku (16%) a oxidu uhličitého (5%) vyvážená dusíkem byla použita jako sledovaná plynná směs. V průběhu experimentů byly měřeny změny koncentrací kyslíku a oxidu uhličitého v podélném směru aparatury po 50 mm. Bylo zjištěno, že kyslík se šíří ve všech použitých materiálech rychleji než oxid uhličitý vlivem difuze bez konvekce. Za určitých podmínek by mohl simulovat difuzní vlastnosti sněhu použitý perlit. Oba respirační plyny se šíří stejnou rychlostí při konvekčním pohybu v suchém perlitu. Na základě popsaných mechanismů v této práci vyplynuly rychlejší difuzní vlastnosti kyslíku, které by mohly zajišťovat vyšší dodávku kyslíku pro lidský organismus při dýchání pod lavinovým sněhem.

Klíčová slova: difuze, difuzní koeficient, konvekce, respirační plyny, perlit, sníh

Úvod

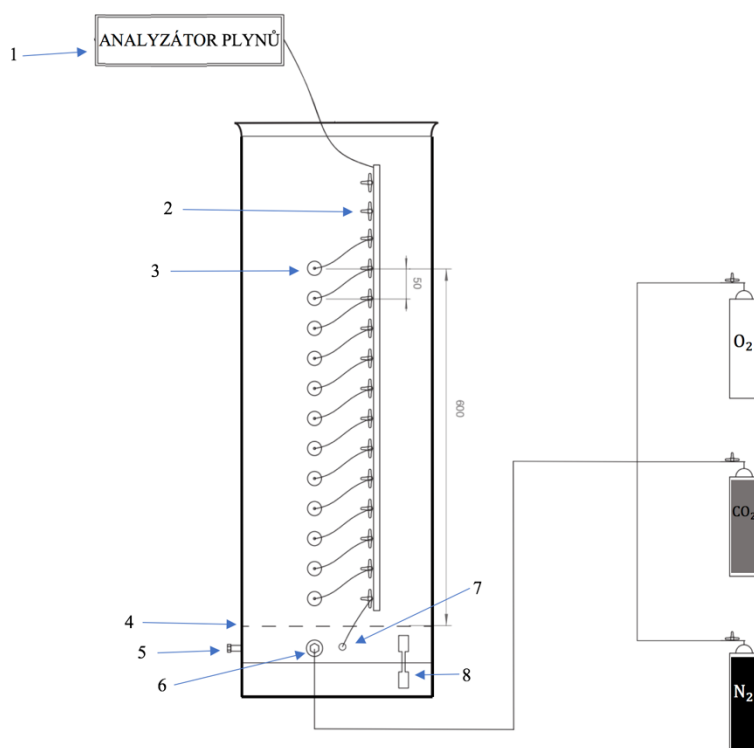
Se vzrůstajícím zájmem o zimní aktivity dochází také k růstu počtů úmrtí v důsledku zasypaní lavinovým sněhem, a proto se tato problematika stává aktuální pro důkladnější studium příčin úmrtí. Dle evropských a amerických statistik zahynou pod lavinou až stovky lidí ročně [1,2]. Většina obětí zemře v důsledku zablokování dýchacích cest nebo v důsledku kritické hypoxie a hyperkapnie [3]. Při dýchání stále stejného vzduchu dochází v uzavřeném prostředí ke snižování koncentrace kyslíku a ke zvyšování koncentrace oxidu uhličitého. Rychlost tohoto procesu závisí zejména na vlastnostech sněhu [4].

Experiment se zabývá tématem, které může pomoci pochopit souvislosti ve výzkumu ohledně dýchání lidského organismu pod lavinou a také může pomoci při návrhu nových

preventivních pomůcek pro oběti zasypané lavinovým sněhem. Dále pomůže prohloubit znalosti ohledně difuzních vlastností respiračních plynů ve sněhu. Cílem práce je navrhnout a sestavit aparaturu pro studium konvekčních a difuzních vlastností respiračních plynů v simulovaném lavinovém sněhu, sestavený přípravek následně otestovat na simulovaném lavinovém sněhu, suchém perlitu a mokřem perlitu a tyto materiály mezi sebou porovnat.

Metody

Pro možnost provádění experimentů byla sestavena speciální aparatura, která se skládala z potrubí a jeho dalších komponentů (přezky, víko, síťka, trojcestné ventily, gumové zátky s infuzními jehlami, ventily), tlakových lahví s aparaturou pro namíchání směsi plynů a monitoru vitálních funkcí.



