



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra biomedicínské techniky

Analýza dechového objemu při vysokofrekvenční oscilační ventilaci

Analysis of the tidal volume in high-frequency oscillatory ventilation

Diplomová práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský inženýr

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D.

Naděžda Grenarová

Kladno, květen 2016

Z a d á n í d i p l o m o v é p r á c e

Student: **Bc. Naděžda Grenarová**
Studijní obor: Biomedicínský inženýr
Téma: **Analýza dechového objemu při vysokofrekvenční oscilační ventilaci**
Téma anglicky: Analysis of the tidal volume in high-frequency oscillatory ventilation

Zásady pro vypracování:

Analyzujte a vyhodnoťte závislost dechového objemu při vysokofrekvenční oscilační ventilaci na středním tlaku. Analyzujte naměřené signály průtoku z animálních experimentů a vytvořte skript pro hodnocení dechového objemu. Vyhodnoťte vliv volby středního tlaku na hodnotu dechového objemu v experimentálních fázích před a po plicní laváži. Statisticky zhodnoťte závislost dechového objemu na středním tlaku před a po plicní laváži. Porovnejte hodnoty dechových objemů se záznamy z elektrické imedanční tomografie a zhodnoťte možnost monitorace dechového objemu pomocí elektrické imedanční tomografie.

Seznam odborné literatury:

- [1] J. JANE PILLOW, MALCOLM H. WILKINSON, HEATHER L. NEIL and C. ANDREW RAMSDEN, In Vitro Performance Characteristics of High-Frequency Oscillatory Ventilators, Am. J. Respir. Crit. Care Med., ročník 164, číslo 6, 2001, Zář, 1019-1024 s.
- [2] Bates J., Lung mechanics: An inverse modeling Approach, ed. 1st, Cambridge University Press, 2009, ISBN 0-521-50960-2
- [3] Pacht J., Roubík K., Základy anesteziologie a resuscitační péče dospělých i dětí, ed. 1, Karolinum, Praha, 2003, ISBN 80-246-0479-5

Vedoucí: Ing. Martin Rožánek, Ph.D.
Konzultant: Ing. Jan Matějka

Zadání platné do: 20.08.2017

.....
vedoucí katedry / pracoviště


.....
děkan

V Kladně dne 20.01.2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci s názvem Analýza dechového objemu při vysokofrekvenční oscilační ventilaci vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

V Kladně dne 19. 5. 2016

.....

Bc. Naděžda Grenarová

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Martinovi Rožánkovi, Ph.D. za pomoc při sepsání této diplomové práce. Dále děkuji panu Ing. Janovi Matějkovi za konzultace ke zpracování dat.

Abstrakt

Hlavním cílem této práce je analýza závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku při vysokofrekvenční oscilační ventilaci. Analýza byla provedena celkem na devíti prasatech domácích před a po plicní laváži, kterou byl indukován stav akutního syndromu respirační tísně. Bylo zjištěno, že se mediány skupin dechového objemu s různým rozsahem CDP mezi sebou statisticky významně liší na hladině významnosti 0,01 u zdravých prasat. U prasat se syndromem akutní respirační tísně nebyly rozdíly mezi skupinami prokázány. Dalším cílem práce bylo porovnání změřených dechových objemů se záznamy elektrické impedanční tomografie. Ukázalo se, že respirační variace se zvyšujícím se kontinuálním distenzním tlakem na rozdíl od dechového objemu klesá, a nelze ji tudíž na základě této práce použít pro monitoraci dechového objemu při HFOV.

Klíčová slova

Dechový objem, kontinuální distenzní tlak, CDP, vysokofrekvenční oscilační umělá plicní ventilace, HFOV, elektrická impedanční tomografie, EIT.

Abstract

The aim of this thesis is the analysis of the relationship between the tidal volume and the continuous distending pressure in high-frequency oscillatory ventilation. The analysis was made on nine domestic pigs before and after a pulmonary lavage which induced in a pig acute respiratory distress syndrome. There was a statistically significant difference on the significance level 0,01 found between the medians of the groups of tidal volume measured on various pigs with different range of CDP in healthy pigs. In pigs with the acute respiratory distress syndrome there was no statistically significant difference between the medians found. Another aim of the thesis was the comparison of the tidal volumes with the records of electrical impedance tomography. By contrast to the tidal volume, there was a significant reduction of the tidal variation when CDP was increased. For this reason according to this thesis the tidal variation cannot be used for monitoring of the tidal volume in high-frequency oscillatory ventilation.

Key words

Tidal volume, continuous distending pressure, CDP, high-frequency oscillatory ventilation, HFOV, electrical impedance tomography, EIT.

Obsah

Úvod.....	1
1 Současný stav.....	4
1.1 Vztah dechového objemu a změny impedance	4
1.2 Vztah CDP a dechového objemu	4
1.3 Vztah CDP a změny impedance.....	5
2 Metody	6
2.1 Animální experiment.....	6
2.2 Zpracování dat.....	7
2.2.1 Zpracování dat z přístroje iMon.....	8
2.2.2 Zpracování dat z přístroje PulmoVista 500	9
2.3 Statistické zpracování.....	13
3 Výsledky	14
3.1 Dechové objemy při zvyšování CDP před laváží	17
3.2 Dechové objemy při zvyšování CDP po laváží	22
3.3 Dechové objemy při snižování CDP před laváží	27
3.4 Dechové objemy při snižování CDP po laváží	33
3.5 Respirační variace při zvyšování CDP před laváží	37
3.6 Respirační variace při zvyšování CDP po laváží	41
4 Diskuze	47
4.1 Závislost dechového objemu na CDP	47
4.2 Závislost respirační variace na CDP	48
4.3 Zpracování dat a statistická analýza.....	48
Závěr	51
Literatura.....	52
Příloha A.....	55

Testování závislosti dechového objemu na skupině CDP při zvyšování CDP před laváží	55
Testování závislosti dechového objemu na skupině CDP při snižování CDP před laváží	57
Testování závislosti respirační variace na skupině CDP při zvyšování CDP před laváží	59
Testování závislosti respirační variace na skupině CDP při zvyšování CDP po laváží	61
Příloha B	63
Funkce zobrazující závislosti tlaku a průtoku na čase	63
Funkce zjišťující hodnotu respirační variace	66
Funkce pro výpočet dechového objemu	67
Funkce pro výpočet Shaphirova Wilkova testu	68
Funkce pro výpočet Friedmanova testu	70
Funkce pro výpočet Wilcoxonova testu.....	71

Úvod

Umělá plicní ventilace (UPV) je způsob podpory dýchání pacientů, u nichž došlo k selhání respiračního systému, zajišťující výměnu respiračních plynů. Existují různé typy UPV lišící se tím, na jakém principu pracují. Tato práce se zabývá vysokofrekvenční oscilační ventilací (HFOV).

Vysokofrekvenční oscilační ventilace je jeden z typů nekonvenční umělé plicní ventilace. Plíce jsou udržovány roztažené pomocí kontinuálního distenzního tlaku (CDP). HFOV se vyznačuje malým dechovým objemem, který je pacientovi dodáván prostřednictvím tlakových oscilací vytvářených kmitající membránou pohybující se vysokou frekvencí. Frekvence oscilací se pohybuje mezi 2 až 20 Hz. Dechový objem se u dospělých jedinců pohybuje v řádu desítek mililitrů, jeho velikost je srovnatelná s velikostí mrtvého prostoru. Protože plíce jsou udržovány roztažené pomocí CDP a jsou roztahovány jen malými zákmity oscilací, snižuje tento způsob umělé plicní ventilace riziko barotraumatů i volumotraumatů [1].

Při UPV je nutná kontrola, zda ventilátor dostatečně ventiluje pacienta. Během konvenční ventilace, která se v klinické praxi používá častěji než HFOV, tak lze učinit sledováním ventilačních parametrů, jako je dechový objem nebo tlak v plicích, který se během konvenční ventilace vzhledem k její pomalosti neliší od tlaku na začátku respirační soustavy. Tyto parametry jsou při konvenční ventilaci známy. Během vysokofrekvenční oscilační ventilace lze však velikost dechového objemu regulovat pouze nepřímo, a to pomocí amplitudy tlakových oscilací, frekvence a poměru inspiria a expiria, které lze na vysokofrekvenčním oscilačním ventilátoru nastavit. [3]. Do klinické praxe není ani zaveden přístroj, kterým by se dal dechový objem u lůžka pacienta měřit [1][2]. Není známá ani tlaková amplituda v plicích, která je zde nižší než na začátku dýchacích cest. Vhodnost nastavení respiračních parametrů je kontrolována sledováním hladiny oxidu uhličitého a kyslíku v krvi. Na hladinu obou plynů má vliv dechový objem. Ten řídí nejenom hladinu oxidu uhličitého v krvi, jako je tomu u ventilace konvenční, ale také oxygenaci krve [1]. Dalším důležitým parametrem HFOV nastavitelným na vysokofrekvenčním oscilačním ventilátoru je kontinuální distenzní tlak (CDP), který udržuje trvalou distenzi plic a řídí oxygenaci [1]. Hlavním cílem této práce je analyzovat vliv CDP na dechový objem a zjistit, zda se dechový objem mění se změnou CDP.

Možnost monitorace dechového objemu u lůžka pacienta by mohla umožnit elektrická impedanční tomografie (EIT) [2]. Elektrická impedanční tomografie je diagnostická

metoda, která zobrazuje lokální rozložení tkáňové impedance [8]. Měření probíhá pomocí elektrod přiložených na povrch tkáně. Pro monitoraci plic jsou elektrody umístěny podél obvodu hrudníku [9]. Typicky se jedná o polohu mezi čtvrtým a šestým mezižebřím [8]. Elektrody slouží ke dvěma účelům, a to k vysílání proudového pulzu a k měření napětí. V této práci je použit přístroj PulmoVista 500 (Dräger Medical, Lübeck, Germany). Tento přístroj používá elektrodový pás se 16 elektrodami. Proud je přiveden nejprve mezi dvě sousedící elektrody (první a druhou) a měří se napětí mezi ostatními 13 sousedícími elektrodovými páry (tedy mezi druhou a třetí, třetí a čtvrtou atd.). Poté je proud přiveden mezi následující pár elektrod (druhou a třetí) a napětí se měří na ostatních párech; tento postup se opakuje pro všechny další elektrodové páry. V případě šestnácti elektrod je provedeno 208 měření. Z této matice 208 hodnot je sestaven jeden průřezový snímek [5]. Obraz je sestaven prostřednictvím výpočetních algoritmů podobně jako u CT [9]. Typická velikost proudového pulzu je 5 mA a jeho frekvence 50 kHz. Prostorová rozlišovací schopnost systému je dána počtem elektrod. Vzorkovací frekvence je 13–50 snímků za vteřinu [8] [9].

Pro získání informací o správných absolutních hodnotách impedance je nutná znalost přesného umístění elektrod na těle pacienta, jehož zjištění by mohlo být problematické. Tuto nevýhodu odstraňuje funkční elektrická impedanční tomografie (fEIT), jelikož zobrazuje pouze změnu impedance za určitý časový úsek [8]. Změna impedance je vyhodnocována relativně vztahem dané matice k referenční matici [5]. Relativní změna impedance je bezrozměrná, udává se obvykle v jednotkách AU (arbitrary units). Jedním ze způsobů zobrazení výstupu z fEIT je globální impedanční křivka. Tato křivka zobrazuje závislost relativní změny impedance na čase. Jeden bod globální impedanční křivky je tvořen součtem pixelů jednoho průřezového snímku. Rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou pro každý dech v globální impedanční křivce je nazván globální respirační variace (TV) [5]. Během konvenční ventilace byl prokázán lineární vztah mezi TV a dechovým objemem [10]. Dalším cílem této práce je porovnání hodnot dechového objemu se záznamy elektrické impedanční tomografie a zhodnocení možnosti monitorace dechového objemu pomocí EIT při HFOV.

HFOV je vedle vysokofrekvenční tryskové ventilace často používaná u předčasně narozených novorozenců s respiračním selháním [2]. Byly též zveřejněny studie

dokládající vhodnost použití HFOV i u dospělých jedinců se syndromem akutní dechové tísně (ARDS) [6][7]. Syndrom akutní dechové tísně je zánětlivé onemocnění plicní tkáně, které může mít různé příčiny [13]. Při onemocnění ARDS se snižuje poddajnost respirační soustavy [12]. Pro optimální ventilaci je tedy zapotřebí vyšších středních tlaků. Tato práce se zabývá analýzou závislosti dechového objemu na CDP před a po plicní laváži ventilovaných subjektů, kterou byl navozen stav ARDS.

Hlavním cílem této práce je tedy analýza závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku. Dalším cílem je porovnání hodnot dechového objemu s měřením elektrické impedanční tomografie a zhodnocení možnosti měření dechového objemu pomocí EIT při vysokofrekvenční oscilační ventilaci. Data jsou získána z animálních experimentů na prasatech domácích před a po provedení laváže plic, která indukuje syndrom akutní dechové tísně.

1 Současný stav

1.1 Vztah dechového objemu a změny impedance

V současné době není do klinické praxe zaveden přístroj, který by při vysokofrekvenční oscilační ventilaci měřil dechový objem u lůžka pacienta [1][2]. Tuto nevýhodu by mohla odstranit elektrická impedanční tomografie. Byla popsána závislost dechového objemu a změny impedance při konvenční ventilaci. Ve studii [4] byla při experimentech na psech potvrzena schopnost elektrické impedanční tomografie změřit změny objemu vstříknutého do subjektů stříkačkou i dechové objemy při ventilaci konvenčním ventilátorem. V této studii byla zjištěna lineární závislost dechového objemu na změně impedance. Lineární závislost dechového objemu a změny impedance je uvedena rovněž v [10]. Při HFOV nebyla závislost dechového objemu na změně impedance řádně popsána.

1.2 Vztah CDP a dechového objemu

Ve studii [3] byl na umělé plíci zjišťován vliv středního tlaku na velikost dechového objemu. Dechový objem byl měřen anemometrem se žhaveným drátem a jako ventilátor byl použit Sensormedics 3100B. V této studii nebyl prokázán vliv středního tlaku na dechový objem. Podobné měření na umělé plíci bylo provedeno ve studii [11]. Byl zde měřen vliv středního tlaku na dechový objem u tří vysokofrekvenčních ventilátorů. U ventilátorů OHF 1 a Sensor-Medics 3100A nebyl prokázán vliv středního tlaku na velikost dechového objemu. U ventilátoru HFV-Babylog 8000 byl prokázán pokles dechového objemu při klesajícím středním tlaku. Rozsah použitých středních tlaků byl 5–25 cmH₂O, použitá frekvence byla 15 Hz. Obě studie [3] i [11] byly provedeny na umělé plíci, která má neměnné mechanické parametry. Závislost dechového objemu na CDP může být velmi ovlivněna právě měnícími se mechanickými parametry při změně CDP u živých ventilovaných subjektů.

1.3 Vztah CDP a změny impedance

Ve studii [2] byla zjišťována závislost mezi CDP a oscilačním objemem vypočteným z rozkmitu impedance při HFOV. Studie byla provedena na deseti novorozencích. Oscilační objem byl uveden v jednotkách AU. Měřeny byly hodnoty CDP 8–20 cmH₂O, zvedané po 2 cmH₂O. Oscilační objem stoupal mezi 8–14 cmH₂O od přibližně 6 do 9 AU. Poté klesnul až k hodnotě přibližně 5 AU při 20 cmH₂O.

2 Metody

2.1 Animální experiment

Práce používá data z animálních experimentů, pro něž bylo použito laboratorních prasat domácích (*Sus scrofa domestica*). Měření bylo provedeno celkem na dvanácti prasatech, chovaných za speciálních neměnných podmínek. Jejich hmotnost se pohybuje okolo 50 kg, je u všech testovaných zvířat přibližně stejná, aby bylo možné výsledky pokusů porovnávat. Provedené experimenty byly schváleny etickou komisí. Pokusy byly provedeny na prasatech před proplachem respirační soustavy detergentem a po něm. Proplach respirační soustavy detergentem navodil u pokusných zvířat syndrom akutní dechové tísně (ARDS). Výsledky experimentů jsou uvedeny v kapitole 3.

Experimenty byly provedeny ventilačním týmem Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze ve spolupráci s Fyziologickým ústavem 1. lékařské fakulty Karlovy univerzity v Praze. Lékařský tým zajišťuje přípravu prasete a dávkování anesteziologických látek, dohlíží též na průběh dílčích částí experimentů tak, aby byly zachovány fyziologické funkce zvířete.

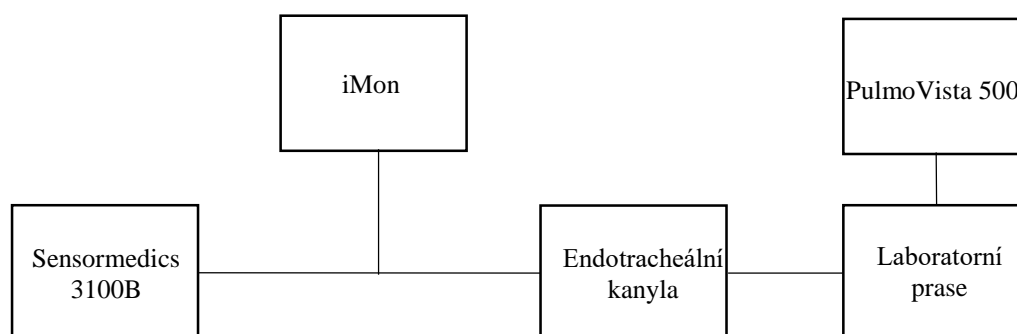
Během celého experimentu bylo laboratornímu praseti podáváno anestetikum – 2% propofol (25 mL/h), Midazolam (50 mg/, 10 mL/h). Dále arduan (4mg každých 45 min), který bránil spontánnímu dýchání, heparin (200 j/mL, 12 mL/h) proti srážlivosti krve a morfin (1 mg/mL, 10 mL/h) pro zamezení bolesti. V průběhu experimentu byly pořizovány záznamy EKG, pulzní oxymetrie a hodnot parciálního tlaku kyslíku a oxidu uhličitého v arteriální krvi, jakož i dalších parametrů. Na začátku experimentu bylo zvíře intubováno, připojeno na konvenční umělou plicní a přivedeno do ustáleného stavu. Následně bylo přepojeno na vysokofrekvenční oscilační ventilátor SensorMedics 3100B (CareFusion, Yorba Linda, CA). Během tohoto manévru bylo nutné utěsnit endotracheální kanylu peánem, takže subjekt nebyl po dobu několika vteřin ventilován. Uzavření endotracheální kanyly peánem není dostatečně těsné, dochází tedy k poklesu středního tlaku a částečnému kolapsu plicních sklípků. Po přechodu na HFOV bylo prase uvedeno opět do ustáleného stavu. Poté byl skokově zvyšován střední tlak CDP o 2 cmH₂O. Rozsah použitých hodnot CDP se u různých prasat lišil podle fyziologického stavu zvířete. Po dosažení maximální hodnoty bylo CDP skokově snižováno o 2 cmH₂O až do dosažení hodnoty minimální, při které vykazoval ventilovaný subjekt známky dostatečné oxygenace, avšak ne nižší, než byla hodnota počáteční. Ostatní parametry jako poměr inspiria a expiria i frekvence a velikost oscilací membrány byly během

experimentu nastaveny na stejné hodnotě. Poměr I:E byl u všech měřených prasat 1:1, frekvence byla nastavena na 5 Hz. Velikost oscilací membrány se u ventilovaných subjektů lišila, v průběhu jednoho experimentu byla však konstantní.

