

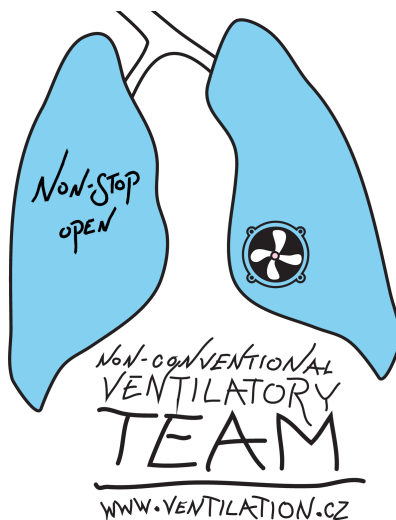
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra biomedicínské techniky

Respirační dny 2018

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

5. až 7. září 2018
Přední Labská u Špindlerova Mlýna

Sborník abstraktů



Respirační dny 2018

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

5. až 7. září 2018

Bumbálka, Přední Labská u Špindlerova Mlýna

Program konference:

Středa 5. 9. 2018:

- | | |
|---------------|--|
| 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 6. 9. 2018:

- | | |
|---------------|--|
| 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 (UDr. Lenka Horáková, prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., ČVUT FBMI Kladno)
18.30 – 22.00	Společenský večer
<i>Pátek 7. 9. 2018:</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 2018.

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

Poděkování

*Konference Respirační dny 2018 byla podpořena z prostředků ČVUT v Praze,
projektu číslo SVK 47/18/F7 Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze.*

Obsah

Předmluva	7
Experimentální fantom pro určování vlivu technických parametrů elektrické impedanční tomografie na výsledný obraz rozložení bioimpedance hrudníku	9
Denisa Albrechtová, ČVUT FBMI Kladno	
Studium výměny plynů ve sněhové lavině - Ventilační experimenty v outdoorovém prostředí	11
Lenka Horáková, ČVUT FBMI Kladno	
Možnosti využití elektrické impedanční tomografie pro monitoraci plic při kapnoperitoneu	14
Kristýna Koldová, ČVUT FBMI Kladno	
Hodnocení oxygenace ventilovaného subjektu při vysokofrekvenční oscilační ventilaci	18
Marek Kordík, ČVUT FBMI Kladno	
Realizace spirometrického vyšetření pomocí EIT	20
Anna Miltová, FBMI ČVUT	
Hyperinflace plic při HFOV	23
Václav Ort, FBMI ČVUT	
Vliv aplikace tekutin na obraz elektrické impedanční tomografie při umělé plicní ventilaci	27
Martin Müller, FBMI ČVUT	
Časové zpoždění distribuce kyslíku ve ventilačním systému po změně FIO_2: vylepšení matematického modelu	32
Leoš Tejkl, FBMI ČVUT	

Předmluva

Vážení čtenáři,

jak praví latinské rčení „Tempus fugit“, čas plyne. Po sérii konferencí, u kterých převažoval vzdělávací a motivační charakter, nastal čas změny a v letošním roce doznala konference Respirační dny 2018 drobné změny rámce – etablovaly se diskuse u „kulatých“ stolů na různá témata.

Kritický pohled nad současně probíhajícími projekty a diskuse nad dalšími směry vývoje projekty zkrátka potřebují.

Na tradičním místě – horské chatě Bumbálce, byly opět prezentovány studentské práce, které výbor konference hodnotil jako aktuální, s ambiciózními cíli. Vzniklé diskuse byly tradičně velmi kvalitní a zásadní pro dokončení studentských projektů. Právě tyto diskuse, nápady a rady pomáhají neustále vylepšovat kvalitu závěrečných prací studentů Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze.

I proto je přáním pořadatelů zajistit konání Respiračních dní i v roce 2018 na čerstvém vzduchu v horských oblastech Krkonoš, protože dýchání nikdy nevyjde z módy.

Ing. Petr Kudrna, Ph.D.

Editor sborníku

Prezentace účastníků konference



TÉMA PROJEKTU:

Experimentální fantom pro určování vlivu technických parametrů elektrické impedanční tomografie na výsledný obraz rozložení bioimpedance hrudníku

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Bc. Denisa Albrechtová

Vedoucí: Ing. Václav Ort

7. 9. 2018



CÍLE PRÁCE

- Na základě rešerše navrhnout a vytvořit fantom pro elektrickou impedanční tomografii (EIT)
 - vhodný materiál, konstrukce
 - stabilní
 - s možností ventilace
 - s možností simulace vybraných technických parametrů
- Pomocí fantomu měřit vliv vybraných technických parametrů EIT a z výsledků vyvodit důsledky pro klinickou praxi
- Důvod řešení - Variabilita měřeného živého subjektu



PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU - materiál a konstrukce fantomu

- Fantomy využívající diskretní elektronické komponenty - nevhodné
- Fantom využívající solného roztoku nebo agaru nebo kuřecích prs ve skleněné válcové nádobě
- Realistický fantom z vodivého polyuretanu
 - vnitřní prostředí – vodivý gel (EKG gel)
 - nejvhodnější řešení pro vnější konstrukci fantomu



NÁVRH POSTUPU

- Výroba materiálu a testování vnějšího materiálu
 - polyurethan (VytaFlex 20)
 - grafitový prášek (cca 15 – 45 %)
 - vodivé saze (zatím nebyly sehnány na českém trhu) (cca 0 – 10%)
 - smíchání složek
 - vytvoření cca 5 x 2 x 2 cm velkých kvádrů
 - testování vodivosti pomocí impedanční spektroskopie



NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU - požadavky na výsledný fantom

- možnost zkoumání vlivu natočení el. pásu
 - umístění značkovacích tyčí do fantomu
- možnost zkoumání vlivu dvou velikostí el. pásu
 - velikost obvodu fantomu na hranici velikosti dvou el. pásu (např. S a M)



NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU - požadavky na výsledný fantom

- možnost měření šíře tomografické roviny
 - měřicí tyč – zanořování značkovací tyče do fantomu
- možnost zkoumání vlivu elektrodového gelu
 - vytvoření vodivého spojení mezi elektrodami na elektrodovém pásu
- a další jako vliv vzorkovací frekvence, vliv kalibrace, (vliv tekutiny v hrudníku)



NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU - požadavky na výsledný fantom

- možnost ventilace fantomu
 - využití vaků – pomocí plicního ventilátoru
 - využití pohybujícího kužele/kuželů



HARMONOGRAM

Rok	2018												2019				
Měsíc	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	1.	2.	3.	4.	5.				
Rešerše	x	x															
Testování materiálů a typů konstrukce			x	x	x	x											
Konkrétní zadání Diplomové práce						x											
Tvorba fantomu						x	x	x									
Testování vlivu technických parametrů									x	x							
Vyhodnocení dat												x					
Napsání a odevzdání Diplomové práce													x	x			

Studium výměny plynů ve sněhové lavině

Ventilační experimenty v outdoorovém prostředí

Lenka Horáková

školiitel: prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D.

Motivace

- S narůstající popularitou rizikových aktivit a omezenými zkušenostmi s prevencí a záchrannými technikami u lidí, kteří je provozují, jde o velmi aktuální téma.
- Medicínské a technické zajištění outdoorových experimentů zabývajících se dýcháním osob pod sněhovou lavinou. Řešení vybraných identifikovaných problémů.
- Předchozí výzkumné studie obdobného typu měly za následek vytvoření mezinárodních doporučení pro prevenci a záchranu obětí lavinových nehod (ICAR MedCom guidelines 2013, ECR guidelines 2015).