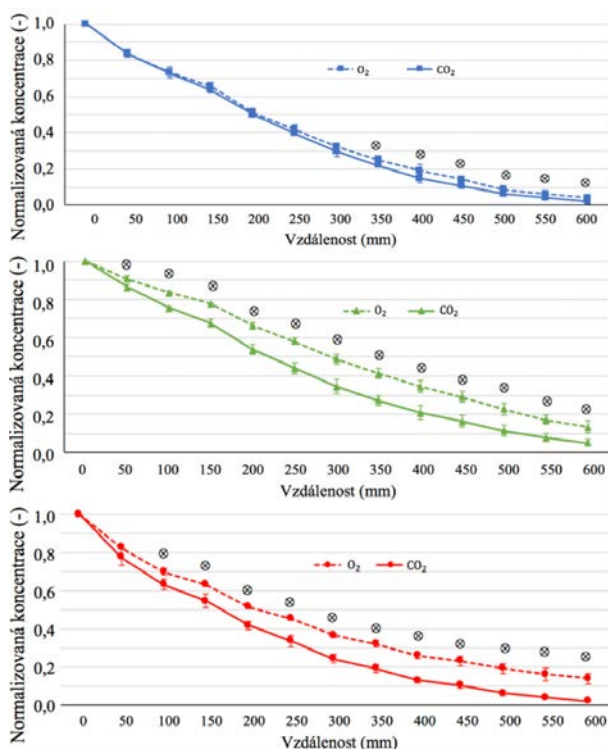
Obr. 2.1: Schéma měřicí aparatury. 1) monitor vitálních funkcí s modulem pro analýzu respiračních plynů, 2) trojcestný ventil, 3) gumová zátka s infuzní jehlou, 4) síťka oddělující potrubí na vstupní a měřicí komoru, 5) odvodní ventil, 6) přívodní ventil, 7) průchodka pro odběr vzorků směsi plynů, 8) přezka upevňující víko ke корпусu.

K záznamu šíření kyslíku a oxidu uhličitýho materiálem bylo využíváno monitoru vitálních funkcí S5 (Datex-Ohmeda, GE Healthcare, Chicago, USA), který obsahuje modul pro analýzu respiračních plynů. K odběru vzorků z jednotlivých míst v materiálu byla navržena konstrukce, která se skládala z infuzních jehel, na které byly napojeny hadičky s konektory luer lock, a hliníkové lišty s trojcestnými ventily. Za pomoci redukčních ventilů a škrticích ventilů byla vytvořena směs plynů, která byla tvořena z 15,9 % kyslíkem, 5 % oxidem uhličitým a zbytek (79 %) tvořil dusík. Složení bylo zvoleno tak, aby přibližně

odpovídalo vydechovanému složení vzduchu u lidí a aby byl koncentrační gradient pro kyslík a oxid uhličitý v absolutní hodnotě vůči vzduchu stejný (5 %). Každé měření se skládalo z měření fyzikálních vlastností materiálu a samotného měření difuzních či konvekčních vlastností respiračních plynů v daném materiálu. Suchý perlit, mokrý perlit a sníh byly použity jako materiál simulující lavinový sníh. Měření také proběhlo v laboratoři pro možnost porovnání výsledků s výsledky z terénního měření na horách.

Výsledky

Na Obr. 3.1, 3.2 a 3.3 jsou vyhodnoceny normalizované koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého v použitých materiálech po 60 minutách. Kyslík se ve všech materiálech šíří rychleji než oxid uhličitý. Na obr. 3.4 a 3.5 je znázorněno porovnání difuzivity kyslíku nebo oxidu uhličitého v podélném směru potrubí pro tři použité materiály.



Obr. 3.1: Normalizované naměřené koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého vztažené k přiváděné směsi v závislosti na vzdálenosti vstupní komory v suchém perlitu (⊗ – statistická významnost mezi kyslíkem a oxidem uhličitým.)

Obr. 3.2: Normalizované naměřené koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého vztažené k přiváděné směsi v závislosti na vzdálenosti vstupní komory v mokrém perlitu (⊗ – statistická významnost mezi kyslíkem a oxidem uhličitým.)

Obr. 3.3: Normalizované naměřené koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého vztažené k přiváděné směsi v závislosti na vzdálenosti vstupní komory ve sněhu (⊗ – statistická významnost mezi kyslíkem a oxidem uhličitým.)

(★ – statistická významnost mezi suchým perlitem a mokrým perlitem, ★ – statistická významnost mezi suchým perlitem a sněhem, ★ – statistická významnost mezi mokrým perlitem a sněhem)

Diskuse

Hlavním výsledkem bakalářské práce je sestavená aparatura pro studium difuzních a konvekčních vlastností respiračních plynů v různých materiálech. Ze zpracovaných grafů vyplývají rozdílné difuzní vlastnosti kyslíku a oxidu uhličitého ve všech použitých materiálech. Současně bylo zjištěno, že perlit by mohl mít za určité vlhkosti stejné difuzní či konvekční vlastnosti jako sníh.