Po provedení experimentu s postupným navyšováním a snižováním CDP u zdravého prasete byl pomocí laváže navozen stav syndromu akutní respirační tísně. Laváž spočívala v proplachu plic 1,5 litru detergentu. Poté bylo prase opět uvedeno do ustáleného stavu a následně byl zahájen experiment s postupným navyšováním a snižováním CDP obdobně jako u zdravého prasete.

Pro záznam tlaku a průtoku byl použit přístroj iMon pro HFOV měřící průtok prostřednictvím tlakového úbytku na clonce, na které je zároveň umístěn port pro záznam tlaku. V průběhu experimentu byl pořizován záznam EIT přístrojem PulmoVista 500.

Schéma zapojení animálního experimentu je zobrazeno na Obr. 1.



Obr. 1: Blokové schéma měřicí soustavy pro animální experiment.

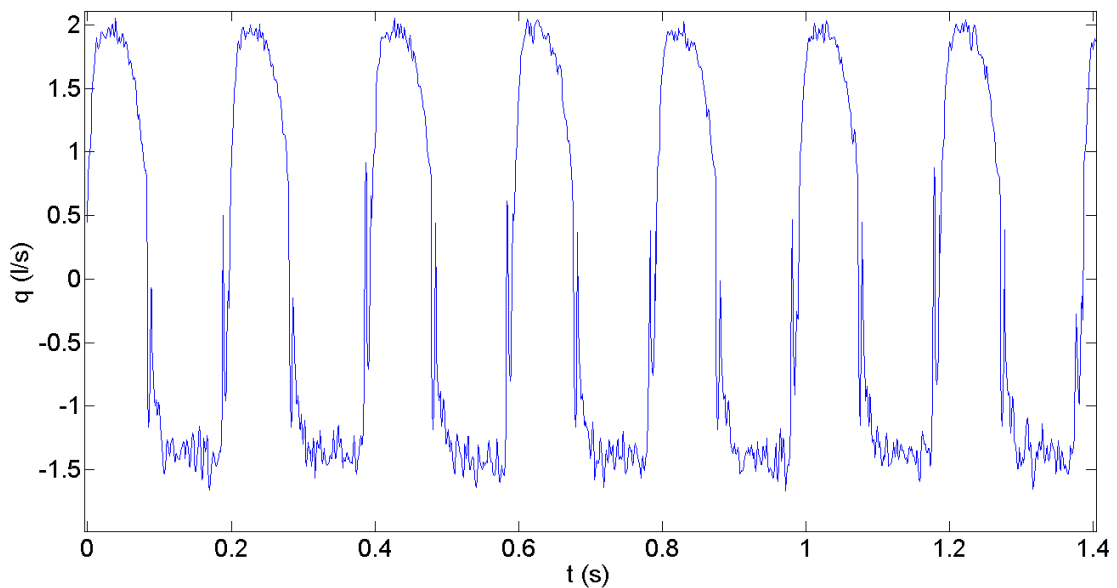
2.2 Zpracování dat

Zpracování dat je rozděleno na dvě části. První část obsahuje zpracování dat měřených přístrojem iMon, druhá část obsahuje zpracování dat z přístroje PulmoVista 500. Data z obou přístrojů byla převedena do formátu *.mat a dále zpracovávána v prostředí MATLAB (MATLAB R2013a, The Mathworks, Natick, USA). Ventilované subjekty jsou označeny dvojmístnými čísly, která jim byla přiřazena v rámci experimentu.

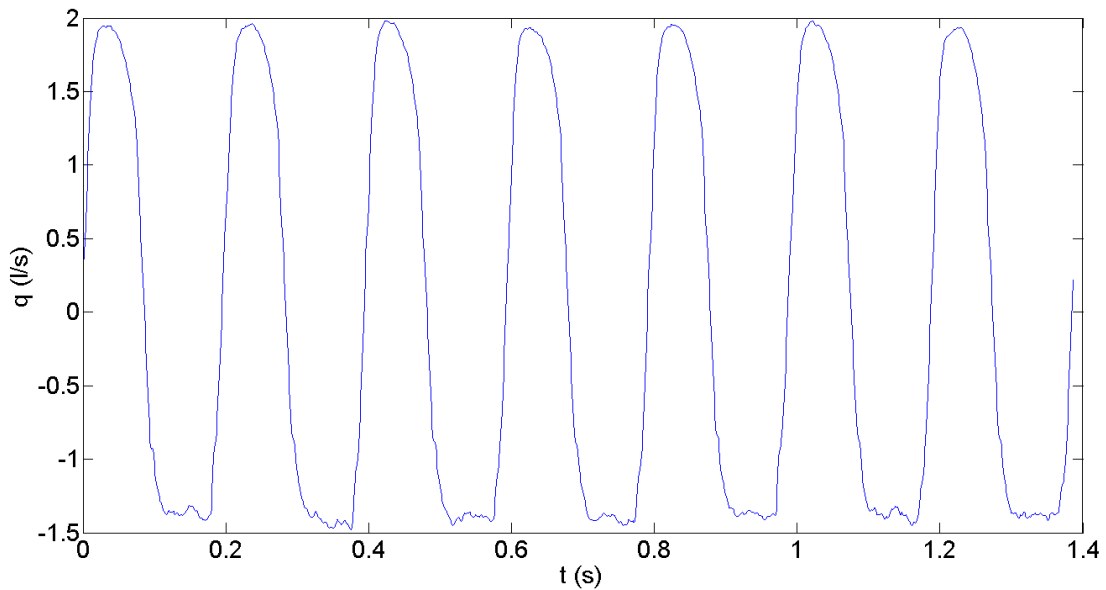
2.2.1 Zpracování dat z přístroje iMon

Přístroj iMon byl použit pro záznam tlaku a průtoku ventilační směsi před endotracheální kanylou. Signál pro průtok je měřen jako tlaková změna na clonce. Tlak i tlaková změna na clonce jsou přístrojem zaznamenány jako hodnota napětí. Přístroj ukládá data do textového souboru, ze kterého jsou v prostředí MATLAB uložena do formátu *.mat. Data jsou dále násobena příslušnou konstantou podle kalibrace přístroje, a jsou tak převedena na tlak v pascálech. Signál pro průtok je pak pomocí připravené funkce Pressure2flow2 převeden z tlakové změny v pascálech na průtok v litrech za minutu. Funkce Pressure2flow2 byla vytvořena pomocí kalibrační funkce clonky použité k měření a je běžně využívána pro převedení dat získaných z přístroje iMon. Data jsou vzorkována frekvencí tisíc hertzů. Signál průtoku byl filtrován pomocí filtru smooth programu MATLAB, který počítá klouzavý průměr s danou velikostí okna. Velikost okna byla zvolena dvacet vzorků.

Ukázka signálu průtoku bez filtrace a s filtraceí je na Obr. 2 a Obr. 3.



Obr. 2: Signál průtoku před filtraceí.

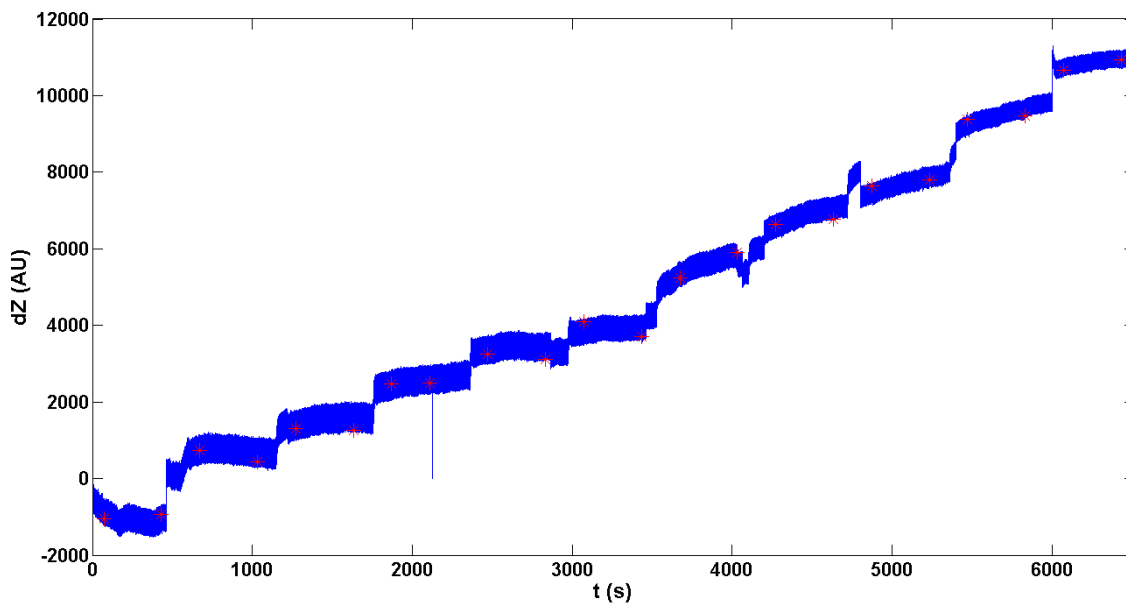


Obr. 3: Signál průtoku po filtraci.

Ze signálu tlaku byla spočtena střední hodnota, tedy hodnota CDP. Ze signálu průtoku byl vypočten dechový objem integrováním kladných půlvln signálu a vydělením počtem půlvln. Detekce počtu period za zvolený časový úsek byla provedena na vyfiltrovaném signálu průtoku součtem počtu průchodů nulou. Integrace byla provedena pomocí funkce trapz programu MATLAB, která počítá numerickou integraci lichoběžníkovou metodou. Před vypočtením dechového objemu byla ze signálu průtoku odečtena průměrná hodnota. Pro kontrolu byl vypočten objem ze záporných půlvln signálu a obě hodnoty objemů byly od sebe odečteny. Výsledná hodnota by se měla blížit nule, protože byl použit poměr inspira a expira 1:1. Toto bylo u všech naměřených dechových objemů splněno.

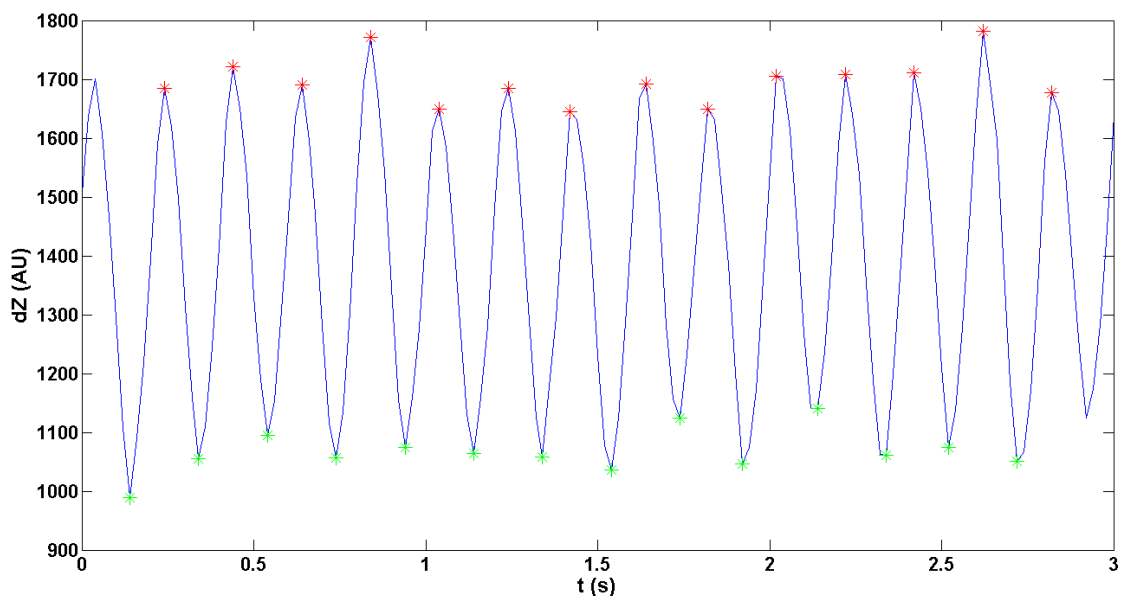
2.2.2 Zpracování dat z přístroje PulmoVista 500

Přístroj PulmoVista 500 ukládá data do formátu *.eit. Z formátu *.eit byla data převedena pomocí programu Draeger EIT Data Analysis Tool (Draeger EIT Data Analysis Tool 6.1, Draeger Medical, Lübeck, Germany) do formátu *.asc. Z tohoto formátu pak byla data převedena do formátu *.mat v prostředí MATLAB. Vzorkovací frekvence byla 50 Hz. U prasete 37 byla vzorkovací frekvence 20 Hz. Z dynamické impedanční křivky byly vybrány úseky signálu s konstantní hodnotou CDP. Na Obr. 4 je vyznačen průběh dynamické impedanční křivky pro část experimentu na praseti 01, kde byla navyšována hodnota CDP z 9 cmH₂O na 26 cmH₂O.



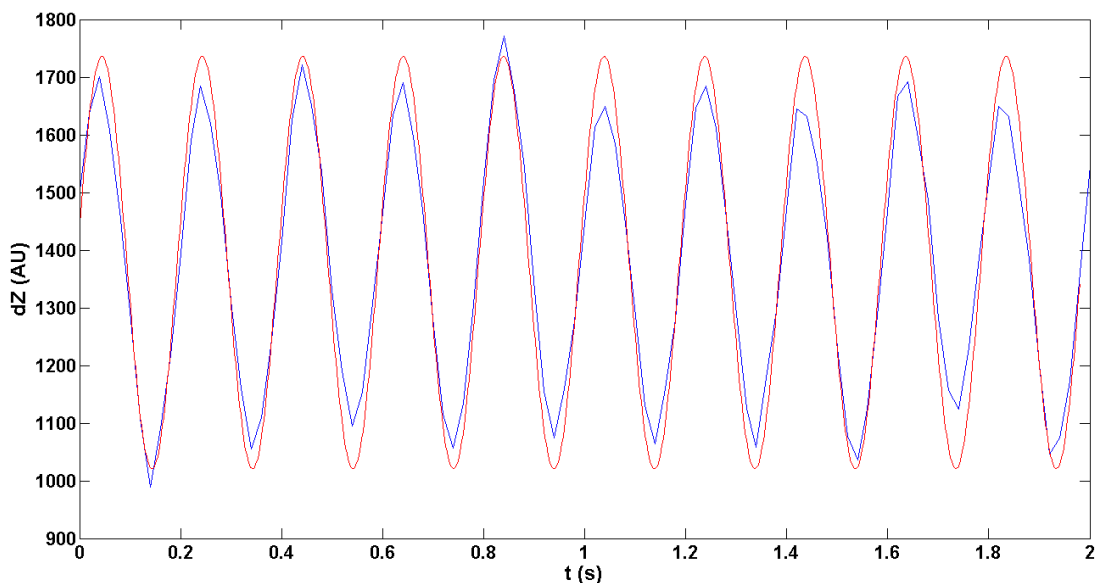
Obr. 4: Průběh dynamické impedanční křivky (prase 01), kde byla navyšována hodnota CDP z 9 cmH₂O na 26 cmH₂O. Červené hvězdičky vyznačují začátek a konec úseku se stejnou hodnotou CDP.

Na úseku se stejnou hodnotou CDP byl sledován rozdíl maximální a minimální hodnoty relativní změny impedance pro jeden vdech. Na Obr. 5 je znázorněn úsek dynamické impedanční křivky o délce tři vteřiny s hodnotou CDP 12 cmH₂O z experimentu na praseti 01. Na obrázku jsou znázorněny maximální a minimální hodnoty pro každý dech. Frekvence umělé plicní ventilace je 5 Hz, na obrázku jsou tedy zvýrazněna maxima a minima čtrnácti dechů. Odečtením maximální a minimální hodnoty je získán parametr zvaný respirační variace (TV = Tidal Variation).



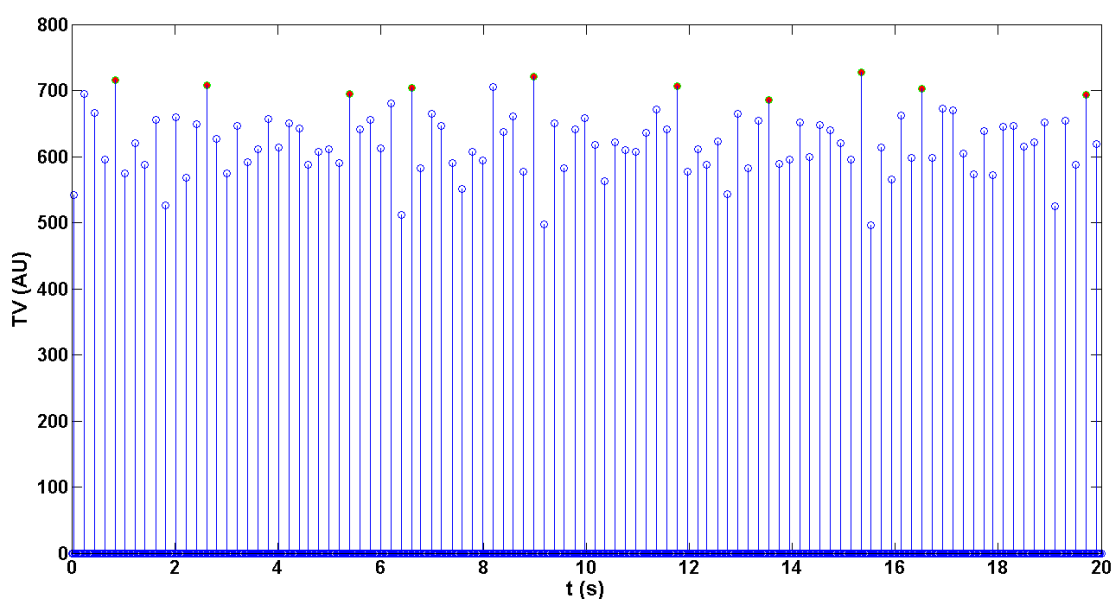
Obr. 5: Dynamická impedanční křivka. Úsek z prasete 01 pro CDP 12 cmH₂O. Červené hvězdičky označují maximální hodnotu relativní změny impedance, zelené hvězdičky minimalní hodnotu impedance pro jeden nádech.

