

Oponentský posudek disertační práce

Doktorand: Ing. Václav Ort

Název práce: Využití elektrické impedanční tomografie pro měření dynamické hyperinflace plic při vysokofrekvenční oscilační ventilaci

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

Školitel specialista: MUDr. Tomáš Tyll, Ph.D.

1. Aktuálnost tématu disertační práce

Předložená disertační práce se věnuje vytvoření a verifikaci metody měření rozdílu mezi středním alveolárním tlakem a tlakem v dýchacích cestách a také regionálního rozložení tohoto tlakového gradientu s využitím elektrické impedanční tomografie. Práci hodnotím jako aktuální, protože adekvátní hodnocení různých vlivů ovlivňujících obraz elektrické impedanční tomografie je nezbytné ke správnému posouzení výstupů této metody. Práce je mimořádně aktuální s ohledem na rozvoj nových měřicích a vyhodnocovacích metod a tím zvýšení kvality života člověka, a navíc dosud nebyla dostatečně studována.

2. Splnění cílů disertační práce

Doktorand si v práci stanovil několik cílů. Hlavním cílem této práce bylo vytvořit a ověřit novou metodu neinvazivního měření velikosti a regionálního rozložení dynamické hyperinflace a dynamické hypoinflace plic. Tato metoda využívá elektrickou impedanční tomografii.

Bylo dosaženo úspěšného ověření výsledků této metody a jejich srovnání se zlatým standardem, kterým je metoda měření velikosti dynamické hyperinflace a dynamické hypoinflace pomocí ezofageálního balónku.

V rámci animální studie bylo zjištěno, že poměr inspiračního a expiračního času má zásadní vliv na vznik a velikost dynamické hyperinflace a dynamické hypoinflace. Poměr 1:1 vždy vedl k vzniku dynamické hyperinflace, zatímco poměr 1:2 vždy vedl k vzniku dynamické hypoinflace.

Bylo zjištěno, že existuje určitý poměr inspiračního a expiračního času, při kterém nenastává ani dynamická hyperinflace, ani dynamická hypoinflace.

Dále bylo zjištěno, že regionální rozložení změn objemu plic způsobených dynamickou hyperinflací a dynamickou hypoinflací se liší od regionálního rozložení tlakových změn. Největší změny bioimpedance byly pozorovány v oblasti středů pravé a levé plíce, zatímco maximální tlakové změny se nacházely ve ventrální části plic a rozšiřovaly se do zbytku plic s rostoucím provzdušněním.

Vliv nastaveného středního tlaku v dýchacích cestách na velikost dynamické hyperinflace a dynamické hypoinflace plic nebyl v rámci studie statisticky významný. Studie naznačuje, že existuje kritická hodnota amplitudy oscilací, která ovlivňuje velikost dynamické hyperinflace a dynamické hypoinflace. Při této kritické hodnotě amplitudy oscilací dochází k změně směru trendu závislosti velikosti těchto jevů na amplitudě oscilací. Tato hodnota kritické amplitudy oscilací se mění v závislosti na poměru inspiračního a expiračního času a nastaveném středním tlaku v dýchacích cestách.

3. Zvolené metody a postupy řešení

Předložená disertační práce respektuje obvyklé metody návrhu a realizace vědeckého experimentu včetně následné analýzy naměřených výsledků. Práce je založena na výsledcích animální studie na skupině jedenácti zdravých samicích prasete domácího připojené na plicní ventilaci, kteří byli monitorováni během vysokofrekvenční ventilace. Metoda tlaková kalibrace EIT signálu je založena na měření dynamické hyperinflace (DH) pomocí elektrické impedanční tomografie (EIT) umožňuje kalibraci relativní bioimpedance hrudníku na tlakový gradient mezi alveolárním tlakem (P_{alv}) a tlakem v dýchacích cestách (P_{aw}).

Pro ověření metody byl zaveden ezofageální balónek, který umožňuje měření DH pomocí tlakového gradientu mezi alveolárním tlakem a tlakem v ezofagu (P_{es}). Tento tlakový gradient je považován za standardní metodu měření DH. Stejná dvoubodová kalibrace, která se používá pro kalibraci bioimpedance, byla použita pro přepočítání P_{es} na velikost DH.

Metoda objemová kalibrace EIT signálu byla zpracována jako linearita závislosti mezi bioimpedancí ($Zeit$) získanou pomocí EIT a objemem plic byla ověřena pomocí lineární regrese změn signálu $Zeit$ způsobených injekcí různých objemů plynu do uzavřeného respiračního systému (RS).

Metoda měření air-trappingu, což jsou objemové změny plic způsobené DH, byla ověřena pomocí dvou po sobě následujících měřících a kalibračních manévru.

První manévr sloužil k výpočtu změny objemu plic způsobeného DH. Tento objem vzduchu byl následně injektován (pro dynamickou hyperinflaci) nebo odsát (pro dynamickou hypoinflaci) z RS při druhém manévru. Správnost metody byla potvrzena, pokud se bioimpedance ($Zeit$) při této intervenci dostala na stejnou úroveň jako před vypnutím oscilací a zároveň byl dosažen hodnoty tlaku v dýchacích cestách (P_{aw}) odpovídající alveolárnímu tlaku (P_{alv}) vypočtenému z bioimpedance ($Zeit$). Jednotlivé fáze a postupy práce jsou dobře definovány zdokumentovány.