Problémy k řešení

1. omezené množství studií a limitovaná možnost jejich vzájemného porovnání díky odlišným metodologiím publikovaných studií
2. problematický návrh experimentů pro outdoorové prostředí (např. návrh a zajištění těsnosti dýchacích sestav a okruhů)
3. obtížný monitoring vitálních funkcí probandů během experimentů
 1. přístroje: používané mimo schválené limity (ambientní podmínky, limity fyziologických funkcí)
 2. subjekty: rychlé změny vitálních fcí, atypické pro kriticky nemocné pacienty, pro které jsou monitory původně určeny

Cíle disertační práce

1. Analyzovat nedostatky současných studií zaměřených na výzkum výměny plynů v simulovaném lavinovém sněhu
 - rešerše literatury
 - dotazníkové šetření N=35 (současný stav N=14)
2. Najít a experimentálně ověřit materiál vhodný jako model sněhu pro laboratorní studium výměny plynů u osob zasypaných v lavině

Cíle disertační práce

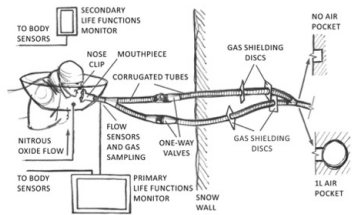
3. Zavést postup kontroly těsnosti ventilačních sestav a okruhů při outdoorových experimentech
4. Provést analýzu rizik při používání PZT při outdoorových experimentech a navrhnout postup k jejich minimalizaci

Problémy aktuálně v řešení

- I. N₂O jako "tracer gas"
- II. Monitorace vitálních funkcí během outdoorových experimentů

I. N₂O jako “tracer gas”

- poprvé použito v experimentech publikovaných v Roubík K. et al. (2015)



Roubík K, Sieger L, Sýkora K (2015) Work of Breathing into Snow in the Presence versus Absence of an Artificial Air Pocket Affects Hypoxia and Hypercapnia of a Victim Covered with Avalanche Snow: A Randomized Double Blind Crossover Study. PLoS ONE 10(12): e0144532.

Výhody N₂O

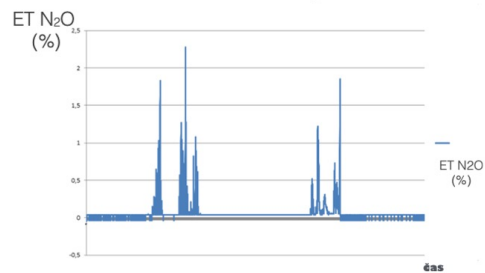
- možnost detekce úniků z dýchacích soustav používaných v experimentech
- detekce pomocí anesteziologických analyzátoru plynů - možná detekce i minimálních koncentrací
- plyn levný a dostupný
- výhodné fyzikální vlastnosti (např. hustota)

Aplikace N₂O na experimentech v 1/2018

- aplikace do okolí DC
- nevýhody:
 - nepřesně definované množství N₂O
 - aplikace hlavně do oblasti nosu, ale horší detekce úniku okolo náustku
 - velká spotřeba plynu



Pozitivní ET N₂O při laboratorním experimentu



Problémy k řešení

1. návrh technického řešení aplikace N₂O při dýchacích experimentech do simulovaného lavinového sněhu
2. zjistit, jaké mohou mít malé koncentrace N₂O používané při experimentech vliv na probandy
 - a) z fyzického hlediska (zátěžové testy)
 - b) z psychického hlediska (psychotesty)

II. Monitorace během experimentů

- Cíle monitorace vitálních funkcí během dýchacích experimentů v simulované lavině:
 1. získávání experimentálních dat
 2. bezpečnost probandů

Limity monitorů vitálních funkcí ve vnějším prostředí

- přístroje pracují mimo doporučené provozní podmínky
- změny vitálních funkcí probandů jsou velmi náhlé, rychlé a neodpovídají těm, které vídáme během anestezie/ na JIP

Monitorace SpO₂

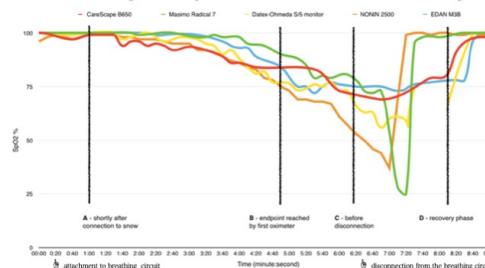
- základní monitorace
- často endpoint studií
- řada potenciálních zdrojů artefaktů (např. pohybové artefakty, nízká perfuze)
- software pro vyloučení nadbytečných falešných alarmů interferujících s experimentem

SpO₂ měřeno během experimentů 1/2018

Pulse oximeter device	Finger
Datex-Ohmeda S/5 anesthesia monitor (Datex-Ohmeda, Madison, WI, USA)	V.
CareScape B650 (GE Healthcare, Helsinki, Finland)	III.
Edan M3B (Edan Instruments, Nanshan Shenzhen, China)	II.
Masimo Radical-7 Pulse CO-Oximeter (Masimo, Irvine, CA, USA)	IV.
Nonin PalmSAT 2500 (Nonin Medical Inc., Plymouth, MN, USA)	I.



Graf SpO₂ zaznamenaných 5 různými pulsními oximetry



Hodnoty SpO₂ naměřené jednotlivými přístroji v bodech A-B z grafu

	SpO ₂ in %			
	A: shortly after connection to snow	B: SpO ₂ 75% reached by the first oximeter	C: just before disconnection from snow	D: recovery phase
Datex-Ohmeda S/5 monitor	100	77	66	67
CareScape B650	99	84	71	81
Masimo Radical 7	100	90	78	98
NONIN 2500	99	75	53	100
Edan M3B	100	84	75	78

Table 2: Four selected time points A-D from Fig. 2 and corresponding SpO₂ values in % displayed by the individual pulse oximeters.

Závěry a diskuse

- 5 různých pulzních oxymetrů naměřilo signifikantně odlišné hodnoty SpO₂ během jednoho simultánního měření
- pokud by SpO₂ bylo endpointem studie, byl by experiment ukončen v jiném okamžiku dle různých pulzních oxymetrů
- použití standardních monitorů vitálních funkcí v outdoorových experimentech má své limity

MOŽNOSTI VYUŽITÍ ELEKTRICKÉ IMPEDANČNÍ TOMOGRAFIE PRO MONITORACI PLIC PŘI KAPNOPERITONEU



Ing. Kristýna Koldová

Školitel: prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství,
katedra biomedicínské techniky

Úvod



- EIT je poměrně stará metoda s velkým potenciálem pro lékařské využití.
- Zatím se však nedaří EIT zavést do klinické praxe.
- Jednou z možností využití EIT je monitorace distribuce ventilace při laparoskopických operacích s kapnoperitoneem.
- Mnoho studií přináší v tomto směru optimistické závěry.
- Objevuje se také řada nejasností a možných limitací.
- Pro ověření možnosti využití EIT pro monitoraci plic při kapnoperitoneu byly stanoveny následující cíle:

Cíle



- ① Analýza přítomnosti bránice při kapnoperitoneu v oblasti monitorované EIT.
- ② Na základě výsledků realizovat pilotní experimenty, které ověří možnosti monitorace plic pomocí EIT s elektrodovým pásem umístěným ve dvou různých rovinách.
- ③ Realizace a vyhodnocení kompletní klinické studie.