I přes použití maximální vzorkovací frekvence, kterou lze na přístroji PulmoVista 500 nastavit, dochází k podvzorkování signálu. Naměřené hodnoty relativních změn impedance nedosahují vždy minima a maxima, ale jsou useknuté. Pro minimalizaci aliasingu je pro výpočet použita vždy jen maximální hodnota TV za dvě vteřiny, pro prase 37 za pět vteřin. Na Obr. 6 je modře znázorněn průběh dynamické impedanční křivky s aliasingem a červeně průběh funkce sinus spočtené metodou nejmenších čtverců s amplitudou určenou jako polovina maximální hodnoty respirační variace za dvě vteřiny, která znázorňuje, jakým způsobem byl v daném úseku vliv podvzorkování minimalizován.



Obr. 6 : Průběh dynamické impedanční křivky (modře), minimalizace aliasingu proložením dynamické impedanční křivky funkcí sinus vypočtenou metodou nejmenších čtverců s amplitudou zvolenou jako polovina maximální hodnoty TV za dvě vteřiny.

Kolísání respirační variance v důsledku aliasingu je vidět na Obr.7 . Respirační variace je zobrazena jako diskrétní signál se stejnou časovou osou jako dynamická impedanční křivka. Hodnoty TV jsou znázorněny na místech maximální impendace pro každý nádech, zbylé hodnoty jsou doplněny nulami. Vybrané maximální hodnoty za každé dvě vteřiny jsou zobrazeny červeně.



Obr.7: Kolísání hodnot respirační variace.

2.3 Statistické zpracování

Pro statistické zhodnocení byly výsledky experimentů rozděleny do čtyř fází. Jedná se o fáze experimentu, při kterých byl kontinuální distenzní tlak postupně zvyšován před provedením plicní laváže a po provedení plicní laváže, kterou byl indukován syndrom akutní respirační tísně. A dále se jedná o části experimentu, při kterých byl kontinuální distenzní tlak před provedením plicní laváže a po provedení plicní laváže postupně snižován. Naměřené hodnoty dechového objemu a respirační variace byly rozřazeny do skupin podle rozpětí kontinuálního distenzního tlaku. Prostřednictvím Shapiro-Wilkova testu byla v takto vzniklých skupinách CDP, do nichž byly zařazeny hodnoty dechového objemu nebo respirační variace u různých prasat, testována nulová hypotéza, že rozložení ve skupině je normální. Dále byly skupiny testovány pomocí Friedmanova testu, aby se zjistilo, zda existuje statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými skupinami CDP. Friedmanův test byl vybrán z toho důvodu, že data v jednotlivých skupinách jsou závislá. Vzorce použité ve statistických funkcích a statistické tabulky pro výpočet Friedmanova testu, t-testu a Shapiro-Wilkova testu jsou z literatury [15] pro Shapiro-Wilkův test a [16] pro Friedmanův test a t-test.

3 Výsledky

V této kapitole jsou výsledky rozděleny do jednotlivých podkapitol podle měřené veličiny – dechového objemu nebo respirační variace a fáze experimentu. Jedná se o fáze experimentu před laváží a po laváží, kterou byl indukován syndrom akutní respirační tísně, a dále o část experimentu, při kterém byl kontinuální distenzní tlak postupně zvyšován, a o část experimentu, během které byl CDP postupně snižován. Zpracování dat je popsáno v kapitolách 2.2 a 2.3.

Pro účel statistické analýzy byla data rozdělena do skupin CDP. Tyto skupiny jsou uvedeny v Tab. 1 pro fázi experimentu zvyšování CDP před laváží, v Tab. 2 pro fázi experimentu zvyšování CDP po laváží, v Tab. 3 pro fázi experimentu snižování CDP před laváží a v Tab. 4 pro fázi experimentu snižování CDP po laváží. Pro každou fázi experimentu je rozsah hodnot tlaku ve skupinách CDP jiný, protože manuálně nastavená hodnota CDP na ventilátoru není v systému udržena zcela přesně.

Tab. 1: Čísla skupin CDP a rozsahy hodnot CDP ve skupinách pro fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

číslo skupiny	rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)
1	7,0–9,4
2	9,5–11,4
3	11,5–12,8
4	12,9–14,4
5	14,5–16,2
6	16,3–18,0
7	18,1–20,3
8	20,5–22,0
9	22,1–23,9
10	24,0–26,0
11	26,1–27,9
12	28,0–30,3
13	30,4–32,5

Tab. 2: Čísla skupin CDP a rozsahy hodnot CDP ve skupinách pro fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži.

číslo skupiny	rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)
1	11,9–13,0
2	13,1–14,0
3	14,1–15,5
4	15,6–16,5
5	16,6–18,0
6	18,6–19,5
7	19,6–21,0
8	21,1–22,8
9	22,9–24,0
10	24,1–25,7
11	25,8–27,0
12	27,1–28,3
13	28,4–30,12
14	30,13–32,0
15	32,1–34,3
16	34,4–35,7

Tab. 3: Čísla skupin CDP a rozsahy hodnot CDP ve skupinách pro fázi experimentu při snižování CDP před laváží.

číslo skupiny	skupina CDP (cmH ₂ O)
1	7,0–9,4
2	9,5–11,5
3	11,6–12,9
4	13,0–14,9
5	15,0–16,4
6	16,5–18,5
7	18,6–20,5
8	20,7–21,9
9	22,0–23,9
10	24,0–25,9
11	26,0–27,9
12	28,0–30,3
13	30,4–31,0

Tab. 4: Čísla skupin CDP a rozsahy hodnot CDP ve skupinách pro fázi experimentu při snižování CDP po laváži.

číslo skupiny	skupina CDP (cmH ₂ O)
1	11,5–11,9
2	12,0–13,9
3	14,0–15,4
4	15,5–17,0
5	17,1–18,39
6	18,40–19,9
7	20,0–21,9
8	22,0–23,7
9	23,8–5,5
10	25,6–26,9
11	27,0–28,5
12	28,6–30,9
13	31,0–2,9
14	33,0–5,7

Počet naměřených hodnot (dechového objemu nebo respirační variace) v jednotlivých skupinách není stejný. Nejnižší hodnoty CDP nebyly u některých prasat použity, protože při těchto hodnotách daná prasata nevykazovala dostatečnou oxygenaci. Nejvyšší hodnoty nebyly u některých ventilovaných subjektů použity kvůli hemodynamickým parametrům, které překračovaly fyziologické meze. Hodnoty, které chybí uprostřed tabulky, se posunuly do jiné skupiny CDP kvůli manuálnímu nastavení tlaku na ventilátoru. Friedmanův test vyžaduje stejný počet měření v každé skupině, proto byla vždy použita data pouze z některých skupin CDP a jen od některých prasat, aby byla tabulka zcela vyplněna. Z tohoto důvodu bylo také pro jednu fázi experimentu vytvořeno více tabulek, aby bylo testováno co nejvíc skupin CDP a co nejvíc ventilovaných subjektů. V následujících kapitolách jsou popsány provedené statistické testy. Vždy je uvedena nejprve tabulka, v níž jsou uvedeny hodnoty, které byly testovány. Následuje krabicový graf, který hodnoty uvedené v tabulce znázorňuje graficky.

Nulová hypotéza pro Friedmanův test H_0 zněla: Skupina CDP nemá vliv na měřenou veličinu (dechový objem či respirační variaci). Alternativní hypotéza H_1 zněla: Skupina CDP má vliv na měřenou veličinu (dechový objem či respirační variaci), alespoň dvě skupiny se od sebe statisticky významně liší svým mediánem.

Hypotéza H_0 byla testována na hladinách významnosti $\alpha = 0,05$ a $\alpha = 0,01$. Z důvodu přehlednosti zpracovaných výsledků jsou v této kapitole uvedeny pouze statisticky

významné rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. Výsledky, kde jsou uvedeny obě hladiny významnosti, tedy $\alpha = 0,01$ i $\alpha = 0,05$, jsou v příloze A.

Pokud byla zamítnuta nulová hypotéza, byla provedena post hoc analýza pro zjištění, které dvojice skupin CDP se od sebe statisticky významně liší svým mediánem.

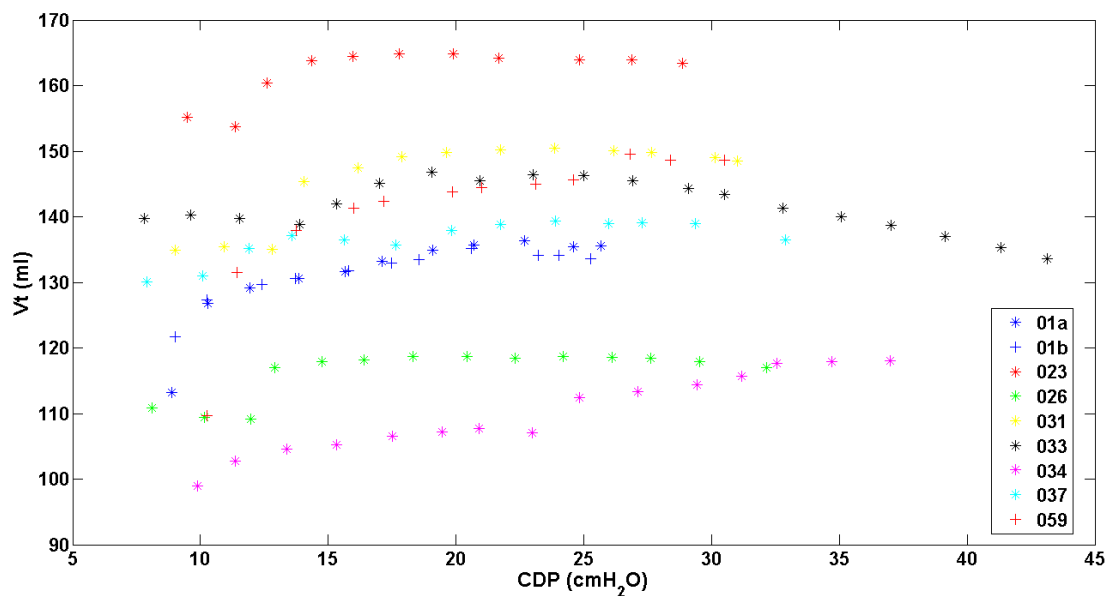
K zobrazení výsledků byly využity krabicové grafy. Krabicové grafy zobrazují medián každé skupiny CDP (červená čára uprostřed obdélníku), dolní ($Q_{0,25}$) a horní kvartil ($Q_{0,75}$) (dolní a horní strana obdélníku), jako odlehlé hodnoty jsou označovány hodnoty, které jsou větší než $Q_{0,75} + 1,5 * IQR$, kde IQR je mezikvartilové rozpětí, nebo menší než $Q_{0,25} - 1,5 * IQR$ a jsou označeny červeným křížkem. Přerušované vertikální čáry označují nejvzdálenější hodnotu, která ještě není označena za odlehlou. U prasete 59 byly naměřeny hodnoty respirační variace pohybující se okolo 30 000 AU. Proto nebyly naměřené hodnoty respirační variace od prasete 59 zařazeny do grafického znázornění pomocí krabicových grafů.

3.1 Dechové objemy při zvyšování CDP před laváží

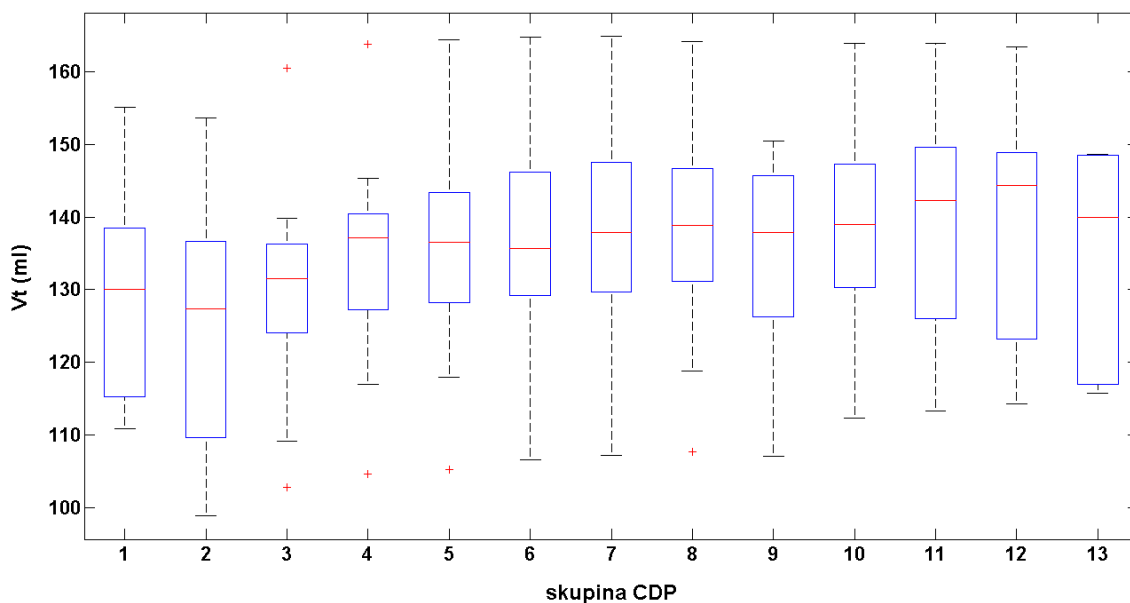
Dechové objemy naměřené při zvyšování CDP před laváží jsou uvedeny v Tab. 5. Řádky v tabulce odpovídají měření na jednotlivých prasatech. Dvojmístná čísla v levém sloupci tabulky označují číslo prasete. Grafické znázornění závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku při zvyšování CDP před laváží je uvedeno na Obr. 8. Znázornění závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku při zvyšování CDP před laváží pomocí krabicového grafu je uvedeno na Obr. 9. Pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží byly vytvořeny dvě tabulky, a to Tab. 6 a Tab. 7.

Tab. 5: Dechové objemy měřené na prasatech 01a, 01b, 23, 26, 31, 33, 34, 37, 59 pro jednotlivé skupiny CDP v experimentální fázi při zvyšování CDP před laváží.

skupina CDP (cmH ₂ O)	7,0-9,4	9,5-11,4	11,5- 12,8	12,9-14,4	14,5- 16,2	16,3-18,0	18,1-20,3	20,5- 22,0	22,1-23,9	24,0- 26,0	26,1-27,9	28,0-30,3	30,4-32,5
Vt (ml) 01a	113,2	126,8	129,1	130,6	131,7	133,2	135,0	135,7	136,4	135,5			
Vt (ml) 01b	121,7	127,3	129,7	130,6	131,8	132,9	133,4	135,2	134,2	134,1	133,6		
Vt (ml) 23	155,2	153,7	160,4	163,8	164,5	164,8	164,8	164,2		163,9	163,9	163,4	
Vt (ml) 26	110,9	109,4	109,2	117,0	117,9	118,2	118,7	118,7	118,4	118,7	118,5	117,9	116,9
Vt (ml) 31	134,8	135,4	135,0	145,3	147,5	149,2	149,8	150,2	150,5	150,0	149,8	149,0	148,5
Vt (ml) 33	139,8	140,3	139,8	138,8	142,0	145,1	146,8	145,5	146,5	146,3	145,5	144,3	143,4
Vt (ml) 34		98,9	102,8	104,6	105,2	106,6	107,2	107,7	107,1	112,4	113,4	114,3	115,7
Vt (ml) 37	130,1	131,0	135,1	137,1	136,5	135,7	137,9	138,8	139,3	139,0	139,1	138,9	136,4
Vt (ml) 59		109,6	131,5	137,9	141,4	142,4	143,7	144,4	144,9	145,6	149,5	148,6	148,6



Obr. 8: Graf závislosti dechového objemu na CDP pro fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. V legendě v obrázku je uvedeno číslo prasete.

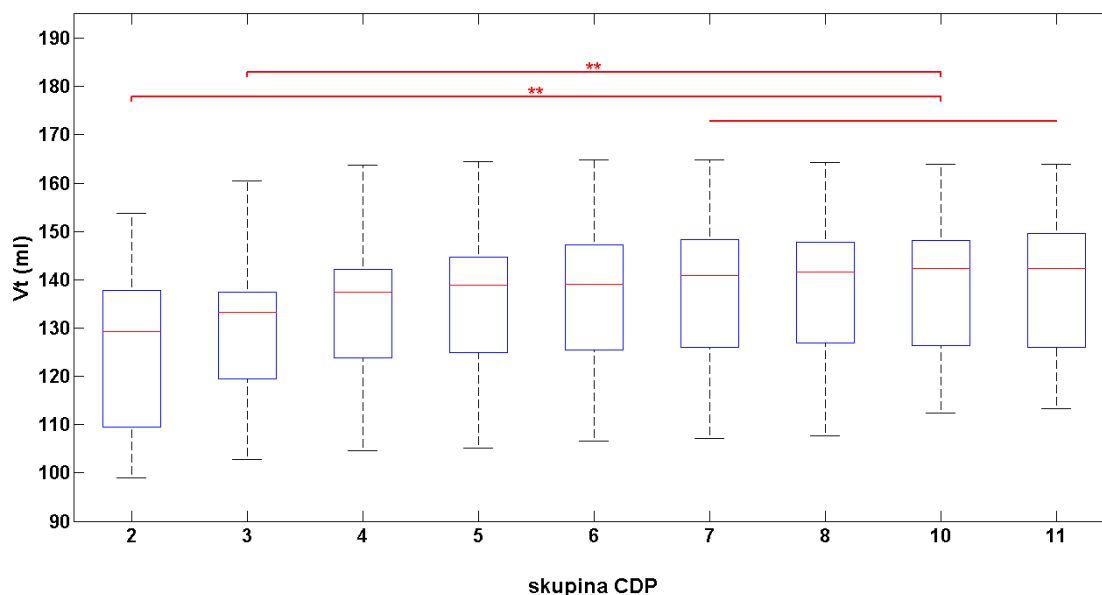


Obr. 9: Krabicový graf závislosti dechového objemu na skupině CDP pro fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

V Tab. 6 bylo testováno devět skupin CDP mezi 2. – 11. skupinou s celkovým rozsahem hodnot CDP 9,5–27,9 cmH₂O. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 7, 2 a 8, 2 a 10, 2 a 11, 3 a 7, 3 a 8, 3 a 10, 3 a 11 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$.