4. Výsledky disertační práce a konkrétní přínosy

Přínos práce spočívá ve vytvoření a ověření metody měření rozdílu mezi středním alveolárním tlakem a tlakem v dýchacích cestách pomocí elektrické impedanční tomografie (EIT). Práce navrhuje novou metodu, která umožňuje měřit a monitorovat dynamickou hyperinflaci plic, stav respiračního systému, ve kterém se střední alveolární tlak významně liší od středního tlaku v dýchacích cestách.

Dále přínos práce tkví ve zjištění vlivu ventilačních parametrů na vznik a velikost dynamické hyperinflace. Studie zkoumá vliv vybraných ventilačních parametrů, jako je střední tlak v dýchacích cestách a poměr inspiračního a expiračního času, na vznik a velikost dynamické hyperinflace. Tím přispívá k lepšímu porozumění mechanismů, které ovlivňují vznik tohoto stavu plic.

Výsledkem práce je rovněž zjištění neshod regionálního rozložení dynamické hyperinflace s ventilací tím, že regionální rozložení dynamické hyperinflace se neshoduje s regionálním rozložením ventilace v tomografické rovině hrudníku. Tato informace je důležitá pro porozumění patofyziologii dynamické hyperinflace a může mít dopad na strategie léčby a ventilace u pacientů s tímto stavem plic.

5. Význam pro praxi a rozvoj studijního oboru Biomedicínská a klinická technika

Práce je ukázkovým příkladem řešení problematiky biomedicínského inženýrství a jednoznačně přispívá k rozvoji zdokonalení zdravotnických prostředků a jejich využití v praxi. Disertační práce je přínosem zejména v porozumění vlivu ventilačních parametrů na dynamickou hyperinflaci a vliv různých ventilačních parametrů, jako je střední tlak v dýchacích cestách a poměr inspiračního a expiračního času, na vznik a velikost

dynamické hyperinflace. Tyto poznatky mohou pomoci lékařům optimalizovat nastavení ventilace u pacientů a minimalizovat riziko vzniku tohoto stavu.

Přínosem práce je rovněž rozšíření využití elektrické impedanční tomografie (EIT) v klinické praxi, zejména v monitorování ventilace při vysokofrekvenční oscilační ventilaci (HFOV). Navrhovaná metoda pomocí EIT by mohla přinést řešení problémů s nedostatečnou monitorací ventilace a umožnit lékařům získávat důležité informace o stavu plic pomocí jednoduché a neinvazivní techniky.

Příspěvek práce v oboru biomedicínského inženýrství je ve zlepšení bezpečnosti a efektivity HFOV zavedením nové metody měření celkové dynamické hyperinflace, regionální distribuce dynamické hyperinflace a air-trappingu při HFOV. Tyto informace jsou klíčové pro vedení bezpečné ventilace a optimalizaci protektivních účinků HFOV. Tímto způsobem může práce přispět k zvýšení bezpečnosti a efektivity léčby pacientů ventilovaných pomocí HFOV.

Práce poskytuje podporu pro další výzkum a studie poskytuje ve smyslu hlubšího porozumění problému dynamické hyperinflace a dynamické hypoinflace při HFOV. Výsledky této práce mohou sloužit jako podklad pro další studie a výzkum v oblasti ventilace a léčby pacientů.

Celkově lze říci, že tato práce přináší významný přínos pro biomedicínské inženýrství tím, že rozšiřuje možnosti monitorování ventilace, zlepšuje bezpečnost a efektivitu HFOV a poskytuje podporu pro další výzkum v oblasti ventilace a léčby pacientů.

6. Formální úprava a jazyková úroveň

V předložené práci je citováno relevantních 60 původních prací, majících vztah ke zpracovávané tématice. Autor čerpal ze zahraničních pramenů. Převážná většina prací je aktuálních, tj. publikovaných v posledním desetiletí. Zpracování textu je v českém jazyce a je velmi přehledné a pečlivé. Věty jsou formulovány srozumitelně a na dobré jazykové úrovni. Velmi bych vyzdvihl kvalitně, přehledně a čitelně zpracované grafy a obrazovou dokumentaci v celé práci.

7. Otázky

- Jaký je vztah mezi výsledky nové metody měření a metodou využívající ezofageální balónek, která je považována za zlatý standard?
- Jaký vliv má poměr inspiračního a expiračního času ($II: EE$) na vznik a velikost dynamické hyperinflace a dynamické hypoinflace plic?
- Jaké jsou klinicky významné velikosti dynamické hyperinflace a dynamické hypoinflace plic a jak mohou ovlivnit efekt vysokofrekvenční oscilační ventilace (HFOV) u pacienta?

8. Závěrečné zhodnocení disertační práce

Po prostudování práce mohou konstatovat, že autor prokázal při realizaci práce schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce a obsahuje původní výsledky. **Jednoznačně tak mohu doporučit disertační práci k obhajobě podle §47 VŠ zákona 111/98 Sb., jelikož student prokázal tvůrčí schopnosti a práce splňuje požadavky kladené na disertaci standardně v daném oboru.**

V Ostravě dne 6. 6. 2023

prof. Ing. Marek Penhaker, Ph.D.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, FEI