Cíle

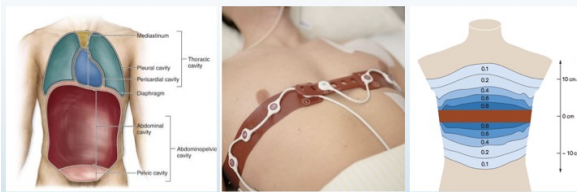


- ① Analýza přítomnosti bránice při kapnoperitoneu v oblasti monitorované EIT.
- ② Na základě výsledků realizovat pilotní experimenty, které ověří možnosti monitorace plic pomocí EIT s elektrodovým pásem umístěným ve dvou různých rovinách.
- ③ Realizace a vyhodnocení kompletní klinické studie.

Analýza přítomnosti bránice při kapnoperitoneu v oblasti monitorované EIT



- ➡ Elektrodový pás nesnímá pouze rovinu přímo pod pásem, ale také poměrně širokou okolní oblast.
- ➡ Umístění elektrodového pásu v blízkosti bránice může vést k nepřesnému zobrazení distribuce ventilace



- ➡ Zasahuje bránice do oblasti monitorované EIT?

Analýza přítomnosti bránice při kapnoperitoneu v oblasti monitorované EIT



- ➡ ÚVN KARIM, 20 pacientů (10/10), laparoskopie
Detekce bránice ultrazvukem ve třech fázích:
 1. během spontánního dýchání,
 2. během umělé plicní ventilace při celkové anestezii s relaxovanými svaly,
 3. během umělé plicní ventilace při celkové anestezii s relaxovanými svaly při kapnoperitoneu.
- ➡ Měření vzdálenosti mezi pátým mezižebřím a horní hranou sternu (D5) a vzdálenosti bránice od horní hrany sternu (Dd).
- ➡ Oblast podílející se na tvorbě EIT snímku hrudníku +/- 10 cm od roviny elektrodového pásu.
- ➡ Přítomnost bránice byla považována za prokázanou, pokud platilo $|Dd - D5| < 10 \text{ cm}$.

Analýza přítomnosti bránice při kapnoperitoneu v oblasti monitorované EIT



- ➡ ÚVN KARIM, 20 pacientů (10/10), laparoskopie
Detekce bránice ultrazvukem ve třech fázích:

1. během spontánního dýchání,
2. během umělé plicní ventilace při celkové anestezii s relaxovanými svaly,
3. během umělé plicní ventilace při celkové anestezii s relaxovanými svaly při kapnoperitoneu.

- ➡ Měření vzdálenosti mezi pátým mezižebřím a horní hranou sternu (D5) a vzdálenosti bránice od horní hrany sternu (Dd).

- ➡ Oblast podílející se na tvorbě EIT snímku hrudníku +/-10 cm od roviny elektrodového pásu.

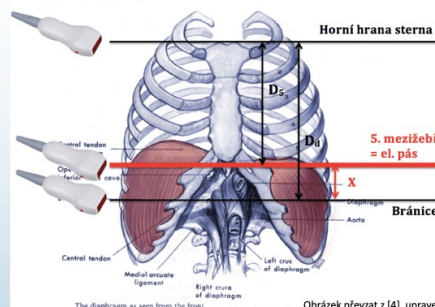
- ➡ **Přítomnost bránice byla považována za prokázanou, pokud platilo $|Dd - D5| < 10$ cm.**

Analýza přítomnosti bránice při kapnoperitoneu v oblasti monitorované EIT



$$|D_d - D_5| = X$$

$$|D_d - D_5| < 10 \text{ cm}$$



Analýza přítomnosti bránice při kapnoperitoneu v oblasti monitorované EIT



- ➡ Během laparoskopické operace při přítomnosti kapnoperitonea dochází ke kranálnímu posuvu bránice.

Přítomnost bránice při kapnoperitoneu detekována:

V 65 % případů na úrovni 5. mezižebří.

V 95 % případů v oblasti, která se podílí na tvorbě EIT záznamu.

- 1) Kranální posun bránice
- 2) Impedanční změny dutiny břišní
- 3) Princip EIT

Kapnoperitoneum bude mít na EIT hrudníku zásadní vliv.

- ➡ **Při kapnoperitoneu nelze považovat doporučení výrobce o umístění elektrodového pásu za akceptovatelné.**

Cíle



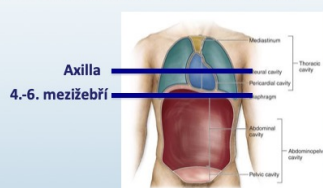
- ① Analýza přítomnosti bránice při kapnoperitoneu v oblasti monitorované EIT.
- ② Na základě výsledků realizovat pilotní experimenty, které ověří možnosti monitorace plic pomocí EIT s elektrodovým pásem umístěným ve dvou různých rovinách.
- ③ Realizace a vyhodnocení kompletní klinické studie.

Pilotní experimenty - možnosti monitorace plic pomocí EIT s el. pásem umístěným ve dvou různých rovinách



- ➡ Ověřit, do jaké míry bránice přítomná v oblasti monitorované EIT ovlivňuje získaný EIT záznam, a to při umístění elektrodového pásu:

- 1) Do standardní pozice 4.-6. mezižebří
- 2) Do kranálnější pozice v oblasti axilly



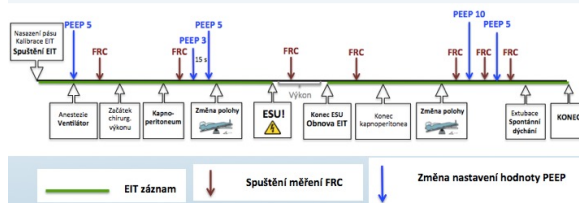
Pilotní experimenty - možnosti monitorace plic pomocí EIT s el. pásem umístěným ve dvou různých rovinách



Pilotní studie – ÚVN KARIM, 9 pacientů (5/4)

Monitorace EIT před, během a po laparoskopickém zákroku

Měření FRC, změny PEEP (reference)



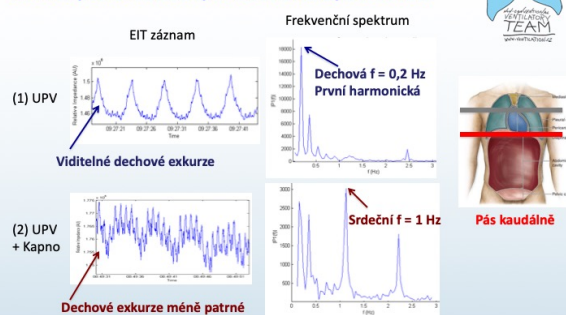
Pilotní experimenty - možnosti monitorace plic pomocí EIT s el. pásem umístěným ve dvou různých rovinách



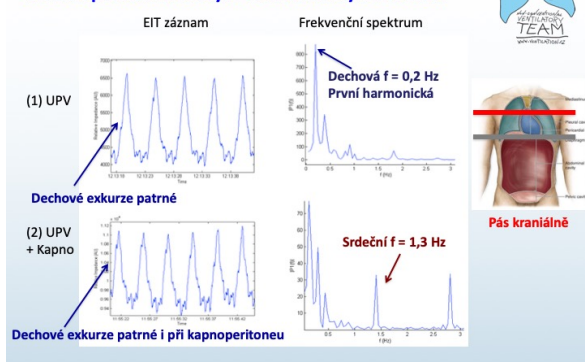
Tabulka: Počet a umístění elektrodového pásu, poloha pacienta a typ provedené operace.