Tab. 6: Tabulka I pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

číslo skupiny CDP	2	3	4	5	6	7	8	10	11
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,4	11,5–12,8	12,9–14,4	14,5–16,2	16,3–18,0	18,1–20,3	20,5–22,0	24,0–26,0	26,1–27,9
Vt (ml) 01b	127,3	129,7	130,6	131,8	132,9	133,4	135,2	134,1	133,6
Vt (ml) 23	153,7	160,4	163,8	164,5	164,8	164,8	164,2	163,9	163,9
Vt (ml) 26	109,4	109,2	117,0	117,9	118,2	118,7	118,7	118,7	118,5
Vt (ml) 31	135,4	135,0	145,3	147,5	149,2	149,8	150,2	150,0	149,8
Vt (ml) 33	140,3	139,8	138,8	142,0	145,1	146,8	145,5	146,3	145,5
Vt (ml) 34	98,9	102,8	104,6	105,2	106,6	107,2	107,7	112,4	113,4
Vt (ml) 37	131,0	135,1	137,1	136,5	135,7	137,9	138,8	139,0	139,1
Vt (ml) 59	109,6	131,5	137,9	141,4	142,4	143,7	144,4	145,6	149,5

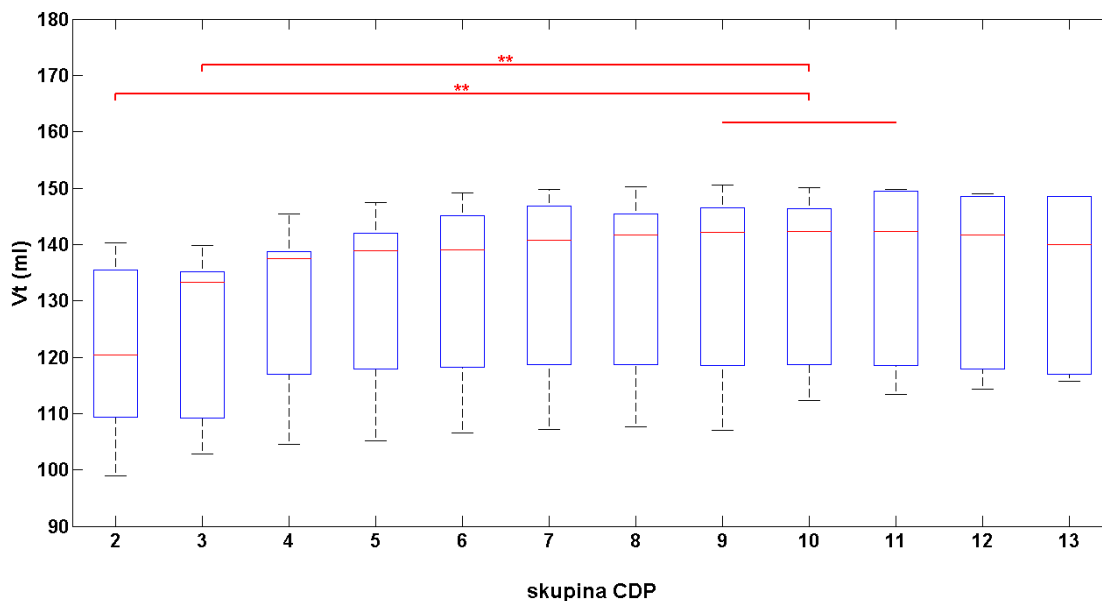


Obr. 10: Krabicový graf odpovídající Tab. 6 pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 7, 2 a 8, 2 a 10, 2 a 11, 3 a 7, 3 a 8, 3 a 10, 3 a 11 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem **.

V Tab. 7 byly testovány skupiny CDP 2–13 s celkovým rozsahem hodnot CDP 9,5–32,5 cmH₂O. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 9, 2 a 10, 2 a 11, 3 a 9, 3 a 10, 3 a 11 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$.

Tab. 7: Tabulka II pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

číslo skupiny CDP	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,4	11,5–12,8	12,9–14,4	14,5–16,2	16,3–18,0	18,1–20,3	20,5–22,0	22,1–23,9	24,0–26,0	26,1–27,9	28,0–30,3	30,4–32,5
Vt (ml) 26	109,4	109,2	117,0	117,9	118,2	118,7	118,7	118,4	118,7	118,5	117,9	116,9
Vt (ml) 31	135,4	135,0	145,3	147,5	149,2	149,8	150,2	150,5	150,0	149,8	149,0	148,5
Vt (ml) 33	140,3	139,8	138,8	142,0	145,1	146,8	145,5	146,5	146,3	145,5	144,3	143,4
Vt (ml) 34	98,9	102,8	104,6	105,2	106,6	107,2	107,7	107,1	112,4	113,4	114,3	115,7
Vt (ml) 37	131,0	135,1	137,1	136,5	135,7	137,9	138,8	139,3	139,0	139,1	138,9	136,4
Vt (ml) 59	109,6	131,5	137,9	141,4	142,4	143,7	144,4	144,9	145,6	149,5	148,6	148,6



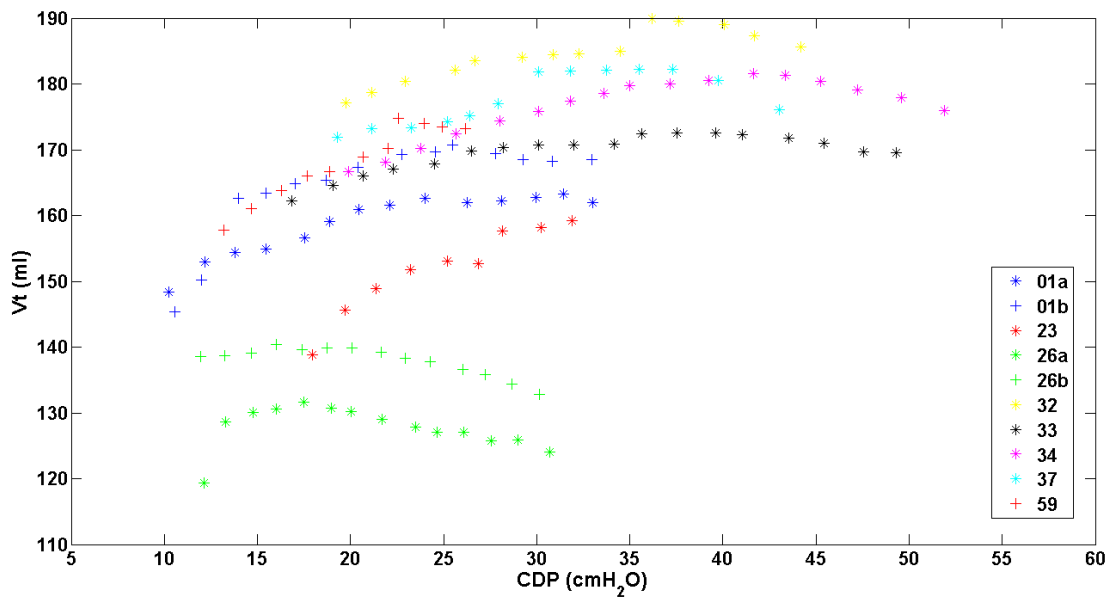
Obr. 11:Krabicový graf odpovídající Tab. 7: Tabulka pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 9, 2 a 10, 2 a 11, 3 a 9, 3 a 10, 3 a 11 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem **.

3.2 Dechové objemy při zvyšování CDP po laváži

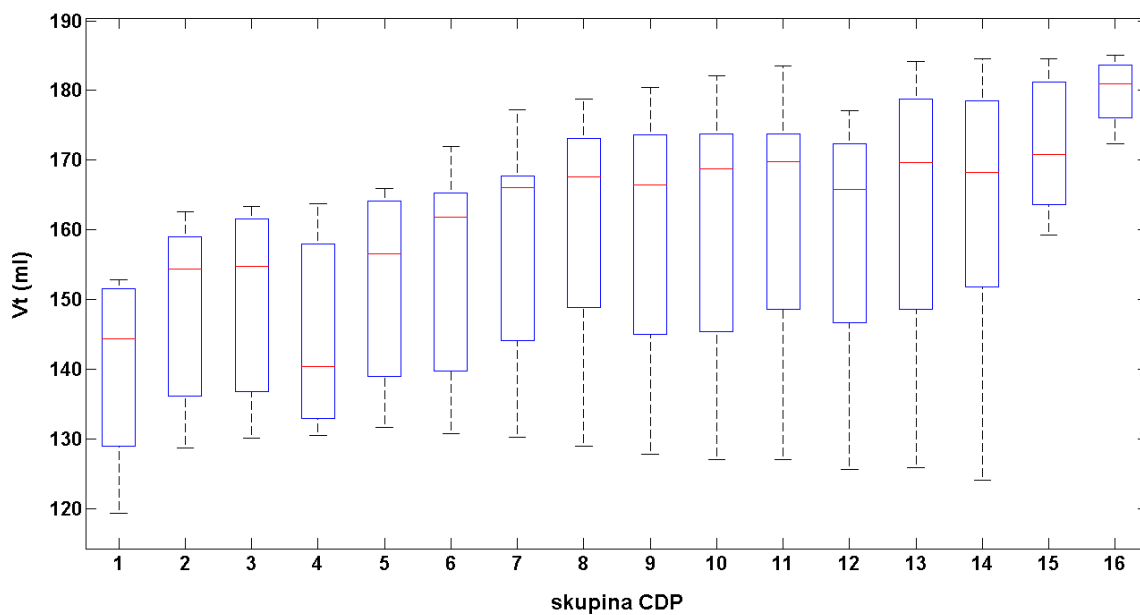
Dechové objemy jsou uvedeny v Tab. 8. Řádky v tabulce odpovídají měření na jednotlivých prasatech. Dvojmístná čísla v levém sloupci tabulky označují číslo prasete. Grafické znázornění závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku je uvedeno na Obr. 12. Znázornění závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku pomocí krabicového grafu je uvedeno na Obr. 13. Pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži byly vytvořeny tři tabulky, a to Tab. 9, Tab. 10 a Tab. 11.

Tab. 8: Dechové objemy měřené na prasatech 01a, 01b, 23, 26a, 26b, 32, 33, 37, 59 pro jednotlivé skupiny CDP v experimentální fázi při zvyšování CDP po laváži.

skupina CDP (cmH ₂ O)	11,9–13,0	13,1–14,0	14,1–15,5	15,6–16,5	16,6–18,0	18,6–19,5	19,6–21,0	21,1–22,8	22,9–24,0	24,1–25,7	25,8–27,0	27,1–28,3	28,4–30,1	30,13–32,0	32,1–34,3	34,4–35,7
Vt (ml) 01a	152,9	154,4	154,8		156,6	159,0	160,9	161,5	162,7		161,9	162,2	162,7	163,2	162,0	
Vt (ml) 01b	150,2	162,7	163,4		164,8	165,3	167,4	169,2		169,6		169,5	168,5	168,2	168,5	
Vt (ml) 23					138,8		145,6	148,9	151,7	153,1	152,6	157,7		158,2	159,2	
Vt (ml) 26a	119,4	128,7	130,1	130,5	131,7	130,8	130,2	129,0	127,8	127,0	127,1	125,7	125,9	124,1		
Vt (ml) 26b	138,5	138,8	139,0	140,4	139,6	139,8	139,8	139,2	138,3	137,8	136,6	135,8	134,4	132,8		
Vt (ml) 32							177,2	178,7	180,4	182,1	183,6		184,1	184,5	184,6	185,0
Vt (ml) 33					162,2	164,6	166,0	167,1		167,9	169,8	170,3	170,7	170,8	170,9	172,4
Vt (ml) 37						171,9		173,2	173,3	174,2	175,2	177,0	181,8	181,9	182,1	182,2
Vt (ml) 59		157,7	161,0	163,8	166,0		169,0	174,7	174,0	173,4	173,2					



Obr. 12: Graf závislosti dechového objemu na CDP pro fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži. V legendě v obrázku je uvedeno číslo prasete.



Obr. 13: Krabicový graf závislosti dechového objemu na skupině CDP pro fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži.

V Tab. 9 bylo testováno sedm skupin CDP v rozmezí 2. – 11. skupiny s rozsahem hodnot CDP 13,1–27,0 cmH₂O. V Tab. 10 byly testovány čtyři skupiny CDP v rozmezí 7. – 11. skupiny s rozsahem hodnot CDP 19,6–27,0 cmH₂O. V Tab. 11 byly testovány čtyři skupiny CDP v rozmezí 7. – 15. skupiny s celkovým rozsahem hodnot CDP 19,6–34,3 cmH₂O.

Tab. 9: Tabulka I pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži.

číslo skupiny CDP	2	3	5	7	8	9	11
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	13,1–14,0	14,1–15,5	16,6–18,0	19,6–21,0	21,1–22,8	22,9–24,0	25,8–27,0
Vt (ml) 01	154,4	154,8	156,6	160,9	161,5	162,7	161,9
Vt (ml) 26a	128,7	130,1	131,7	130,2	129,0	127,8	127,1
Vt (ml) 26b	138,8	139,0	139,6	139,8	139,2	138,3	136,6
Vt (ml) 59	157,7	161,0	166,0	169,0	174,7	174,0	173,2

Tab. 10: Tabulka II pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži.

číslo skupiny CDP	7	8	9	11
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	19,6–21,0	21,1–22,8	22,9–24,0	25,8–27,0
Vt (ml) 01	160,9	161,5	162,7	161,9
Vt (ml) 23	145,6	148,9	151,7	152,6
Vt (ml) 26a	130,2	129,0	127,8	127,1
Vt (ml) 26b	139,8	139,2	138,3	136,6
Vt (ml) 32	177,2	178,7	180,4	183,6
Vt (ml) 59	169,0	174,7	174,0	173,2

Tab. 11: Tabulka III pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži.

číslo skupiny CDP	7	8	14	15
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	19,6–21,0	21,1–22,8	30,13–32,0	32,1–34,3
Vt (ml) 01a	160,9	161,5	163,2	162,0
Vt (ml) 01b	167,4	169,2	168,2	168,5
Vt (ml) 23	145,6	148,9	158,2	159,2
Vt (ml) 32	177,2	178,7	184,5	184,6
Vt (ml) 33	166,0	167,1	170,8	170,9
Vt (ml) 34	166,7	168,1	177,4	178,6

Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nebyla zamítnuta nulová hypotéza, že mediány ve všech skupinách se rovnají. Protože ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži bylo větší množství dat naměřeno pouze ve třech skupinách CDP, byl proveden ještě t-test, pracující s rozdíly mezi dvěma skupinami CDP, aby byl pro statistickou analýzu využit co největší počet ventilovaných subjektů. Prostřednictvím Shapiro-Wilkova testu byla ve skupinách CDP na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ potvrzena nulová hypotéza, že rozložení ve skupině je normální. Nulová hypotéza t-testu H_0 zněla: Změna hodnoty CDP nemá vliv na velikost dechového objemu. Alternativní hypotéza H_1 zněla: Změna hodnoty CDP má vliv na velikost dechového objemu. V tabulkách Tab. 12 a Tab. 13 jsou uvedeny skupiny, pro které byl t-test proveden. V Tab. 12 byly testovány skupiny CDP 8 a 14. V Tab. 13 byly testovány skupiny CDP 5 a 14.

Tab. 12: Tabulka I pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži pro t-test.

číslo skupiny CDP	8	14
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	21,1–22,8	30,13–32,0
Vt (ml) 01a	161,5	163,2
Vt (ml) 01b	169,2	168,2
Vt (ml) 23	148,9	158,2
Vt (ml) 26a	129,0	124,1
Vt (ml) 26b	139,2	132,8
Vt (ml) 32	178,7	184,5
Vt (ml) 33	167,1	170,8
Vt (ml) 34	168,1	177,4
Vt (ml) 37	173,2	181,9

Tab. 13: Tabulka II pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži pro t-test.

číslo skupiny CDP	5	14
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	16,6–18,0	30,13–32,0
Vt (ml) 01a	156,6	163,2
Vt (ml) 01b	164,8	168,2
Vt (ml) 23	138,8	158,2
Vt (ml) 26a	131,7	124,1
Vt (ml) 26b	139,6	132,8
Vt (ml) 33	162,2	170,8

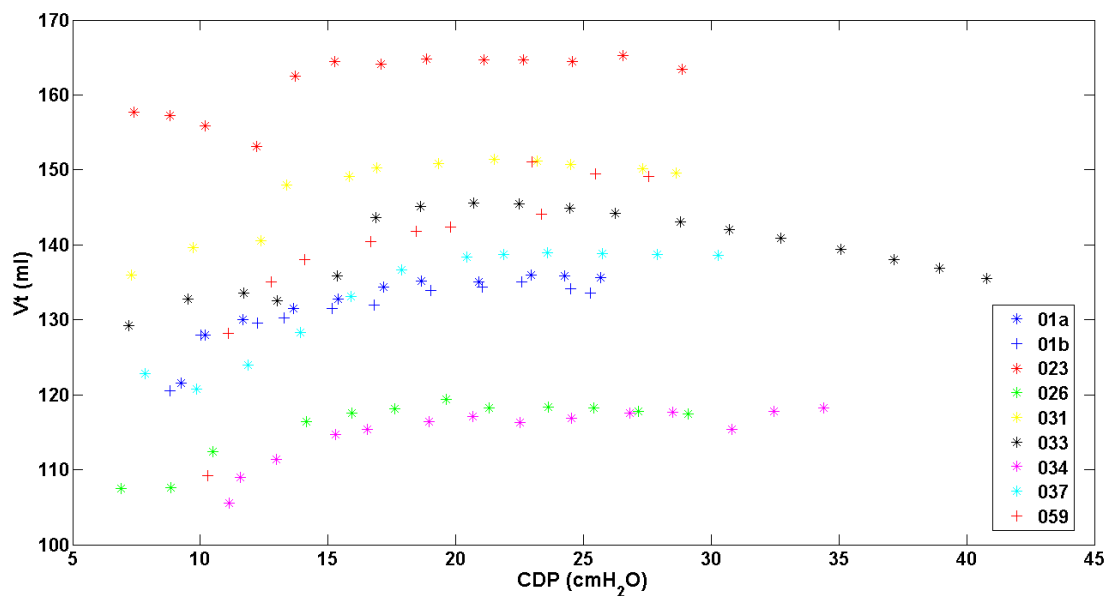
Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ byla při t-testu potvrzena nulová hypotéza, že skupina CDP nemá vliv na měřené hodnoty dechového objemu.

3.3 Dechové objemy při snižování CDP před laváží

Dechové objemy jsou uvedeny v Tab. 14. Řádky v tabulce odpovídají měření na jednotlivých prasatech. Dvojmístná čísla v levém sloupci tabulky označují číslo prasete. Grafické znázornění závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku je uvedeno na Obr. 14. Znázornění závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku pomocí krabicového grafu je uvedeno na Obr. 15. Pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi snižování CDP před laváží byly vytvořeny tři tabulky, a to Tab.15: Tabulka, Tab. 16, Tab. 17.