Aparatura byla zkonstruována tak, aby splňovala na začátku definované požadavky. Robustnost aparatury byla vyřešena corpusem se zesíleným PVC, což umožnilo následnou snadnou manipulaci. Délka 1200 mm se jevila jako dostatečná pro záznam difuzních a konvekčních vlastností respiračních plynů.

Při porovnání difuzních vlastností mezi kyslíkem a oxidem uhličitým bylo zjištěno, že v suchém perlitu, kde by měla být vlhkost nulová, byla zjištěna statistická významnost mezi molekulami kyslíku a oxidu uhličitého ve vzdálenostech od 350 mm od vstupní komory. Rozdíl je nejspíše způsobený fyzikálními a chemickými rozdíly mezi molekulami respiračních plynů. Významnější rozdíl byl zjištěn u mokrého perlitu i sněhu, kde je rozdíl mezi respiračními plyny značný, což ukazují obrázky 3.2 a 3.3. V mokrému perlitu se šíří kyslík výrazně rychleji než v suchém perlitu. Autor se domnívá, že je to způsobené tím, že voda či led v mokrému perlitu ucpává póry v jednotlivých zrnech, což zapříčiní rychlejší obtékání molekul kolem jednotlivých zrn. Ve vzdálenostech do 250 mm od vstupní komory má sníh podobné difuzní vlastnosti jako suchý perlit pro kyslík, jak dokumentuje obrázek 3.4. S klesající hustotou sněhu se difuzní vlastnosti přibližují spíše mokrému perlitu. Při srovnání difuzních vlastností oxidu uhličitého v různých materiálech byly výsledky odlišné od kyslíku. Rozdíl mezi suchým a mokrým perlitem je výrazně nižší. Autor předpokládá, že to způsobuje adsorpce oxidu uhličitého ve vodě. Vzhledem k možné adsorpci oxidu uhličitého v kapalně vodě obsažené ve sněhu jsou difuzní vlastnosti výrazně pomalejší než u obou perlitů. Až při velmi nízké hustotě sněhu se přibližují difuzní vlastnosti suchému perlitu, což je zobrazeno na obr. 3.5.

Závěr

Na základě vyhodnocených grafů bylo zjištěno, že se v suchém perlitu kyslík šíří vlivem difuze rychleji než oxid uhličitý. V mokrému perlitu a ve sněhu je difuzivita kyslíku výrazně rychlejší než difuzivita oxidu uhličitého. Autor se domnívá, že je to nejspíše způsobené rozpouštěním oxidu uhličitého ve vodě, která je v mokrému perlitu a ve sněhu v kapalném stavu. Tento výzkum by mohl pomoci pochopit jednotlivé děje, které nastávají při dýchání pod lavinovým sněhem a následně by mohl výzkum sloužit pro úpravu a návrh nových preventivních pomůcek pro oběti zasypané lavinovým sněhem. Z popsáných mechanismů v této práci vyplynuly rychlejší difuzní vlastnosti kyslíku, které by mohly způsobovat vyšší dotaci kyslíku pro lidský organismus při dýchání pod lavinovým sněhem, avšak při dýchání záleží i na dalších procesech a parametrech, jako je například dechová práce.

Reference

- [1] TECHEL, F., F. JARRY, G. KRONTHALER, S. MITTERER, P. NAIRZ, M. VALT a G. DARMS. Avalanche fatalities in the European Alps: long-term trends and statistics. *Geographica Helvetica* [online]. 2016, (71), 147--159 [cit. 2018-12-06]. DOI: 10.5194/gh-71-147-2016. Dostupné z: <https://www.geogr-helv.net/71/147/2016/>
- [2] Statistics and reporting. Colorado Avalanche Information center [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://avalanche.state.co.us/accidents/statistics-and-reporting/>
- [3] MCINTOSH, Scott E., Colin K. GRISSOM, Christopher R. OLIVARES, Bruce TREMPER a Han S. KIM. Cause of Death in Avalanche Fatalities. *Wilderness & Environmental Medicine* [online]. 2007, 2007, (18), 293-297 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1080603207702582>
- [4] STRAPAZZON, Giacomo, Peter PAAL, Jürg SCHWEIZER a Markus FALK. Effects of snow properties on humans breathing into an artificial air pocket – an experimental field study. *Nature: Scientific reports* [online]. 2017 [cit. 2018-11-07]. DOI: 10.1038/s41598-017-17960-4. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-17960-4.pdf>



Informace o Nekonvenčním ventilačním týmu,
jeho aktivitách a publikacích:

www.ventilation.cz

Dokument o Nekonvenčním ventilačním týmu
je k dispozici na YouTube:

<http://www.youtube.com/watch?v=Ke-0YU-Oclw>