Pacient	Počet EIT pásů (umístění)	Poloha pacienta	Typ operace
1	1 (5. mezižebří)	Trendelenburg	Hernioplastika
2	2 (5. mezižebří, axilla)	Anti-Trendelenburg	Cholecystektomie
3	2 (5. mezižebří, axilla)	Anti-Trendelenburg	Cholecystektomie
4	2 (5. mezižebří, axilla)	Anti-Trendelenburg	Splenektomie
5	2 (5. mezižebří, axilla)	Anti-Trendelenburg	Diagnostická laparoskopie, otevřená hernioplastika
6	1 (5. mezižebří)	Anti-Trendelenburg	Cholecystektomie
7	1 (5. mezižebří)	Anti-Trendelenburg	Cholecystektomie
8	1 (5. mezižebří)	Anti-Trendelenburg	Cholecystektomie
9	1 (5. mezižebří)	Anti-Trendelenburg	Cholecystektomie

Pilotní experimenty - možnosti monitorace plic pomocí EIT s el. pásem umístěným ve dvou různých rovinách



Pilotní experimenty - možnosti monitorace plic pomocí EIT s el. pásem umístěným ve dvou různých rovinách



Pilotní experimenty - možnosti monitorace plic pomocí EIT s el. pásem umístěným ve dvou různých rovinách



Dechový signál při standardní poloze pásu

- ➔ zaniká v srdečním signálu
- ➔ má nižší amplitudu a je silně překryt

Výsledky z pilotních experimentů však nejsou 100% konzistentní

- ➔ skupina pacientů, u kterých nelze dechový signál při kapnoperitoneu detekovat
- ➔ skupina pacientů, u kterých je dechový signál při podrobnější analýze detekovatelný
- ➔ skupina pacientů, u kterých není v záznamu zásadnější rozdíl

Pilotní experimenty - možnosti monitorace plic pomocí EIT s el. pásem umístěným ve dvou různých rovinách



Dechový signál při kraniální poloze pásu

- ➔ oproti standardní poloze je jednoznačně detekovatelný
- ➔ EIT však nemusí zachycovat důležité bazální části plic

Je třeba realizovat komplexní studii, která bude analyzovat:

- ➔ Optimální umístění elektrodového pásu
- ➔ Vliv operační polohy na EIT záznam

Cíle



- 1 Analýza přítomnosti bránice při kapnoperitoneu v oblasti monitorované EIT.
- 2 Na základě výsledků realizovat pilotní experimenty, které ověří možnosti monitorace plic pomocí EIT s elektrodovým pásem umístěným ve dvou různých rovinách.
- 3 Realizace a vyhodnocení kompletní klinické studie.

Realizace a vyhodnocení kompletní klinické studie



ÚVN KARIM, 2017/2018, cca 16 pacientů

- 8 cholecystektomie (naměřeno)
- 8 hernioplastika (či jiný výkon v Trendelenburgově poloze)

Vstupní kritéria: laparoskopický zákrok s kapnoperitoneem, ...

Vylučovací kritéria: aktivní implantáty, BMI > 30 kg/m², ...

- ➔ Měření s **dvěma elektrodovými pásy** (EIT PulmoVista 500)
- ➔ Měření **FRC** (Engström Carestation)
- ➔ Pokryto **existujícím schválením etické komise**
- ➔ Protokol studie vytvořen na základě pilotních experimentů

Jaké budou konkrétní výstupy?



1. EIT záznamy – zobrazení změn relativní impedance (průběh celého experimentu, obě roviny)

- a. Spontánní ventilace
- b. UPV
- c. UPV + kapnoperitoneum
- d. UPV + kapnoperitoneum + poloha
- e. UPV + PEEP manévr

Patrné změny:

- ve velikosti dechových exkurzí,
- v progresi srdečního signálu na záznamech z konvenční polohy,
- v hodnotách rel. impedance pro záznamy z konvenční a kranální polohy pásu,
- změny v rel. impedanci by měly být zásadní zejm. pro konvenční rovinu (UPV vs. Kapno vs. Kapno + poloha), pro kranální rovinu by změny měly být menší.

Jaké budou konkrétní výstupy?



2. FFT ze stejně dlouhých úseků záznamů (např. 30 s), zobrazení jednostranného frekvenčního spektra po odstranění stejnosměrné složky

- ➔ Do jaké míry jsou v jednotlivých rovinách potlačeny dechové exkurze, resp. nakolik je EIT schopno detekovat změnu ventilace a do jaké míry EIT zobrazuje signál z kapnoperitonea, příp. srdeční signál.

3. Spektrogram – 3D zobrazení změn frekvenčního spektra v čase pro obě tomografické roviny

- ➔ Při kapnoperitoneu by měly být nižší frekvence odpovídající dechovému signálu potlačeny zejména pro konvenčně umístěný pás.

Jaké budou konkrétní výstupy?



4. Porovnání změn FRC

- ➔ Trendy: kapno ↓, PEEP ↑, Trendelenburg ↓, Anti-Trendelenburg ↑

5. Analýza ROI.

- ➔ Při kapnoperitoneu se ROI přiblíží a jakákoliv změna rel. impedance působí větší změny v distribuci ventilace v jednotlivých ROI. Tento fenomén by měl být opět výraznější pro záznam z konvenční roviny.

Zdroje

- [1] <http://studydroid.com/ImageCards/10/II/card-34264864-back.jpg>
- [2] https://www.draeger.com/en_sea/Hospital/Newsletters-The-Realisation-Of-Regional-Ventilation-Monitoring
- [3] Teschner E, Imhoff M, Leonhardt S. Electrical Impedance Tomography: The realization of regional ventilation monitoring. Dräger Medical GmbH. 2011.
- [4] <http://www.mygcpphysio.com.au/wp-content/uploads/2013/01/diaphragm-150x150.jpg>



Hodnocení oxygenace ventilovaného subjektu při vysokofrekvenční oscilační ventilaci

Autor: Bc. Marek Kordík
Vedoucí: doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D.
7.9.2018

- Zjištění, zda je možné využít elektrickou impedanční tomografii k monitorování průběhu vysokofrekvenční oscilační ventilace (HFOV)

Cíle práce

- Vyhodnotit data z elektrické impedanční tomografie získané při animálním experimentu
 - Animální experiment:
 - postupné zvyšování a snižování středního tlaku při HFOV ventilovaného subjektu (Sus scrofa)
 - Kontinuální monitorování pomocí EIT
 - Kontinuální monitorování řady dalších parametrů (PaO_2 , SaO_2 , HR,...)

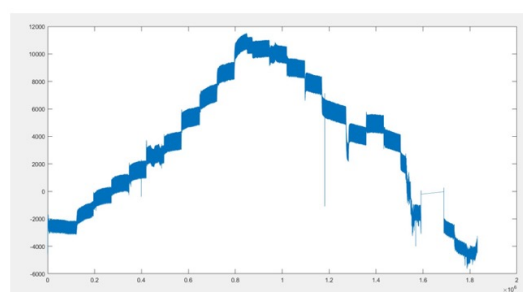
Hypotézy

- Je možné určit relativní dechový objem pomocí EIT?
- Je možné určit optimální střední tlak HFOV pomocí EIT?
- Je možné určit relativní poddajnost při HFOV za pomoci EIT?