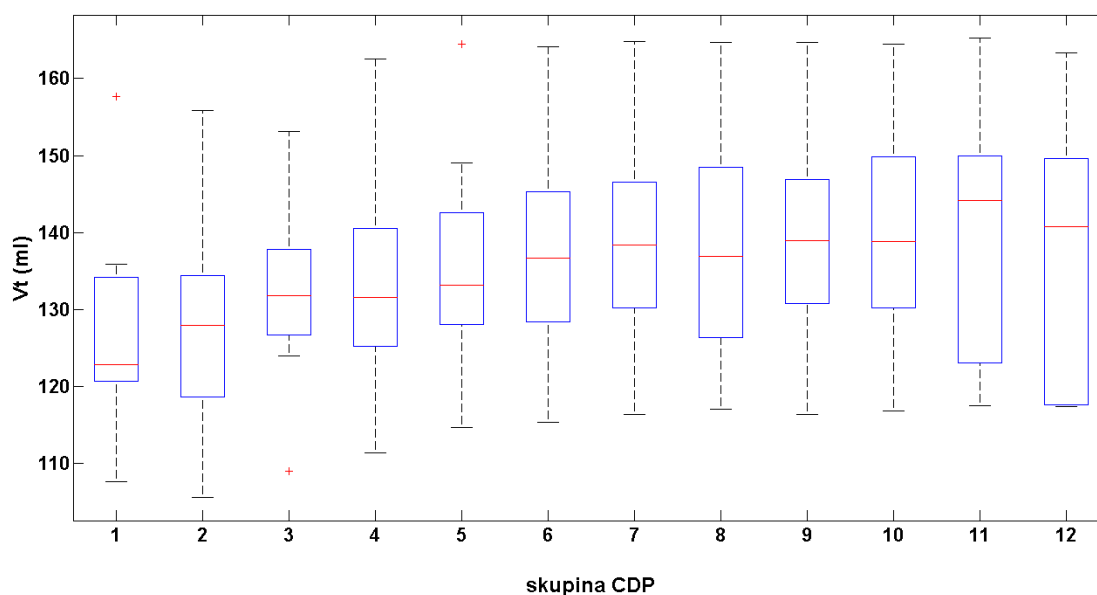
Tab. 14: Dechové objemy měřené na prasatech 01a, 01b, 23, 26, 31, 33, 34, 37, 59 pro jednotlivé skupiny CDP v experimentální fázi snižování CDP před laváží

skupina CDP (cmH ₂ O)	7,0 –9,4	9,5–11,5	11,6–12,9	13,0–14,9	15,0–16,4	16,5–18,5	18,6–20,5	20,7–21,9	22,0–23,9	24,0–25,9	26,0–27,9	28,0–30,3	30,4–31,0
Vt (ml) 01a	121,5	128,0	130,0	131,5	132,8	134,3	135,2	135,1	135,9	135,8			
Vt (ml) 01b	120,5	128,0	129,5	130,3	131,5	131,9	133,9	134,4	135,0	134,1			
Vt (ml) 23	157,7	155,9	153,1	162,5	164,5	164,1	164,8	164,7	164,7	164,4	165,3	163,4	
Vt (ml) 26	107,7	112,4		116,4	117,6	118,1	119,4	118,3	118,4	118,3	117,8	117,4	
Vt (ml) 31	135,9	139,7	140,6	148,0	149,1	150,3	150,8	151,4	151,2	150,8	150,1	149,6	
Vt (ml) 33	129,2	132,7	133,6	132,5	135,8	143,7	145,2	145,6	145,5	144,9	144,2	143,0	142,1
Vt (ml) 34		105,6	109,0	111,4	114,6	115,4	116,4	117,1	116,4	116,8	117,5	117,6	115,4
Vt (ml) 37	122,8	120,7	123,9	128,3	133,2	136,7	138,4	138,7	139,0	138,9	138,7	138,6	
Vt (ml) 59		128,2	135,1	138,0	140,4	141,8	142,3		144,1	149,5	149,2		



Obr. 14: Graf závislosti dechového objemu na CDP pro fázi experimentu snižování CDP před laváží. V legendě v obrázku je uvedeno číslo prasete.

V 13. skupině CDP byly naměřeny pouze dvě hodnoty dechového objemu, proto není v krabicovém grafu zobrazena.

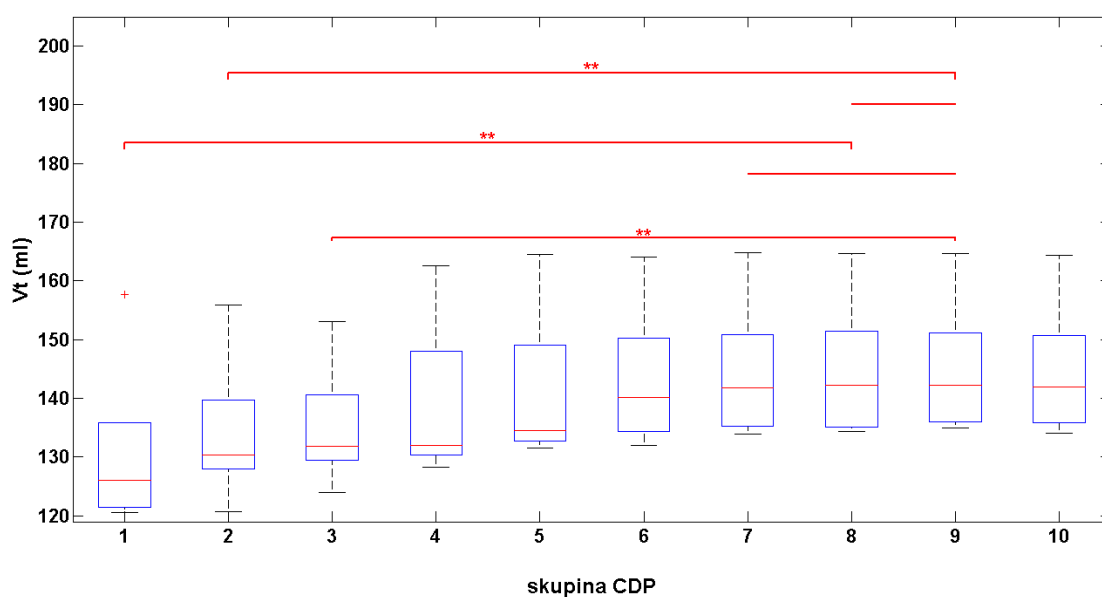


Obr. 15: Krabicový graf závislosti dechového objemu na skupině CDP pro fázi experimentu snižování CDP před laváží.

V Tab.15: Tabulka byly testovány skupiny 1–10 s celkovým rozsahem hodnot 7,0–25,7 cmH₂O. Statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ byl nalezen mezi skupinami 1 a 7, 1 a 8, 1 a 9, 2 a 8, 2 a 9, 3 a 9.

Tab.15: Tabulka I pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při snižování CDP před laváží.

číslo skupiny CDP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	7,0–9,4	9,5–11,5	11,6–12,9	13,0–14,9	15,0–16,4	16,5–18,4	18,6–20,4	20,7–21,9	22,5–23,6	24,3–25,7
Vt (ml) 01a	121,5	128,0	130,0	131,5	132,8	134,3	135,2	135,1	135,9	135,8
Vt (ml) 01b	120,5	128,0	129,5	130,3	131,5	131,9	133,9	134,4	135,0	134,1
Vt (ml) 23	157,7	155,9	153,1	162,5	164,5	164,1	164,8	164,7	164,7	164,4
Vt (ml) 31	135,9	139,7	140,6	148,0	149,1	150,3	150,8	151,4	151,2	150,8
Vt (ml) 33	129,2	132,7	133,6	132,5	135,8	143,7	145,2	145,6	145,5	144,9
Vt (ml) 37	122,8	120,7	123,9	128,3	133,2	136,7	138,4	138,7	139,0	138,9

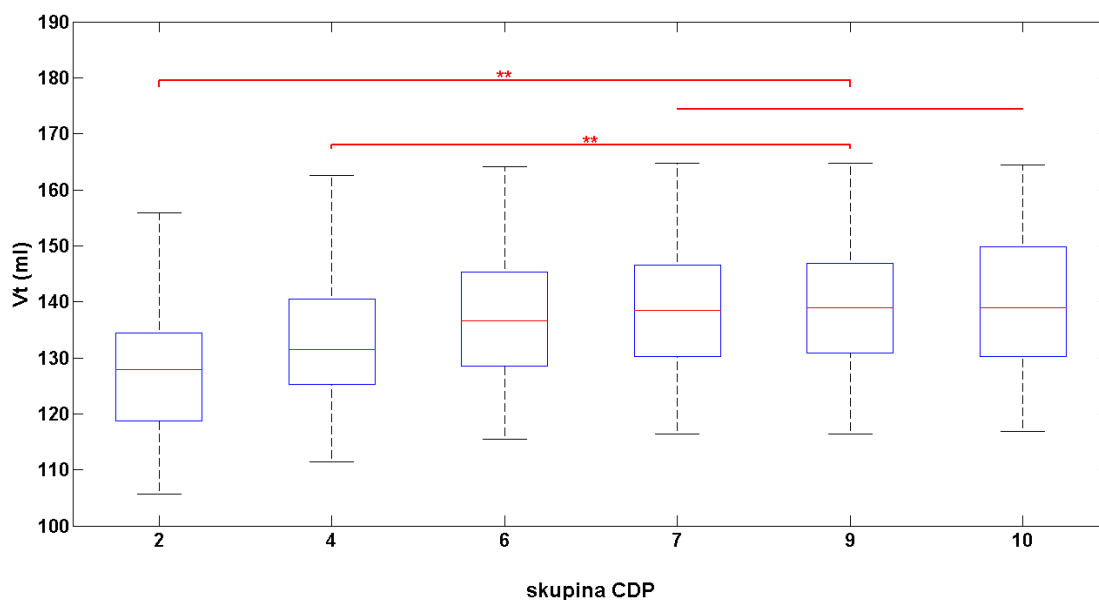


Obr. 16: Krabicový graf odpovídající Tab.15 pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu snižování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ byl nalezen mezi skupinami 1 a 7, 1 a 8, 1 a 9, 2 a 8, 2 a 9, 3 a 9. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem **.

V Tab. 16: Tabulka bylo testováno devět ventilovaných subjektů a šest skupin CDP v rozmezí 2. – 10. skupiny CDP. Celkový rozsah hodnot CDP byl 9,5–25,9 cmH₂O. Grafické znázornění testování z Tab. 16: Tabulka je znázorněno na Obr. 17. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 7, 2 a 9, 2 a 10, 4 a 9 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$.

Tab. 16: Tabulka II pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při snižování CDP před laváží.

číslo skupiny CDP	2	4	6	7	9	10
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,5	13,0–14,9	16,5–18,5	18,6–20,5	22,0–23,9	24,0–25,9
Vt (ml) 01a	128,0	131,5	134,3	135,2	135,9	135,8
Vt (ml) 01b	128,0	130,3	131,9	133,9	135,0	134,1
Vt (ml) 23	155,9	162,5	164,1	164,8	164,7	164,4
Vt (ml) 26	112,4	116,4	118,1	119,4	118,4	118,3
Vt (ml) 31	139,7	148,0	150,3	150,8	151,2	150,8
Vt (ml) 33	132,7	132,5	143,7	145,2	145,5	144,9
Vt (ml) 34	105,6	111,4	115,4	116,4	116,4	116,8
Vt (ml) 37	120,7	128,3	136,7	138,4	139,0	138,9
Vt (ml) 59	128,2	138,0	141,8	142,3	144,1	149,5

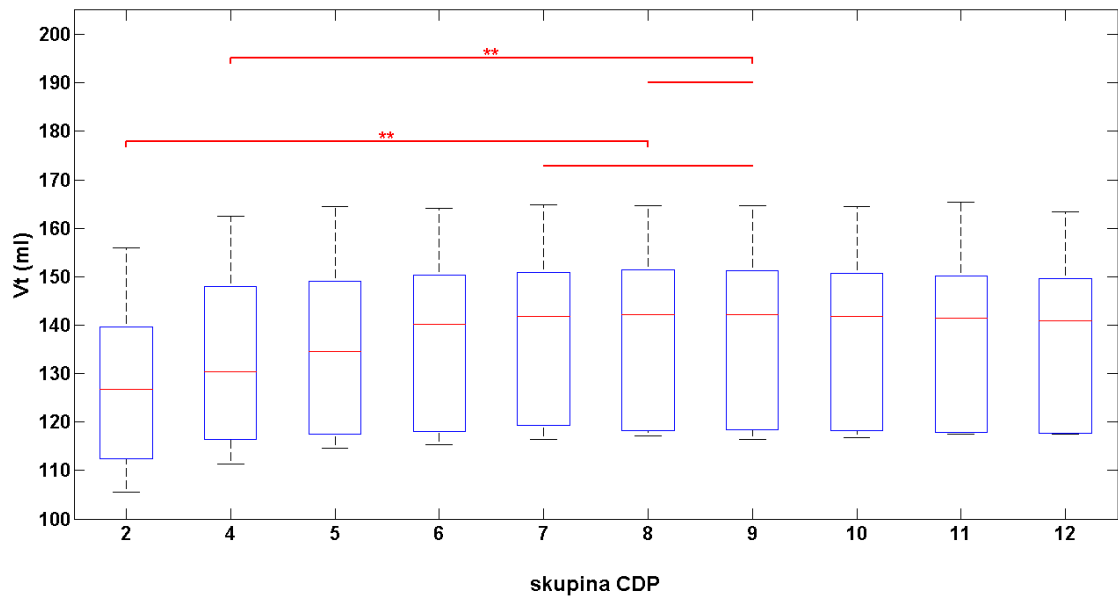


Obr. 17: Krabicový graf odpovídající Tab. 16 pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu snižování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 7, 2 a 9, 2 a 10, 4 a 9 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem **.

V Tab. 17: Tabulka bylo testováno šest ventilovaných subjektů a deset skupin CDP v rozsahu 2. – 12. skupiny CDP. Celkový rozsah testovaných skupin je 9,5–30,3 cmH₂O. Grafické znázornění tohoto testování je na Obr. 18. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 7, 2 a 8, 2 a 9, 4 a 8, 4 a 9 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$.

Tab. 17: Tabulka III pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při snižování CDP před laváží

číslo skupiny CDP	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,5	13,0–14,9	15,0–16,4	16,5–18,5	18,6–20,5	20,7–21,9	22,0–23,9	24,0–25,9	26,0–27,9	28,0–30,3
Vt (ml) 23	155,9	162,5	164,5	164,1	164,8	164,7	164,7	164,4	165,3	163,4
Vt (ml) 26	112,4	116,4	117,6	118,1	119,4	118,3	118,4	118,3	117,8	117,4
Vt (ml) 31	139,7	148,0	149,1	150,3	150,8	151,4	151,2	150,8	150,1	149,6
Vt (ml) 33	132,7	132,5	135,8	143,7	145,2	145,6	145,5	144,9	144,2	143,0
Vt (ml) 34	105,6	111,4	114,6	115,4	116,4	117,1	116,4	116,8	117,5	117,6
Vt (ml) 37	120,7	128,3	133,2	136,7	138,4	138,7	139,0	138,9	138,7	138,6



Obr. 18: Krabicový graf odpovídající Tab. 17 pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu C. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 7, 2 a 8, 2 a 9, 4 a 8, 4 a 9 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$, v grafu jsou tyto rozdíly označeny červenými čarami a symbolem **.

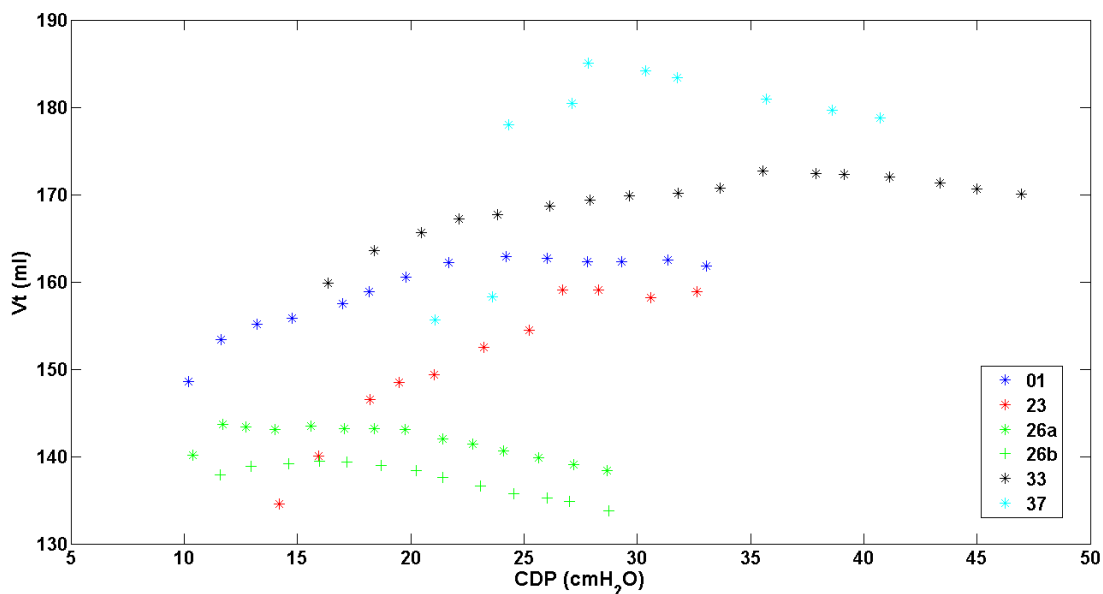
3.4 Dechové objemy při snižování CDP po laváži

Dechové objemy naměřené ve fázi při snižování CDP po laváži jsou uvedeny v Tab. 18. Řádky v tabulce odpovídají měření na jednotlivých prasatech číslo 01, 23, 26a, 26b, 33 a 37. Dvojmístná čísla v levém sloupci tabulky označují číslo prasete. Grafické znázornění závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku je uvedeno na Obr. 19. Znázornění závislosti dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku pomocí krabicového grafu je uvedeno na Obr. 20. Pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi snižování CDP před laváží byly vytvořeny dvě tabulky, a to Tab. 19 a V Tab. 20: Tabulka byly testované čtyři ventilované subjekty a devět skupin CDP v rozmezí 3. – 12. skupiny s celkovým rozsahem hodnot CDP 14,0–30,9 cmH₂O.

Tab. 20.

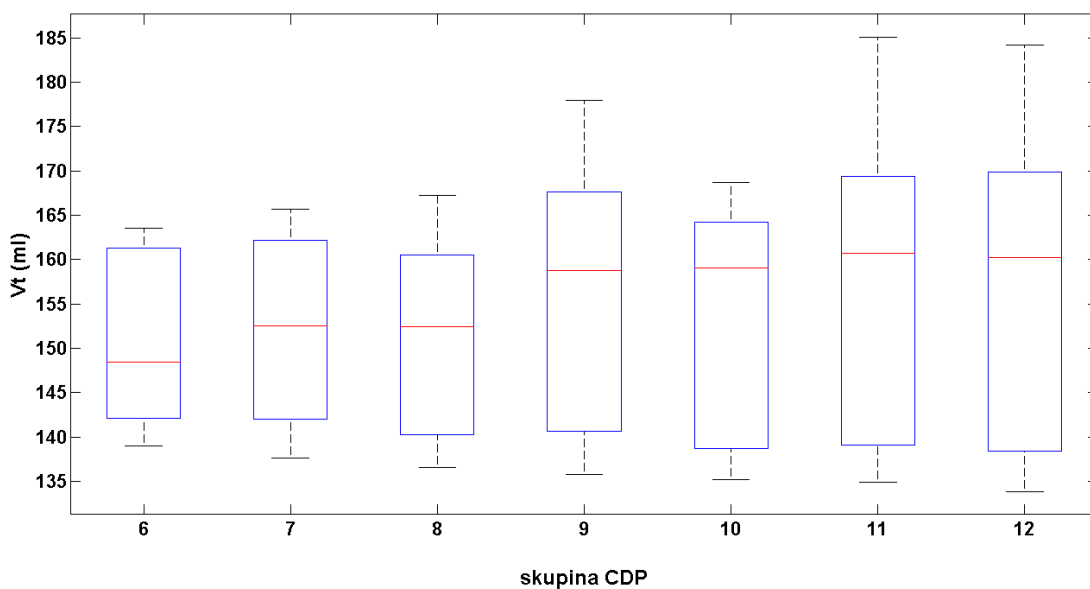
Tab. 18: Dechové objemy měřené na prasatech 01, 23, 26a, 26b, 33, 37 pro jednotlivé skupiny CDP v experimentální fázi při snižování CDP po laváži.

skupina CDP (cmH ₂ O)	11,5–11,9	12,0–13,9	14,0–15,4	15,5–17,0	17,1–18,3	18,4–19,9	20,0–21,9	22,0–23,7	23,8–25,5	25,6–26,9	27,0–28,5	28,6–30,9	31,0–32,9	33,0–35,7
Vt (ml) 01	153,4	155,1	155,8	157,5	158,8	160,5	162,2		162,9	162,7	162,3	162,3	162,5	161,8
Vt (ml) 23			134,6	140,0	146,5	148,5	149,4	152,5	154,5	159,0	159,1	158,2	158,9	
Vt (ml) 26a	143,6	143,3	143,1	143,5	143,2	143,1	142,0	141,5	140,6	139,9	139,1	138,4		
Vt (ml) 26b	137,9	138,9	139,1	139,5	139,3	139,0	137,6	136,6	135,7	135,2	134,9	133,8		
Vt (ml) 33				159,8		163,5	165,6	167,2	167,7	168,7	169,4	169,9	170,1	170,8
Vt (ml) 37							155,7	158,3	178,0		185,1	184,2	183,4	180,9



Obr. 19: Graf závislosti dechového objemu na CDP pro fázi experimentu při snižování CDP po laváži. V legendě v obrázku je uvedeno číslo prasete.

Ve fázi při snižování CDP po laváži je krabicový graf zobrazen pouze pro skupiny CDP 6–12, protože v ostatních skupinách bylo naměřeno příliš malé množství hodnot.



Obr. 20: Krabicový graf závislosti dechového objemu na skupině CDP pro fázi experimentu při snižování CDP po laváži.

V Tab. 19: Tabulka je testováno šest ventilovaných subjektů a čtyři skupiny CDP v rozmezí 7. – 12. skupiny s celkovým rozsahem hodnot CDP 20,0–30,9 cmH₂O.

Tab. 19: Tabulka I pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při snižování CDP po laváži.

číslo skupiny CDP	7	9	11	12
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	20,0–21,9	23,8–25,5	27,0–28,5	28,6–30,9
Vt (ml) 01	162,2	162,9	162,3	162,3
Vt (ml) 23	149,4	154,5	159,1	158,2
Vt (ml) 26a	142,0	140,6	139,1	138,4
Vt (ml) 26b	137,6	135,7	134,9	133,8
Vt (ml) 33	165,6	167,7	169,4	169,9
Vt (ml) 37	155,7	178,0	185,1	184,2

V Tab. 20: Tabulka byly testované čtyři ventilované subjekty a devět skupin CDP v rozmezí 3. – 12. skupiny s celkovým rozsahem hodnot CDP 14,0–30,9 cmH₂O.

Tab. 20: Tabulka II pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při snižování CDP po laváži.

číslo skupiny CDP	3	4	5	6	7	9	10	11	12
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	14,0–15,4	15,5–17,0	17,1–18,39	18,40–19,9	20,0–21,9	23,8–25,5	25,6–26,9	27,0–28,5	28,6–30,9
Vt (ml) 01	155,8	157,5	158,8	160,5	162,2	162,9	162,7	162,3	162,3
Vt (ml) 23	134,6	140,0	146,5	148,5	149,4	154,5	159,0	159,1	158,2
Vt (ml) 26a	143,1	143,5	143,2	143,1	142,0	140,6	139,9	139,1	138,4
Vt (ml) 26b	139,1	139,5	139,3	139,0	137,6	135,7	135,2	134,9	133,8

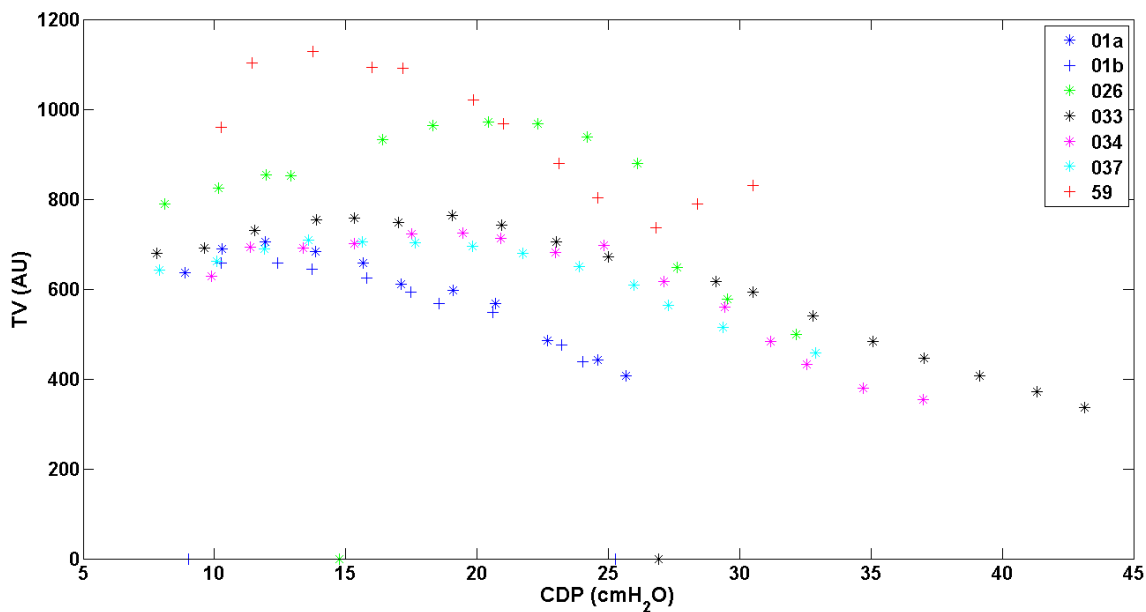
U obou testů v Tab. 19 i Tab. 20 byla potvrzena nulová hypotéza, že skupina CDP nemá vliv na velikost dechového objemu.

3.5 Respirační variace při zvyšování CDP před laváží

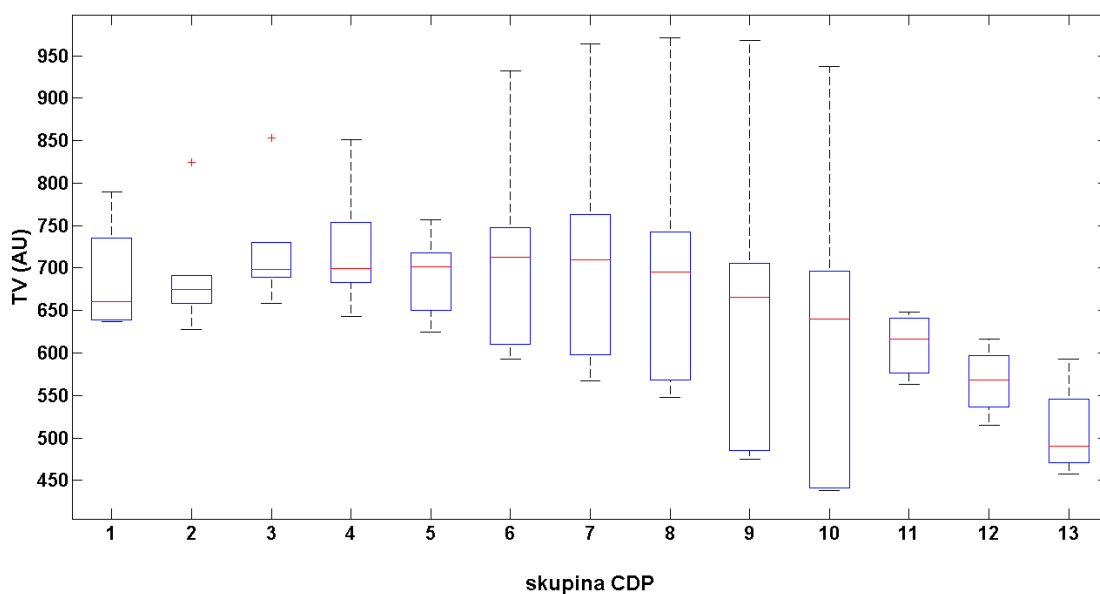
Naměřené hodnoty respirační variace ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží jsou uvedeny v Tab. 21. Řádky v tabulce odpovídají měření na jednotlivých prasatech číslo 01a, 01b, 26, 33, 34, 37, 59. Dvojmístná čísla v levém sloupci tabulky označují číslo prasete. Grafické znázornění závislosti respirační variace na kontinuálním distenzním tlaku je uvedeno na Obr. 21. Vzhledem k tomu, že respirační variace u prasete 59 dosahovala hodnot okolo 30 000 AU, byla pro účel zobrazení vydělena hodnotou 30. Znázornění závislosti respirační variace na kontinuálním distenzním tlaku při zvyšování CDP před laváží pomocí krabicového grafu je uvedeno na Obr. 22.

Tab. 21: Hodnoty respirační variace měřené na prasatech 01a, 01b, 26, 33, 34, 37, 59 pro jednotlivé skupiny CDP v experimentální fázi při zvyšování CDP před laváží .

skupina CDP (cmH ₂ O)	7,0–9,4	9,5–11,4	11,5–12,8	12,9–14,4	14,5–16,2	16,3–18,0	18,1–20,3	20,5–22,0	22,1–23,9	24,0–26,0	26,1–27,9	28,0–30,3	30,4–32,5
TV (AU) 01a	636,5	689,2	704	683,4	658,3	609,8	597,8	567,8	484,9	441,2			
TV (AU) 01b		658,2	658,3	643,4	624,4	593,3	567,2	547,7	474,7	437,9			
TV (AU) 26	790,1	824,4	853,2	851,2		932,4	964,1	971,3	968,1	937,7	648,5	577,7	498,6
TV (AU) 33	680	690,9	730,6	753,7	757,1	747,2	762,9	742,5	705,3	672,1		616,9	592,5
TV (AU) 34		628,1	693	690,7	701,4	722,2	724,5	712,3	681,5	696,5	616,8	559,4	482,9
TV (AU) 37	641,4	660,8	689	709,2	704,9	703,6	694,6	679,2	650,7	608	562,9	514,5	457,9
TV (AU) 59		28813,9	33100,4	33854	32765,4	32745,7	30598	29044,1	26389,3	24064,4	22081,6	23685,7	24899,4



Obr. 21: Graf závislosti respirační variace na CDP pro fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. U prasete 59 jsou hodnoty TV vyděleny hodnotou 30 za účelem změny měřítka. V legendě v obrázku je uvedeno číslo prasete.



Obr. 22: Krabicový graf závislosti respirační variace na skupině CDP pro fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

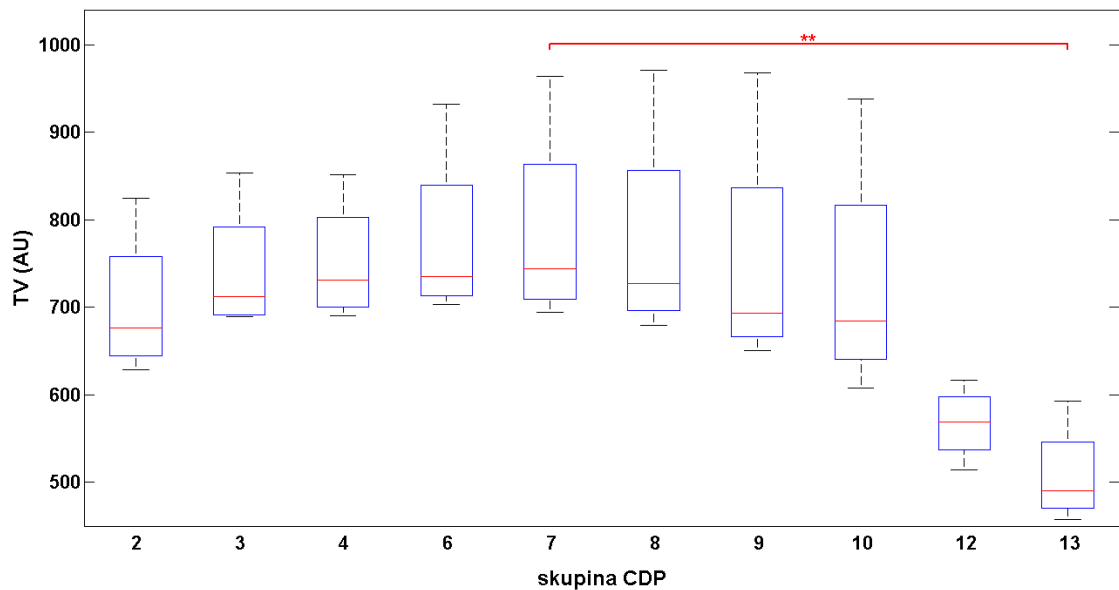
Pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží byly vytvořeny dvě tabulky, a to Tab. 22: Tabulka a Tab. 31: Tabulka.

V Tab. 22: Tabulka bylo testováno pět ventilovaných subjektů a deset skupin CDP v rozmezí 2. – 13. s celkovým rozsahem hodnot CDP 9,5–32,5 cmH₂O. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 7 a 13 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$.

Výsledky testování dat uvedených v Tab. 31: Tabulka jsou uvedeny pouze v příloze A, protože zde byly nalezeny statisticky významné rozdíly pouze na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Tab. 22: Tabulka I pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

číslo skupiny CDP	2	3	4	6	7	8	9	10	12	13
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,4	11,5–12,8	12,9–14,4	16,3–18,0	18,1–20,3	20,5–22,0	22,1–23,9	24,0–26,0	28,0–30,3	30,4–32,5
TV (AU) 26	824,4	853,2	851,2	932,4	964,1	971,3	968,1	937,7	577,7	498,6
TV (AU) 33	690,9	730,6	753,7	747,2	762,9	742,5	705,3	672,1	616,9	592,5
TV (AU) 34	628,1	693,0	690,7	722,2	724,5	712,3	681,5	696,5	559,4	482,9
TV (AU) 37	660,8	689,0	709,2	703,6	694,6	679,2	650,7	608,0	514,5	457,9
TV (AU) 59	28813,9	33100,4	33854,0	32745,7	30598,0	29044,1	26389,3	24064,4	23685,7	24899,4



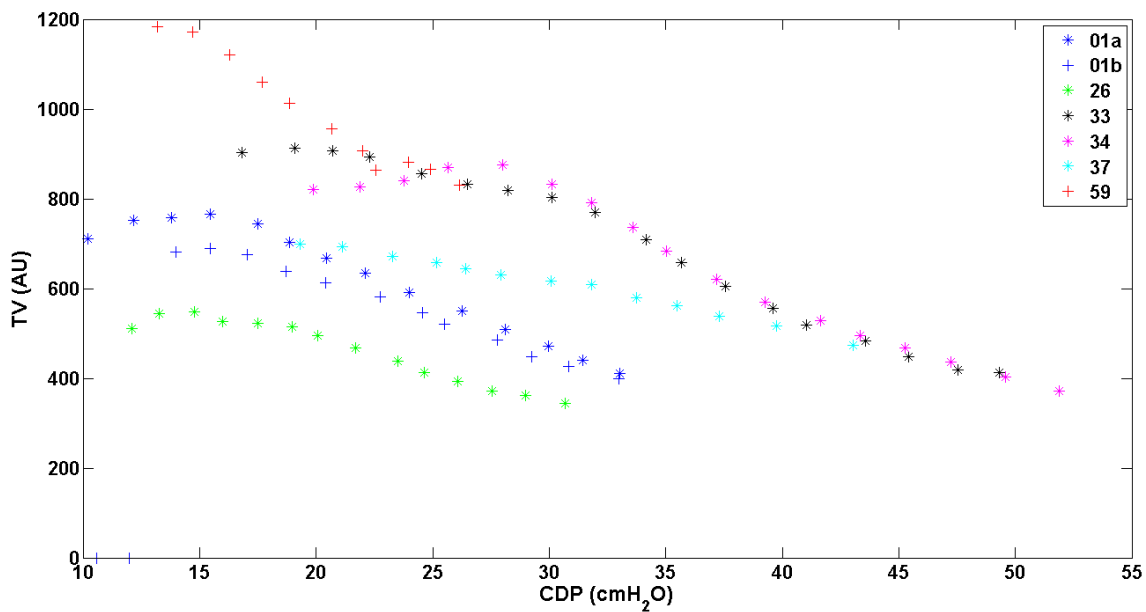
Obr. 23: Krabicový graf odpovídající Tab. 22: Tabulka pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 7 a 13 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem **.

3.6 Respirační variace při zvyšování CDP po laváži

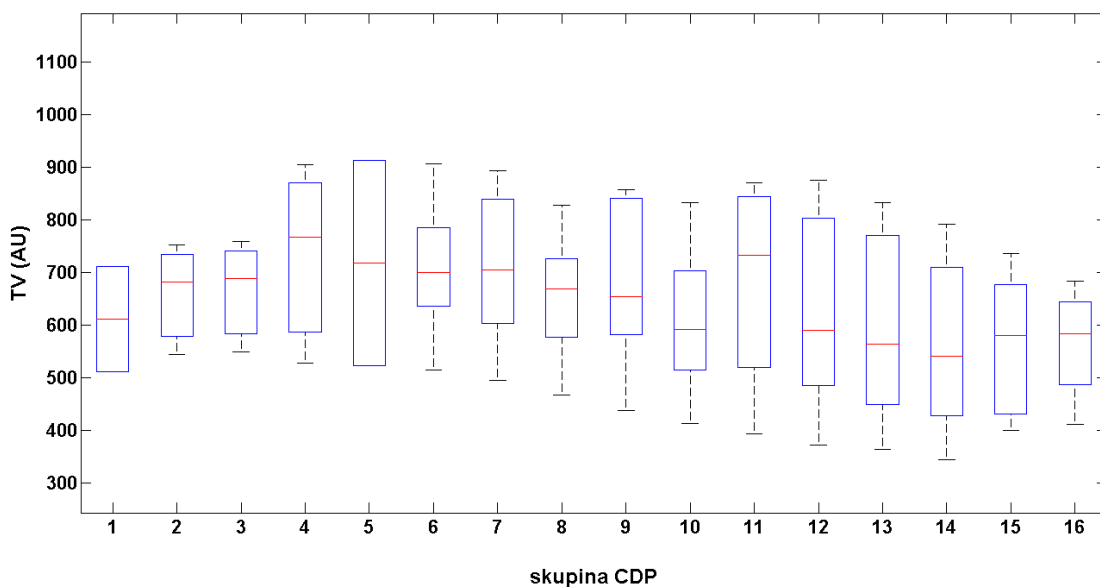
Naměřené hodnoty respirační variace ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži jsou uvedeny v Tab. 23. Řádky v tabulce odpovídají měření na jednotlivých prasatech číslo 01a, 01b, 26, 33, 34, 37, 59. Dvojmístná čísla v levém sloupci tabulky označují číslo prasete. Grafické znázornění závislosti respirační variace na kontinuálním distenzním tlaku při zvyšování CDP po laváži je uvedeno na Obr. 24. Vzhledem k tomu, že respirační variace u prasete 59 dosahovala hodnot okolo 30 000 AU, byla pro účel zobrazení vydělena hodnotou 30. Znázornění závislosti respirační variace na kontinuálním distenzním tlaku při zvyšování CDP po laváži pomocí krabicového grafu je uvedeno na Obr. 25.