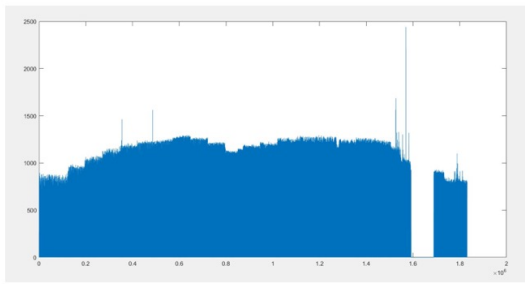
Dostupná data

Pořadí	Prase	Použitelná data		
		CDI O2 (+ počet)	EIT DynamicGlobal (+ počet)	EIT TidaGlobal (+ počet)
1.	Pig_79	✓ (1x)	✓ (1x)	✓ (1x)
2.	Pig_05	✓ (3x)	✓ (2x)	✓ (2x)
3.	Pig_28	✓ (3x)	✓ (3x)	✓ (3x)
4.	Pig_29	✓ (4x)	✓ (4x)	✓ (4x)
5.	Pig_43	✓ (2x)	✓ (2x)	✓ (2x)
6.	Pig_01	✓ (4x)	✓ (4x)	✓ (4x)
7.	Pig_03	✓ (2x)	✓ (2x)	✓ (2x)
8.	Pig_18	✓ (1x)	✗	✗
9.	Pig_20	✓ (2x)	✓ (2x)	✓ (2x)
10.	Pig_23	✓ (2x)	✓ (2x)	✓ (2x)
11.	Pig_26	✓ (3x)	✓ (3x)	✓ (3x)
12.	Pig_31	✓ (1x)	✗	✗
13.	Pig_32	✓ (3x)	✓ (3x)	✓ (3x)
14.	Pig_33	✓ (2x)	✓ (2x)	✓ (2x)
15.	Pig_34	✓ (3x)	✓ (3x)	✓ (3x)
16.	Pig_37	✓ (2x)	✓ (2x)	✓ (2x)
17.	Pig_41	✓ (2x)	✓ (2x)	✓ (2x)
18.	Pig_59	✓ (2x)	✓ (2x)	✓ (2x)
19.	Pig_60	✓ (1x)	✗	✗
20.	Pig_66	✓ (1x)	✓ (1x)	✓ (1x)

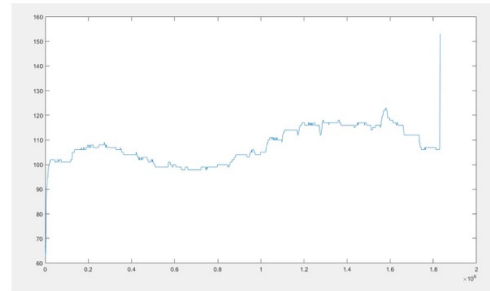
Dynamic global impedance



Tidal global impedance



CDI O_2



Ing. Anna Miltová

Realizace spirometrického vyšetření pomocí EIT

Ing. Anna Miltová

ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství,
katedra biomedicínské techniky

Respirační dny 2018
7. 9. 2018



Úvod



Spirometrické vyšetření

Negativní vlastnosti: ovlivnění dechového vzoru, zvyšování
mrtvého prostoru a průtočného odporu
+ snížená spolupráce pacienta

ovlivnění výsledků = špatná interpretace

Elektrická impedanční tomografie (EIT)

Relativní změna bioimpedance ΔZ

Rozdíl bioimpedance v průběhu dechového cyklu

Cíl práce



**Vliv EIT pásu na naměřené hodnoty
spirometrických parametrů?**
Realizace spirometrického vyšetření pomocí EIT?

Metody (1)



Prospektivní intervenční studie

Souhlas EK FBMI ČVUT v Praze

Standardní spirometrické vyšetření

Ergostik (Geratherm Respiratory GmbH, Německo)

EIT systém

PulmoVista 500 (Dräger Medical GmbH, Německo)

Metody (2)



22 probandů (13 mužů a 9 žen)

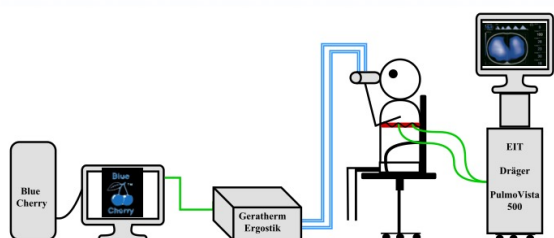
4 měření dle standardů ATS/ERS z roku 2005 a 2017

- 2 standardní spirometrická vyšetření
- 2 simultánní měření

Randomizované pořadí

Spirometrické parametry

- FVC
- FEV₁
- FEV₁/FVC (Tiffeneauův index)



Obrázek 1: Uspořádání experimentu při simultánním měření standardního
spirometrického vyšetření a spirometrického vyšetření pomocí EIT

Metody (3)

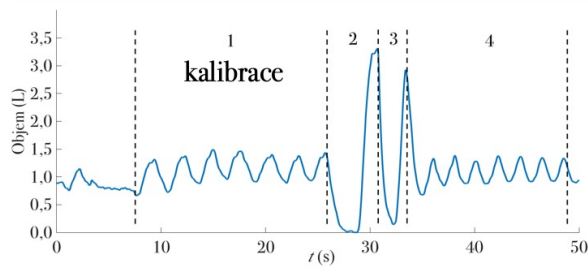


Simultánní měření EIT a standardní spirometrie

$$sens_{avg} = \frac{TV}{\Delta Z_T} \quad (1.1)$$

Přepočet relativní změny bioimpedance (AU) na objem (L)

$$volume = biimpedance \cdot sens_{avg} \quad (1.2)$$

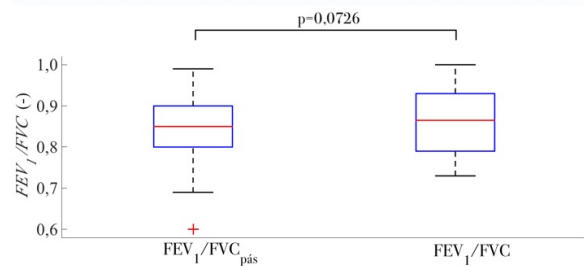
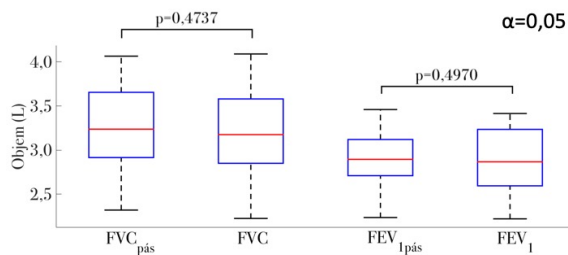


Obrázek 2: Dechové manévry spirometrického vyšetření. 1-klidové spontánní dýchání (kalibrace), 2-klidový maximální výdech a maximální nádech, 3-forsírovaný maximální výdech a rychlý nádech (spirometrické vyšetření), 4-spontánní dýchání

Výsledky (1)