Tab. 23: Hodnoty respirační variace měřené na prasatech 01a, 01b, 26, 33, 34, 37, 59 pro jednotlivé skupiny CDP v experimentální fázi při zvyšování CDP po laváži .

skupina CDP (cmH ₂ O)	11,9–13,0	13,1–14,0	14,1–15,5	15,6–16,5	16,6–18,5	18,6–19,5	19,6–21,0	21,1–22,8	22,9–24,0	24,1–25,7	25,8–27,0	27,1–28,3	28,4–30,12	30,13–32,0	32,1–34,3	34,4–35,7
TV (AU) 01a	711,3	752,2	758,4	766,5		743,9	703,6	668,0	635,0	591,1		549,9	509,3	472,5	440,7	410,2
TV (AU) 01b		680,8	688,3			676,0	637,8	613,6	581,7	546,9		485,2	448,8	427,1	399,3	
TV (AU) 26	510,3	543,9	548,2	526,7	523,2	514,8	494,5	466,9	437,5	413,0	393,6	372,0	362,7	343,8		
TV (AU) 33				903,9	911,9	906,0	893,6		856,7	832,2	819,2	802,4	770,4	709,3	657,7	604,2
TV (AU) 34							821,3	826,6	840,2		869,4	875,1	832,8	791,0	735,6	683,0
TV (AU) 37						699,0		693,0	672,2	658,7	644,9	630,5	616,4	608,0	579,8	561,5
TV (AU) 59		35493,7	35149,1	33645,7	31784,9		30389,4	28669,2	27191,5	25917,2	26439,8	25970,8	24899,1			



Obr. 24: Graf závislosti respirační variace na CDP pro fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži. U prasete 59 jsou hodnoty TV vyděleny hodnotou 30 za účelem změny měřítka. V legendě v obrázku je uvedeno číslo prasete.

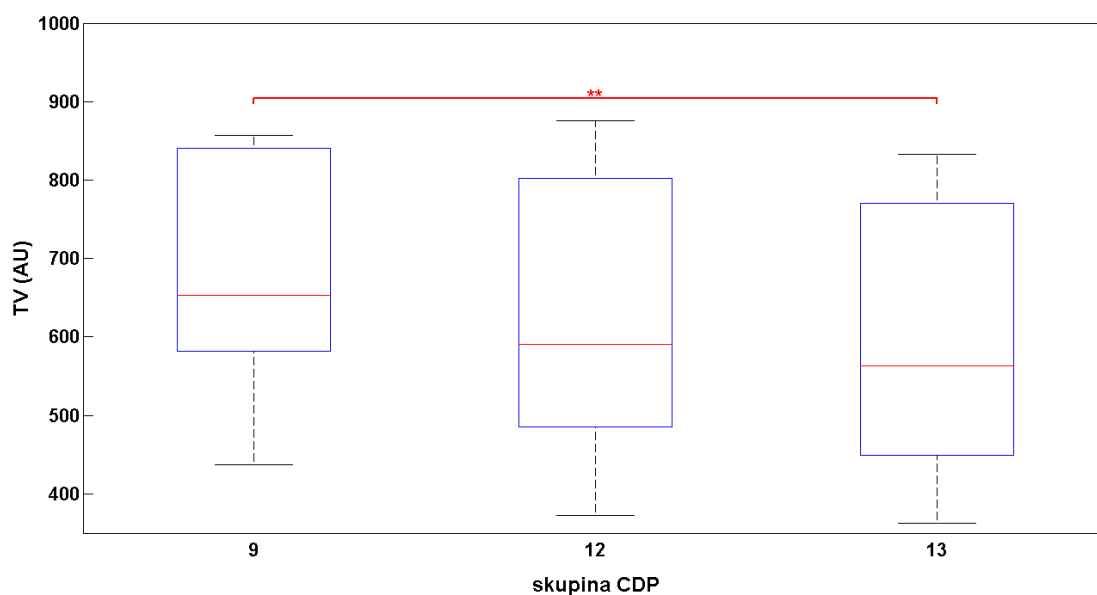


Obr. 25: Krabicový graf závislosti respirační variace na skupině CDP pro fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži.

V Tab. 24 bylo testováno sedm ventilovaných subjektů a tři skupiny CDP 9, 12 a 13 s celkovým rozsahem hodnot CDP 22,9 – 30,1 cmH₂O. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 9 a 13 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$.

Tab. 24: Tabulka I pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži.

číslo skupiny CDP	9	12	13
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	22,9–24,0	27,1–28,3	28,4–30,1
TV (AU) 01a	635,0	549,9	509,3
TV (AU) 01b	581,7	485,2	448,8
TV (AU) 26	437,5	372,0	362,7
TV (AU) 33	856,7	802,4	770,4
TV (AU) 34	840,2	875,1	832,8
TV (AU) 37	672,2	630,5	616,4
TV (AU) 59	27191,5	25970,8	24899,1



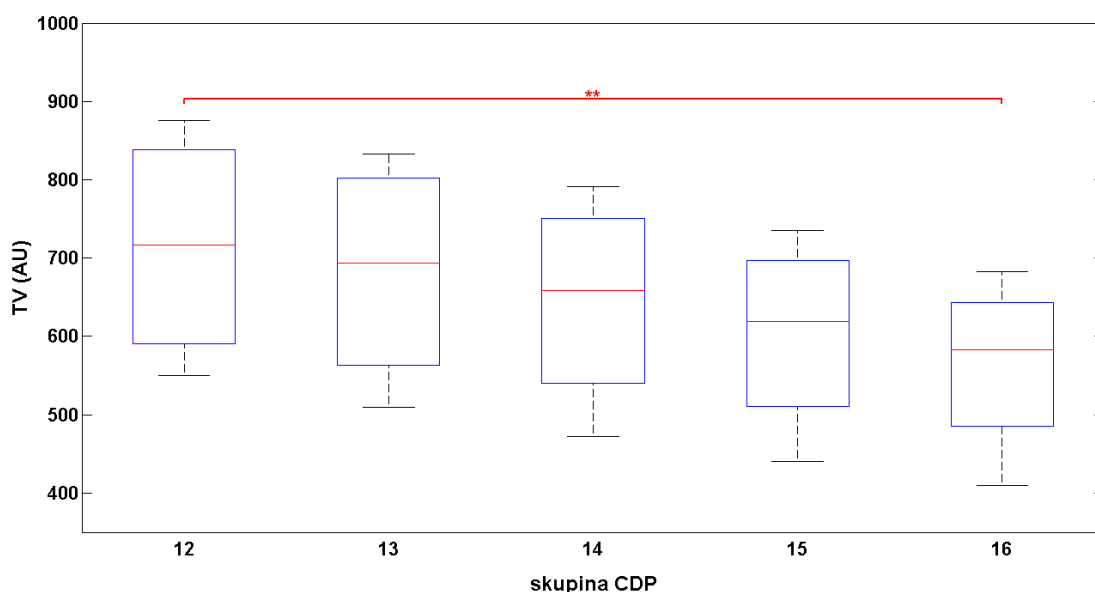
Obr. 26: Krabicový graf odpovídající Tab. 24 pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 9 a 13 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$.

V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem **.

V Tab. 25 byly testovány skupiny čtyři ventilované subjekty a pět skupin CDP od 12. do 16. skupiny s celkovým rozsahem hodnot CDP 27,1 – 35,7 cmH₂O. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 12 a 16 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$.

Tab. 25: Tabulka II pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži

číslo skupiny CDP	12	13	14	15	16
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	27,1–28,3	28,4–30,12	30,13–32,0	32,1–34,3	34,4–35,7
TV (AU) 01a	549,9	509,3	472,5	440,7	410,2
TV (AU) 33	802,4	770,4	709,3	657,7	604,2
TV (AU) 34	875,1	832,8	791,0	735,6	683,0
TV (AU) 37	630,5	616,4	608,0	579,8	561,5



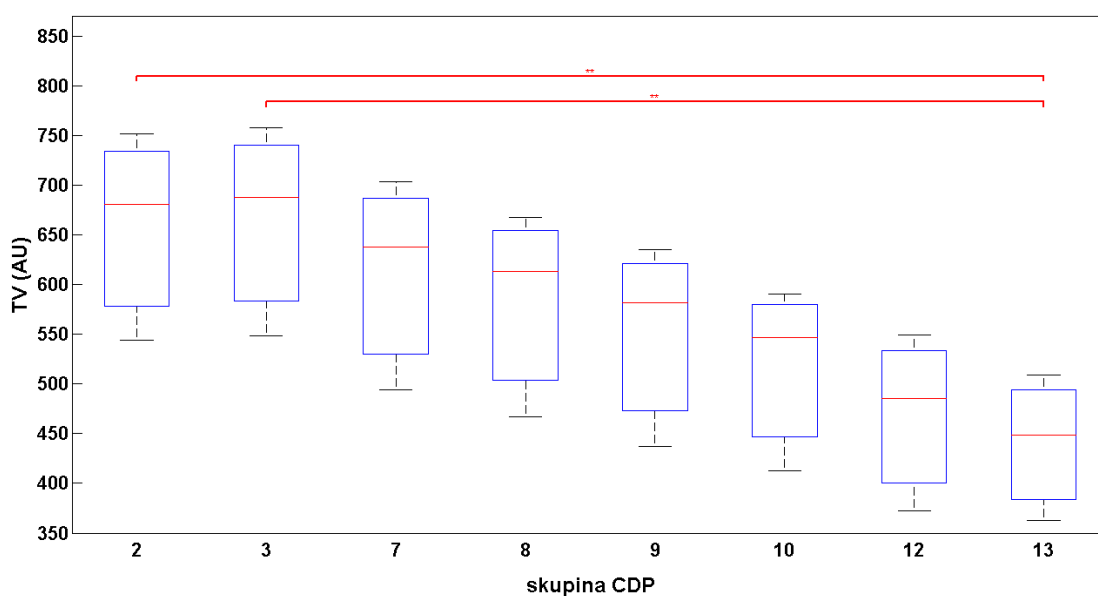
Obr. 27: Krabicový graf odpovídající Tab. 25: Tabulka pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži.

Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 12 a 16 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem '**'.

V Tab. 26: Tabulka jsou testována čtyři prasata a osm skupin CDP v rozmezí 2. – 13. s celkovým rozsahem hodnot 13,1 – 30,1 cmH₂O.

Tab. 26: Tabulka III pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži

číslo skupiny CDP	2	3	7	8	9	10	12	13
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	13,1–14,0	14,1–15,5	19,6–21,0	21,1–22,8	22,9–24,0	24,1–25,7	27,1–28,3	28,4–30,1
TV (AU) 01a	752,2	758,4	703,6	668,0	635,0	591,1	549,9	509,3
TV (AU) 01b	680,8	688,3	637,8	613,6	581,7	546,9	485,2	448,8
TV (AU) 26	543,9	548,2	494,5	466,9	437,5	413,0	372,0	362,7
TV (AU) 59	35493,7	35149,1	30389,4	28669,2	27191,5	25917,2	25970,8	24899,1



Obr. 28: Krabicový graf odpovídající Tab. 26: Tabulka pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 13, 3 a 13 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem **.

4 Diskuze

4.1 Závislost dechového objemu na CDP

U zdravých prasat byla při postupném zvyšování nebo snižování kontinuálního distenzního tlaku zjištěna statisticky významná závislost dechového objemu na skupině CDP. Ve fázi experimentu u zdravého prasete při postupném zvyšování hodnoty CDP byl nalezen statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ mezi skupinami s nižším CDP (v rozsahu hodnot 9,5–12,8 cmH₂O) a skupinami s vyšším CDP (v rozsahu hodnot 18,1–27,9 cmH₂O). Podobný výsledek se objevil i ve fázi experimentu u zdravého prasete při postupném snižování hodnoty CDP, kde se vyskytl statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ mezi skupinami s nižším CDP (v rozsahu hodnot 9,5–14,9 cmH₂O) a skupinami s vyšším CDP (v rozsahu hodnot 18,6–27,9 cmH₂O). Dechový objem ve fázích experimentu u zdravých prasat s rostoucím CDP nejprve roste, u posledních dvou skupin CDP pak klesá. Na pokles dechového objemu u posledních dvou skupin CDP ukazuje také skutečnost, že již nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi dvěma posledními skupinami s nejvyššími hodnotami CDP a některou další skupinou CDP. Tento trend je možné vysvětlit chováním plic při postupném zvyšování kontinuálního distenzního tlaku. Při ventilaci s nižšími hodnotami CDP okolo 8 cmH₂O jsou plicní sklípky zhroucené a s rostoucím tlakem se na počátku experimentu nejprve postupně roztahují, a zvětšují tak svůj objem. Dechový objem tedy nejdříve roste rychleji. Po dosažení tlaku okolo 14 cmH₂O jsou alveoly již roztažené a dále se zvětšují pouze pomalu, dechový objem se proto výrazně nemění. Při vyšších tlacích okolo 28 cmH₂O se plice začínají tlačít na hrudní koš, a tím může docházet k mírnému poklesu dechového objemu. Ve fázích experimentu po laváži respirační soustavy detergentem, kterou byl indukovan syndrom akutní respirační tísně, nebyl statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými skupinami CDP zjištěn. To může být způsobeno skutečností, že při indukovaném syndromu akutní dechové tísně byla počáteční hodnota kontinuálního distenzního tlaku u jednotlivých ventilovaných subjektů různá a často vyšší než u zdravých subjektů. Experiment byl započat na vyšších hodnotách CDP, neboť použití nižšího tlaku nedovoloval zdravotní stav zvířete, které má se syndromem akutní dechové tísně nižší poddajnost plic. Největší testovaný rozsah CDP byl 13,1–27,0 cmH₂O, ten byl ovšem testován pouze na čtyřech ventilovaných subjektech. Statistické testy provedené na více prasatech ověřovaly maximální rozsah hodnot CDP 19,6–34,3. Dalším možným důvodem pro nenalezení statisticky významné závislosti ve fázích experimentu

s indukovaným ARDS je klesající trend dechového objemu u prasete 26. Z grafů na Obr. 12 a Obr. 19 lze však pozorovat, že závislost dechového objemu na CDP u ostatních ventilovaných subjektů je ve fázích po laváži podobná jako ve fázích před laváží. Ve studii [3] byla zmíněna podobná závislost dechového objemu na středním tlaku. U králíků s indukovaným syndromem respirační tísně byl uveden nárůst dechového objemu při zvyšování CDP mezi 5–10 cmH₂O následovaný poklesem při dalším zvyšování středního tlaku k hodnotě 25 cmH₂O.

4.2 Závislost respirační variace na CDP

Respirační variace ve fázích experimentu při zvyšování CDP před plicní laváží i po ní nejprve roste a od určité hranice začíná klesat. Při porovnání výsledků statistických testů a grafů závislosti respirační variace na hodnotách CDP lze pozorovat, že u fáze experimentu před laváží začíná respirační variace klesat na hodnotách mezi 13–20 cmH₂O. Ve fázi po laváží začíná u prasat 33 a 34 respirační variace klesat okolo hodnoty 28 cmH₂O, kdežto u prasat 01a, 01b, 26 a 59 dochází k poklesu respirační variace okolo hodnoty 15 cmH₂O. Pozorovaný průběh závislosti respirační variace na hodnotách CDP není shodný s průběhem závislosti dechového objemu na hodnotách CDP. Podobný trend závislosti respirační variace na CDP je uveden též ve studii [2]. Oscilační objem, který je v této studii vypočten z velikosti rozkmitu oscilací relativní změny impedance, stoupá od přibližně 6 do 9 AU mezi 8–14 cmH₂O a poté klesá až k hodnotě přibližně 5 AU na 20 cmH₂O. Podobný trend respirační variace, avšak při ventilování subjektů konvenční ventilací byl pozorován rovněž ve studii [14]. V této studii byl zjišťován vliv výběru základního snímku (baseline) z úseků signálu s různou hodnotou PEEP na parametry vypočtené z impedanční křivky. Měření bylo provedeno pro hodnoty PEEP 5–25 cmH₂O. Z grafu zobrazeného v této studii lze vyčíst, že respirační variace postupně klesala při zvyšování hodnoty PEEP. Z výsledků této práce vyplývá, že elektrická impedanční tomografie při vyšších středních tlacích chybně měří nízké hodnoty respirační variace.

4.3 Zpracování dat a statistická analýza

Animální experimenty byly provedeny celkem na jedenácti prasatech. Dvě prasata při experimentu uhynula dříve, než bylo dokončeno měření. U jednoho prasete byl použit přístroj iMon, který byl schopen změřit pouze menší tlaky, než se vyskytly v experimentu při měření průtoku. Proto byl signál průtoku naměřen chybně a ventilovaný subjekt nebyl do následného vyhodnocení zahrnut. Pro vyhodnocení dat bylo použito devět prasat.

Experiment byl proveden jak při zvedání, tak při snižování kontinuálního distenzního tlaku. Tyto fáze experimentu byly vyhodnocovány zvlášť, neboť se při zvýšení či snížení CDP mění mechanické parametry plic. Pokud by byly obě části vyhodnocovány společně, mohla by být do vyhodnocení zanesena chyba. Byla-li u jednoho ventilovaného subjektu naměřena tatáž fáze dvakrát, byla tato část experimentu zahrnuta do následné analýzy jako další subjekt. Tento postup byl zvolen rovněž s ohledem na změnu mechanických vlastností respirační soustavy prasete.

Kontinuální distenzní tlak nastavený manuálně na ventilátoru nebyl v systému udržen přesně na nastavené hodnotě. Proto se změřené hodnoty CDP v jednotlivých fázích experimentu – při zvyšování a snižování CDP před laváží i po ní – a u různých ventilovaných subjektů poněkud lišily. Proto byla pro statistickou analýzu data rozdělena do očíslovaných skupin, kterým bylo přiřazeno rozpětí hodnot CDP. U každého ventilovaného subjektu byl měřený rozsah hodnot CDP odlišný a z toho důvodu se liší počet změřených hodnot dechového objemu a respirační variace v očíslovaných skupinách CDP. Měřený rozsah hodnot CDP byl u některých prasat omezen zdola, protože některá prasata nevykazovala známky dostatečné oxygenace při nižších hodnotách CDP. Shora byl rozsah hodnot CDP omezen hemodynamickými parametry, které u některých prasat při vyšších hodnotách CDP překračovaly fyziologické meze. V některých případech chybí naměřená hodnota dechového objemu nebo respirační variace pro některou z prostředních skupin CDP, protože došlo k posunu hodnoty CDP do jiné skupiny kvůli manuálnímu nastavení tlaku. Jelikož použitá statistika vyžaduje stejný počet měření v každé skupině, musela být do statistické analýzy zahrnuta vždy pouze část dat.