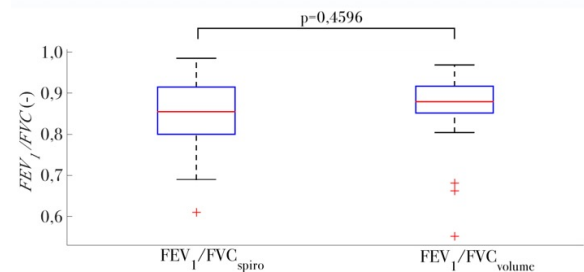
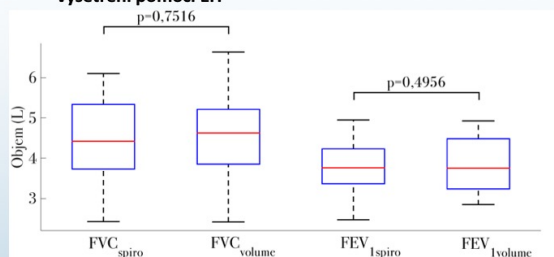
Vliv EIT pásu

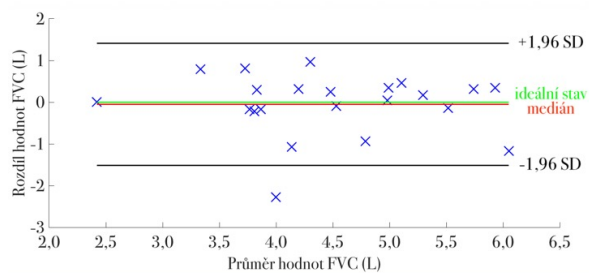


Výsledky (2)



Simultánní měření standardní spirometrie a spirometrického vyšetření pomocí EIT





Obrázek 5: Rozdílový graf získaný pomocí Blandovy-Altmanovy analýzy parametru FVC

Závěr



Vliv EIT pásu

Statisticky nevýznamně vyšší hodnoty s EIT pásem

Simultánní měření

Statisticky nevýznamný rozdíl mezi metodami

Limitace

Kontakt elektrod

Aplikace ARS/ETS standardů pro výpočet parametrů

Možnosti dalšího výzkumu

Přesnost kalibrační konstanty → kalibrace pomocí klidového dýchání

Práce byla podporována grantem ČVUT v Praze č. SGS16/258/OHK4/3T/17

Závěr



Není vliv EIT pásu na naměřené hodnoty FVC, FEV₁ a TI.

Není rozdíl mezi hodnotami FVC, FEV₁ a TI získanými ze simultánního měření standardní spirometrie a spirometrického vyšetření realizovaného pomocí EIT.

Práce byla podporována grantem ČVUT v Praze č. SGS16/258/OHK4/3T/17

Ing. Václav Ort

Využití elektrické impedanční tomografie pro měření dynamické hyperinflace plic při vysokofrekvenční oscilační ventilaci.

Ing. Václav Ort

ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství,
katedra biomedicínské techniky

Školitel: prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D.



Úvod



Vysokofrekvenční oscilační ventilace (HFOV)

- nekonvenční technika, malé dechové objemy, vysoká frekvence
- prevence adverzních účinků umělé plicní ventilace

Studie OSCAR a OSCILLATE

- neprokázaly snížení mortality při HFOV, u OSCILLATE vyšší mortalita při HFOV
- ventilátor nastavován na cílovou hodnotu mPaw
- mj. neuvažován skutečný mPalv
- pravděpodobnost přítomnosti lokální DH

Úvod



Dynamická hyperinflace (DH): $mPalv > mPaw$

- změny v hemodynamice
- riziko barotraumat plic
- dosavadní výsledky rozporuplné

Měření dynamické hyperinflace:

- obstrukční manévry
 - ezofageální balón (PES)
 - implantovaná kapsle
- Neuspokojivé*

Úvod



Elektrická impedanční tomografie (EIT)

- neinvazivní monitorovací technika rozložení bioimpedance v řezu hrudníku
- série elektrod kolem hrudníku

Adler et al.

- při konvenční ventilaci EIT použitelné pro měření air-trappingu
- přesnější než PES a obstrukční manévry

Cíle studie



- Zjistit, jestli je EIT vhodnou technikou pro měření DH
- Navrhnout metodu měření DH pomocí EIT použitelnou při HFOV a metodu ověřit
- Naměřit velikost DH v animální studii a zjistit, za jakých podmínek DH vzniká
- Optimalizovat metodu pro použití v klinické studii na pacientech podstupujících HFOV
- Provést pilotní měření DH na pacientech

Metody



Kalibrační a měřicí manévry

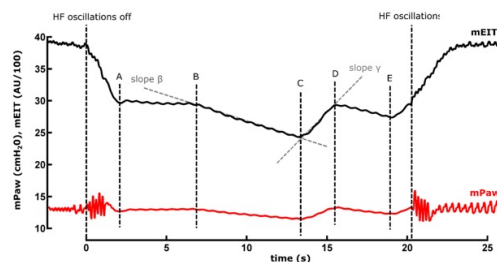
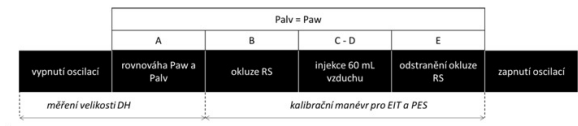
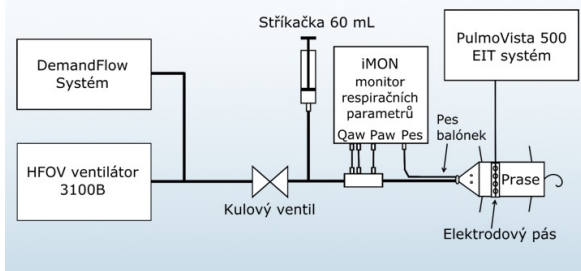
- podmínka: konstantní poddajnost respiračního systému (RS)
- vypnutí oscilací -> RS statický systém, zánik DH
- injekce 60 mL vzduchu do uzavřeného RS -> změny v EIT a Paw
- tlaková i objemová kalibrace EIT signálu

Palv = Paw					
	A	B	C - D	E	
vypnutí oscilací	rovnováha Paw a Palv	okluze RS	injekce 60 mL vzduchu	odstranění okluze RS	zapnutí oscilací
měření velikosti DH			kalibrační manévry pro EIT a PES		

Metody



Schematické zapojení měřicí soustavy

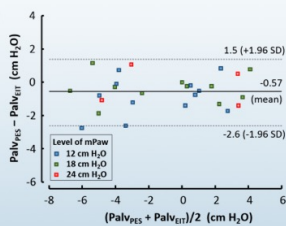


Metody



Ověření tlakové kalibrace

- současné měření DH pomocí ezofageálního balónku a EIT
- Bland-Altmanova analýza
- velmi dobrá korelace metod
- lineární vztah s $R^2 = 0,915$



Metody



Ověření objemové kalibrace

- provedeny dva měřicí a kalibrační manévry za sebou
- první manévra -> zjištění velikosti DH a air-trappingu
- druhý manévra -> injekce zjištěného objemu air-trappingu
- > signál EIT po injekci stejnou hodnotu, jako při ventilaci

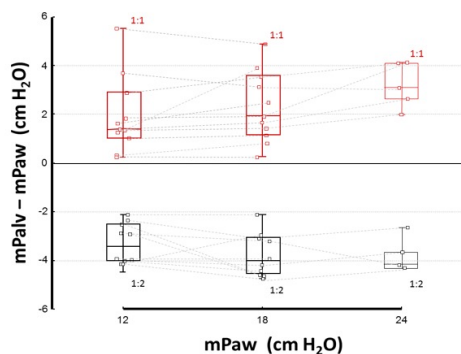
Animální studie



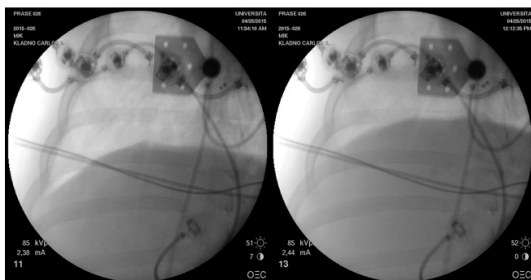
Metody:

- 11 zdravých prasat domácích (m = 42 kg, SD = 4 kg)
- 3100B (BD, New Jersey, USA)
- PulmoVista 500 (Dräger Medical, Německo)
- DemandFlow systém (FBMI, Česká republika)
- iMON (FBMI, Česká republika)
- mPaw 12, 18 a (24) cm H₂O
- poměr inspiračního a expiračního času 1:1 a 1:2
- amplituda oscilací -> udržení normokapnie
- frekvence = 5 Hz, bias flow = 25 – 30 L/min

Výsledky animální studie



Výsledky animální studie



Animální studie



Diskuze a závěr:

- velikost DH může být při HFOV určena pomocí EIT
- tlakový gradient DH je silně ovlivněn parametrem I:E
- při I:E 1:1 vždy dynamická hyperinflace (0,3 – 4,9 cm H₂O)
- při I:E 1:2 vždy dynamická hypoinflace (od -4,7 do -2,1 cm H₂O)
- > existuje I:E, při kterém mPalv = mPaw
- DemandFlow systém a offline analýza dat z PulmoVistry 500
- > nevhodnost současné metody pro klinické použití

Souhrn současného stavu řešení disertační práce



- ověřena vhodnost EIT pro měření DH a air-trappingu
- vyvinuta a ověřena metoda pro měření DH plic při HFOV pomocí EIT použitelná při animálních studiích
- > vhodný základ pro vývoj metody použitelné v klinické praxi
- při HFOV vzniká klinicky významná DH
- tlakový gradient dle nastavení ventilátoru
- Poměr I:E zásadní vliv na směr tlakového gradientu při DH
- Navrženy algoritmy pro výpočet regionální distribuce DH

Návrh dalšího postupu při řešení disertační práce



1. Upravit stávající metodu měření DH pomocí EIT tak, aby jí bylo možno použít na pacientech v rámci klinické studie
2. Ověřit bezpečnost a funkčnost upravené metody pomocí animálního experimentu
3. Provést pilotní měření DH na pacientech

Přínos studie pro biomedicínské inženýrství



- EIT jednoduchá neinvazivní monitorovací technika s předpokladem brzkého rozšíření v praxi
- možnost řešení problémů s monitorací parametrů HFOV
- několik studií z poslední doby ukazuje, že HFOV může při nedostatečném nastavení a monitoringu způsobit poškození plic
- > požadavky na monitoraci regionální distribuce alveolárního tlaku, DH, stavu plic, recruitmentu, měření dechových objemů
- EIT potenciál významnou část požadavků uspokojit
- > nutný vývoj vhodných metod

Přínos studie pro biomedicínské inženýrství



- disertační práce může poskytnout neinvazivní a jednoduše použitelnou techniku měření celkové a regionální distribuce DH a air-trappingu
- > zvýšení efektivity a bezpečnosti HFOV
- přínos předběžných výsledků této práce oceněn lékaři používajícími HFOV cenou 19th John Haven Emerson award na konferenci The 33rd Annual Conference on High Frequency Ventilation and Critical Care of Infants, Children & Adults, Snowbird, USA
- lékaři byl vznesen požadavek na měření regionální distribuce DH

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

MUDr. Martin Müller

Motivace

Monitorace objemové terapie při šoku

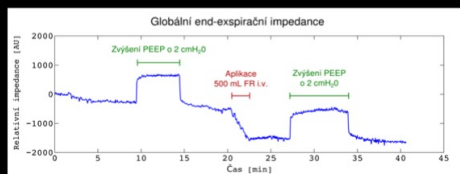
- převážně empirická
- málo spolehlivých monitorovacích technik
- invazivita spojená s rizikem komplikací

Plíče 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 plic, ale také na i. v. aplikaci tekutin



Motivace

Vliv kombinace změn v provzdušnění plic a v objemu tekutiny v plicích 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 plic 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 (Sus strofa f. domestica)
Počet	11
Pohlaví	samice
Průměrná hmotnost	47,7 ± 2,9 kg

Metody

Elektrická impedanční tomografie (EIT)

- PulmoVista 500 (Dräger Medical, Lübeck, Německo)
- elektroodový pás v úrovni bránice (6. mezižebří) 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 FiO₂ nastavena na 10 %
- validní výsledky při rozdílu mezi wash-in a wash-out řázi do 10 %



Metody

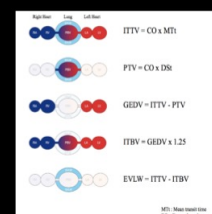
Monitorace hemodynamiky

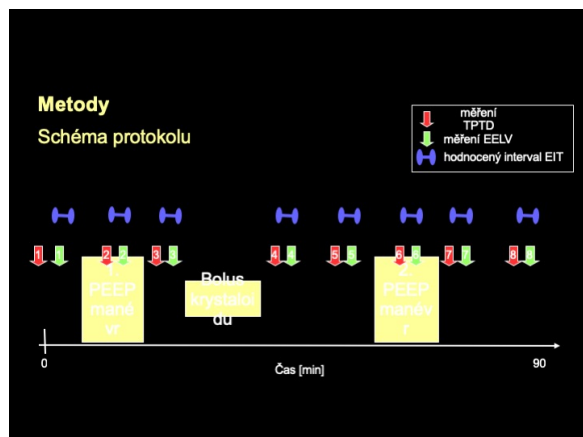
- EV1000 (Edwards Lifesciences, Irvine, CA, U.S.A.)
- systém PiCCO
 - transpulmonální termodiluce
 - analýza pulzní křivky
- srdeční výdej, objem plicní tekutiny, krevní tlaky



Metody

Systém 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

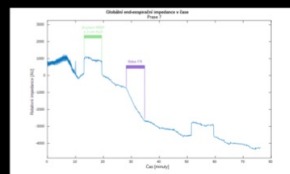
Vyhodnocení dat a statistické zpracování

- 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)

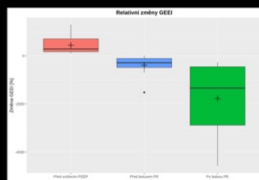
- pokles GEEI po bolusu krystaloidu byl přítomný ve všech případech
- křivka GEEI měla při všech měřeních stejnou morfolologii



Výsledky

Globální end-expirační impedance (GEEI)

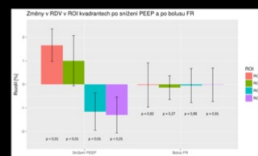
- GEEI hodnocena jako percentuální změny oproti 1. měření
- GEEI při snížení PEEP i po bolusu krystaloidu klesla
- rozdíly mezi jednotlivými intervaly jsou statisticky signifikantní



Výsledky

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

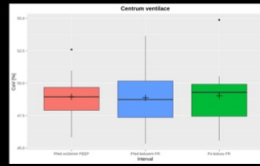
- při snížení PEEP dochází ke změně v RDV, změny jsou statisticky signifikantní
 - ve ventrálních kvadrantech RDV narůstají, v dorzálních klesají → redistribuce ventilace do ventrálních partií plic
- po bolusu FR k žádným změnám v RDV nedochází



Výsledky

Centrum ventilace (CoV)

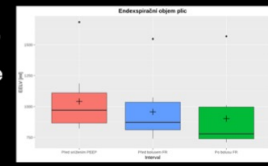
- hodnota CoV se nezměnila ani při snížení PEEP ani při bolusu FR



Výsledky

Endexpirační objem plic (EELV)

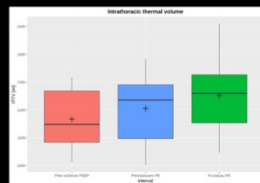
- klesl jak při snížení PEEP, tak při bolusu FR
- pokles při snížení PEEP je statisticky významný
- pokles při bolusu FR není statisticky významný



Výsledky

Intrathoracic thermal volume (ITTV)

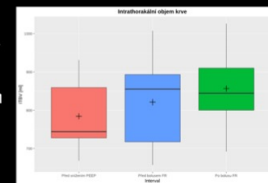
- ITTV vzrostl jak po snížení PEEP, tak po bolusu FR
- rozdíly jsou statisticky signifikantní mezi hodnotami přes snížení PEEP a po bolusu FR



Výsledky

Intrathorakální objem krve (ITBV)

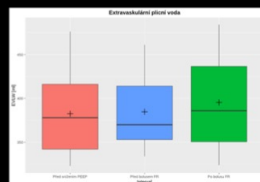
- ITBV stoupl jak po snížení PEEP, tak po bolusu FR
- statisticky významný je jen rozdíl mezi hodnotami před snížením PEEP a po bolusu FR



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 perfuzorů (anestezie, hrazení k udržení TK a CO) a jednak je možný i podíl snížení nitrohručního 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

ČASOVÉ ZPOŽDĚNÍ DISTRIBUCE KYSLÍKU
VE VENTILAČNÍM SYSTÉMU PO ZMĚNĚ
 FI_{O_2} :
VYLEPŠENÍ MATEMATICKÉHO MODELU

CÍLE

- optimalizace modelu vlivu frakce kyslíku ve ventilační směsi na saturaci arteriální krve kyslíkem při podpoře dýchání novorozence
 - návrh a realizace laboratorního experimentu pro zjištění prodlevy distribuce kyslíku v závislosti na průtoku po změně frakce kyslíku u nCPAP a HFHHNC
 - implementace zpožďovacího členu do modelu

LABORATORNÍ EXPERIMENT: VÝSLEDKY

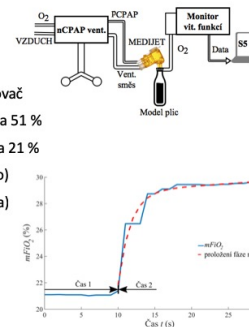
- trendové zkracování doby zpoždění s rostoucím průtokem
- zpoždění při nárůstu FI_{O_2} je delší než při poklesu FI_{O_2}
- změna FI_{O_2} o 30 % trvá déle než změna FI_{O_2} o 10 %
- při dvouúrovňové podpoře je zpoždění kratší než při jednoúrovňové podpoře

ÚVOD A MOTIVACE

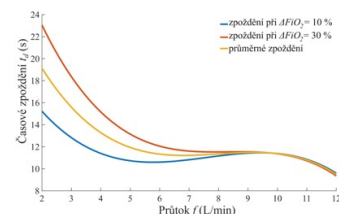
- dlouhodobé udržení normoxémie předčasně narozených dětí
- řízení oxygenace pomocí automatických zpětnovazebních systémů
- návrh, testování a validace automatických systémů na modelu
- optimalizace matematického modelu

LABORATORNÍ EXPERIMENT: METODY

- nCPAP a HFHHNC ventilátor
- módy: nCPAP, BiPAP, oscilační
- podmínkou elektromechanický směšovač
- zvýšení FI_{O_2} z 21 % na 31 % / z 21 % na 51 %
- snížení FI_{O_2} z 31 % na 21 % / z 51 % na 21 %
- první fáze „plató“ (zpoždění odečteno)
- druhá fáze „růst“ (3x časová konstanta)
- celkové zpoždění

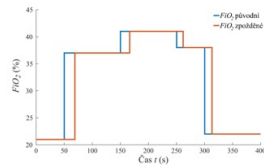


LABORATORNÍ EXPERIMENT: VÝSLEDKY



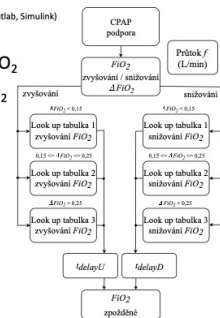
IMPLEMENTACE ZPOŽĎOVACÍHO ČLENU

- implementace do modelu pro nCPAP (Matlab, Simulink)
- velikost zpoždění je nastavena podle aktuálního průtoku a velikosti změny FiO_2
- automatická detekce růstu/poklesu FiO_2



IMPLEMENTACE ZPOŽĎOVACÍHO ČLENU

- implementace do modelu pro nCPAP (Matlab, Simulink)
- velikost zpoždění je nastavena podle aktuálního průtoku a velikosti změny FiO_2
- automatická detekce růstu/poklesu FiO_2



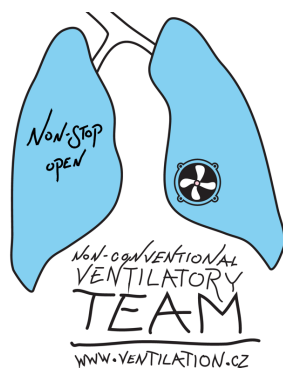
DISKUZE

- neznámá řídicí logika elektromechanického směšovače
- nízká vzorkovací frekvence měření dat (1 Hz)
- naměřená zpoždění jsou v souladu s daty Fathabadiho [1]
- automat. systém: zpoždění distribuce $\text{O}_2 + \text{SpO}_2$ signálu (filtrace)

[1] SADEGH FATHABADI, Omid, Timothy J. GALE, Kathleen LIM, Brian P. SALMON, Jennifer A. DAWSON, Kevin I. WHEELER, Ian C. OLIVER & Peter A. DARGAVILLE. Characterisation of the Oxygenation Response to Inspired Oxygen Adjustments in Preterm Infants. Neonatology (online). 2015, 109(1), 37-43 [cit. 2018-04-11]. DOI: 10.1159/000440642. ISSN 1661-7800.

ZÁVĚR

- realizace laboratorního experimentu
 - naměření časových zpoždění distribuce O_2 pro nCPAP a pro HFHNC v závislosti na průtoku plynu ventilačním okruhem
- implementace zpožďovacího členu do modelu
 - pro automatické řízení realistický průběh



Informace o Nekonvenčním ventilačním týmu,
jeho aktivitách a publikacích:

www.fbmi.cvut.cz

Dokument o Nekonvenčním ventilačním týmu
je k dispozici na YouTube:

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