Na Obr. 32 v příloze A nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi skupinami CDP 8 a 13, přestože z krabicového grafu se zdá, že by rozdíl mezi skupinami nalezen být měl. Testovací kritérium bylo v tomto případě velmi blízko kritické hodnoty, ale nepřesáhlo ji.

Přístroj PulmoVista 500 neumožňuje volbu vyšší vzorkovací frekvence než 50 Hz. Na rozdíl od konvenční ventilace, kde je dechová frekvence nízká, dochází u vysokofrekvenční oscilační ventilace, kde byla dechová frekvence zvolena 5 Hz, k aliasingu. Přístroj PulmoVista 500 neměří hodnoty změny impedance dostatečně často, takže dochází k ořezání (ignorování) nejvyšších a nejnižších hodnot změny impedance v naměřeném signálu. Aby byl vliv aliasingu minimalizován, byly pro účely dalšího

zpracování dat používány pouze maximální hodnoty respirační variace naměřené v intervalu dvě vteřiny. U prasete číslo 37 byla na přístroji PulmoVista 500 použita vzorkovací frekvence 20 Hz, pro zpracování dat byly použity pouze maximální hodnoty respirační variace naměřené v intervalu pět vteřin. Z toho důvodu se na tomto praseti projevil vliv podvzorkování více než na ostatních prasatech. Výsledná křivka závislosti respirační variace na hodnotě CDP byla však obdobná jako u ostatních ventilovaných subjektů, data tedy byla pro následné statistické vyhodnocení použita.

Závěr

V této práci byla na základě analýzy signálů průtoku z animálních experimentů sestavena závislost dechového objemu na kontinuálním distenzním tlaku (CDP) při vysokofrekvenční oscilační ventilaci před provedením a po provedení plicní laváže, kterou byl ventilovaným subjektům navozen stav akutního respiračního syndromu. Při experimentech na zdravých prasatech byla zjištěna statisticky významná závislost dechového objemu na hodnotách CDP. Z grafu vyplývá, že velikost dechového objemu nejprve se zvyšujícím se kontinuálním distenzním tlakem do okolo 14 cmH₂O roste, poté se téměř nemění a při nejvyšších tlacích (28–32,5 cmH₂O) mírně klesá. Na tento trend ukazuje i skutečnost, že byly nalezeny statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,01 mezi skupinami CDP do 14 cmH₂O a skupinami mezi 18–28 cmH₂O. Ve fázích experimentu po plicní laváži nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi skupinami CDP. Tato skutečnost je pravděpodobně ovlivněna menším počtem naměřených dechových objemů u různých prasat při stejném CDP. Z grafu lze však vyčíst, že závislost dechového objemu je u prasat s indukovaným ARDS podobná jako u prasat zdravých.

Dále byly porovnány hodnoty dechových objemů se záznamy z elektrické impedanční tomografie. Bylo zjištěno, že na rozdíl od dechového objemu klesá respirační variace statisticky významně při zvyšujícím se CDP. Z výsledků této práce vyplývá, že elektrická impedanční tomografie při vyšších středních tlacích chybně měří nízké hodnoty respirační variace, a proto ji při vysokofrekvenční oscilační ventilaci nelze pro monitoraci dechového objemu použít.

Literatura

- [1] ROUBÍK, Karel. Nekonvenční režimy umělé plicní ventilace. Kladno, 2006. Habilitační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství.
- [2] MIEDEMA, M., F. H. DE JONGH, I. FRERICHS, M. B. VAN VEENENDAAL a A. H. VAN KAAM. The effect of airway pressure and oscillation amplitude on ventilation in pre-term infants. *European Respiratory Journal* [online]. 2012, 40(2), 479-484 [cit. 2016-03-15]. DOI: 10.1183/09031936.00138311. ISSN 0903-1936. Dostupné z: <http://erj.ersjournals.com/cgi/doi/10.1183/09031936.00138311>
- [3] HAGER, David N., Henry E. FESSLER, David W. KACZKA, Carl B. SHANHOLTZ, Mathew K. FULD, Brett A. SIMON a Roy G. BROWER. Tidal volume delivery during high-frequency oscillatory ventilation in adults with acute respiratory distress syndrome*. *Critical Care Medicine* [online]. 2007, 35(6), 1522-1529 [cit. 2016-03-15]. DOI: 10.1097/01.CCM.0000266586.04676.55. ISSN 0090-3493. Dostupné z: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=0003246-200706000-00011>
- [4] ADLER, A., R. AMYOT, R. GUARDO, J. H. T. BATES a Y. BERTHIAUME. Monitoring changes in lung air and liquid volumes with electrical impedance tomography. *Journal of Applied Physiology*. 1997, 83(5), 1762-1767.
- [5] *Návod k použití PulmoVista 500*. 2. Dräger Medical GmbH, 2010.
- [6] CHAN, Kenneth P.W., Thomas E. STEWART a Sangeeta MEHTA. High-Frequency Oscillatory Ventilation for Adult Patients With ARDS. *Chest*[online]. 2007, 131(6), 1907-1916 [cit. 2016-03-16]. DOI: 10.1378/chest.06-1549. ISSN 00123692. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0012369215375309>
- [7] DERDAK, Stephen, Sangeeta MEHTA, Thomas E. STEWART, et al. High-Frequency Oscillatory Ventilation for Acute Respiratory Distress Syndrome in Adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2002, **166**(6), 801–808. DOI: 10.1164/rccm.2108052.

- [8] LEONHARDT, Steffen a Burkhard LACHMANN. Electrical impedance tomography: the holy grail of ventilation and perfusion monitoring? *Intensive Care Medicine* [online]. 2012, **38**(12), 1917-1929 [cit. 2016-03-16]. DOI: 10.1007/s00134-012-2684-z. ISSN 0342-4642. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00134-012-2684-z>
- [9] GRÜNES, Richard a Karel ROUBÍK. Elektrická impedanční tomografie a její využití v respirační péči. *Lékař a technika*. 2008, **38**(1), 42-47.
- [10] TESCHNER, Eckhard, Michael IMHOFF a Steffen LEONHARDT. *Electrical Impedance Tomography: The realisation of regional ventilation monitoring*. 2. Drägerwerk AG & Co. KGaA, 2015.
- [11] JOUVET, P., P. HUBERT, D. ISABEY, D. PINQUIER, E. DAHAN, M. CLOUP a A. HARF. Assessment of high-frequency neonatal ventilator performances. *Intensive Care Medicine*. 1997, **23**(2), 208-213.
- [12] PIANTADOSI, Claude A. The Acute Respiratory Distress Syndrome. *Annals of Internal Medicine* [online]. 2004, 141(6), 460- [cit. 2016-04-18]. DOI: 10.7326/0003-4819-141-6-200409210-00012. ISSN 0003-4819. Dostupné z: <http://annals.org/article.aspx?doi=10.7326/0003-4819-141-6-200409210-00012>
- [13] GATTINONI, Luciano, Paolo PELOSI, Peter M. SUTER, Alessia PEDOTO, Paola VERCESI a Alfredo LISSONI. Acute Respiratory Distress Syndrome Caused by Pulmonary and Extrapulmonary Disease Different Syndromes? *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 1998, **158**, 3 - 11.
- [14] ROUBIK, Karel, Vladimír SOBOTA a Marianna LAVIOLA. Selection of the Baseline Frame for Evaluation of Electrical Impedance Tomography of the Lungs. In: *2015 Second International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry (MCSI)* [online]. IEEE, 2015, s. 293-297 [cit. 2016-05-05]. DOI: 10.1109/MCSI.2015.51. ISBN 978-1-4799-8673-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7423980>
- [15] Real Statistics Using Excel: Shapiro-Wilk Original Test. *Real Statistics Using Excel* [online]. Charles Zaiontz, 2016 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z:

<http://www.real-statistics.com/tests-normality-and-symmetry/statistical-tests-normality-symmetry/shapiro-wilk-test/>

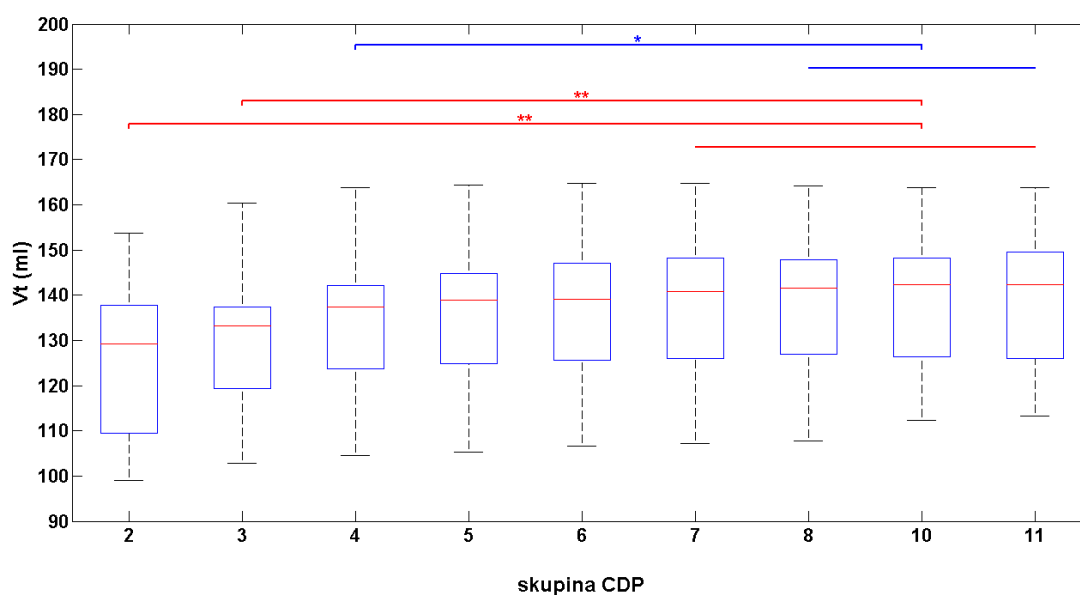
- [16] LITSCHMANNOVÁ, Martina. *Úvod do statistiky*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2011.

Příloha A

Testování závislosti dechového objemu na skupině CDP při zvyšování CDP před laváží

Tab. 27: Tabulka I pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

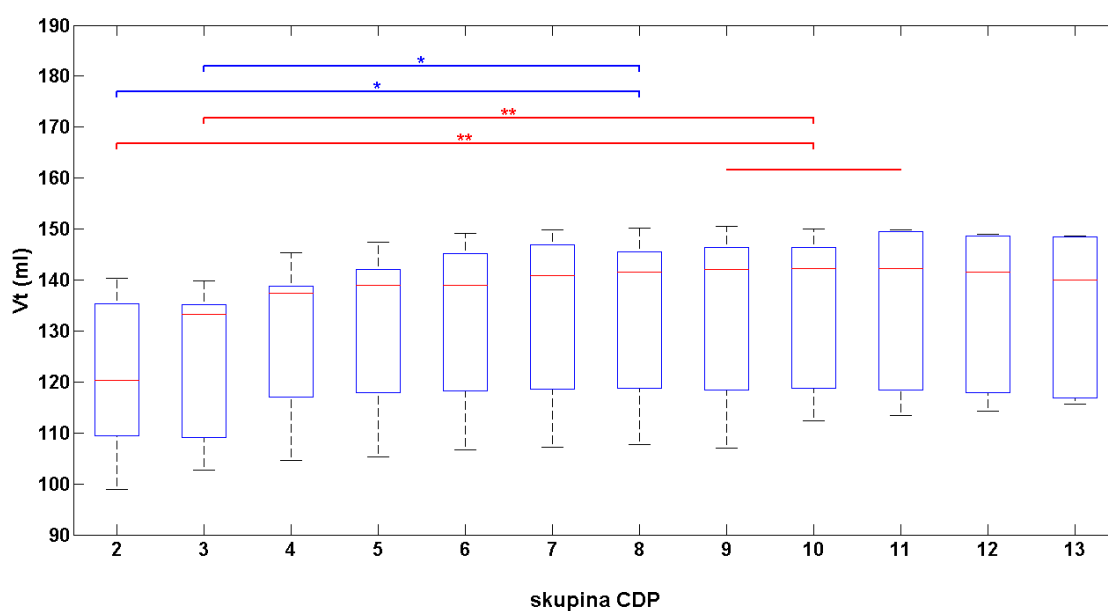
číslo skupiny CDP	2	3	4	5	6	7	8	10	11
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,4	11,5–12,8	12,9–14,4	14,5–16,2	16,3–18,0	18,1–20,3	20,5–22,0	24,0–26,0	26,1–27,9
Vt (ml) 01	127,3	129,7	130,6	131,8	132,9	133,4	135,2	134,1	133,6
Vt (ml) 23	153,7	160,4	163,8	164,5	164,8	164,8	164,2	163,9	163,9
Vt (ml) 26	109,4	109,2	117,0	117,9	118,2	118,7	118,7	118,7	118,5
Vt (ml) 31	135,4	135,0	145,3	147,5	149,2	149,8	150,2	150,0	149,8
Vt (ml) 33	140,3	139,8	138,8	142,0	145,1	146,8	145,5	146,3	145,5
Vt (ml) 34	98,9	102,8	104,6	105,2	106,6	107,2	107,7	112,4	113,4
Vt (ml) 37	131,0	135,1	137,1	136,5	135,7	137,9	138,8	139,0	139,1
Vt (ml) 59	109,6	131,5	137,9	141,4	142,4	143,7	144,4	145,6	149,5



Obr. 29: Krabicový graf odpovídající Tab. 27 pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 7, 2 a 8, 2 a 10, 2 a 11, 3 a 7, 3 a 8, 3 a 10, 3 a 11 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$, v grafu jsou tyto rozdíly označeny červenými čarami a symbolem **. Dále mezi skupinami 4 a 8, 4 a 10, 4 a 11 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, v grafu jsou tyto rozdíly označeny modrými čarami a symbolem *.

Tab. 28: Tabulka II pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

číslo skupiny CDP	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,4	11,5–12,8	12,9–14,4	14,5–16,2	16,3–18,0	18,1–20,3	20,5–22,0	22,1–23,9	24,0–26,0	26,1–27,9	28,0–30,3	30,4–32,5
Vt (ml) 26	109,4	109,2	117,0	117,9	118,2	118,7	118,7	118,4	118,7	118,5	117,9	116,9
Vt (ml) 31	135,4	135,0	145,3	147,5	149,2	149,8	150,2	150,5	150,0	149,8	149,0	148,5
Vt (ml) 33	140,3	139,8	138,8	142,0	145,1	146,8	145,5	146,5	146,3	145,5	144,3	143,4
Vt (ml) 34	98,9	102,8	104,6	105,2	106,6	107,2	107,7	107,1	112,4	113,4	114,3	115,7
Vt (ml) 37	131,0	135,1	137,1	136,5	135,7	137,9	138,8	139,3	139,0	139,1	138,9	136,4
Vt (ml) 59	109,6	131,5	137,9	141,4	142,4	143,7	144,4	144,9	145,6	149,5	148,6	148,6

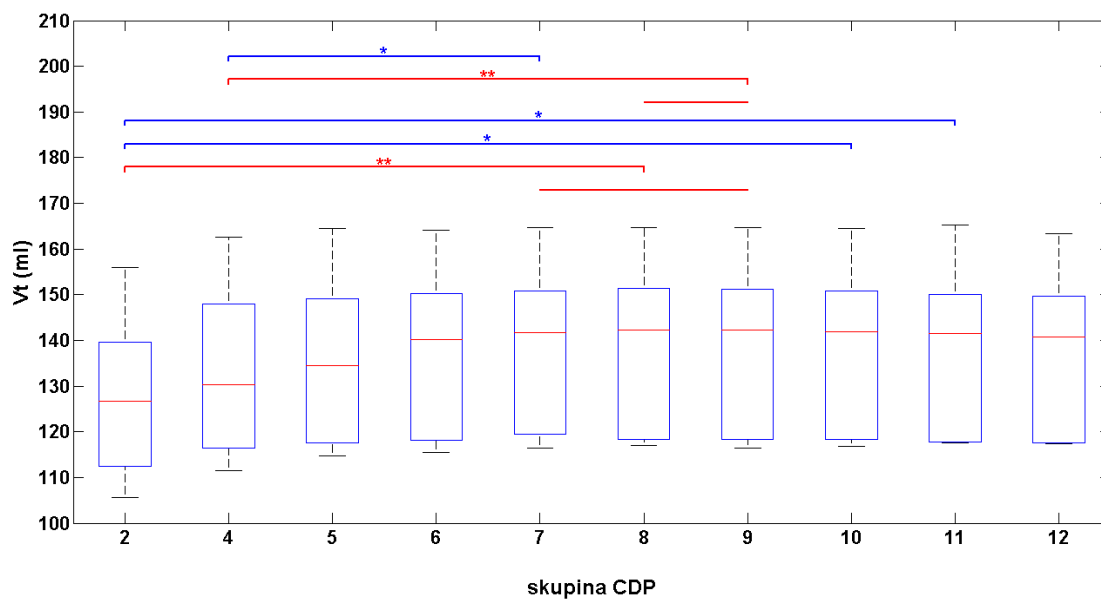


Obr. 30: Krabicový graf odpovídající Tab. 28 pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 9, 2 a 10, 2 a 11, 3 a 9, 3 a 10, 3 a 11 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem **. Dále mezi skupinami 2 a 8, 3 a 8 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem *.

Testování závislosti dechového objemu na skupině CDP při snižování CDP před laváží

Tab. 29: Tabulka III pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při snižování CDP před laváží.

číslo skupiny CDP	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,5	13,0–14,9	15,0–16,4	16,5–18,5	18,6–20,5	20,7–21,9	22,0–23,9	24,0–25,9	26,0–27,9	28,0–30,3
Vt (ml) 23	155,9	162,5	164,5	164,1	164,8	164,7	164,7	164,4	165,3	163,4
Vt (ml) 26	112,4	116,4	117,6	118,1	119,4	118,3	118,4	118,3	117,8	117,4
Vt (ml) 31	139,7	148,0	149,1	150,3	150,8	151,4	151,2	150,8	150,1	149,6
Vt (ml) 33	132,7	132,5	135,8	143,7	145,2	145,6	145,5	144,9	144,2	143,0
Vt (ml) 34	105,6	111,4	114,6	115,4	116,4	117,1	116,4	116,8	117,5	117,6
Vt (ml) 37	120,7	128,3	133,2	136,7	138,4	138,7	139,0	138,9	138,7	138,6

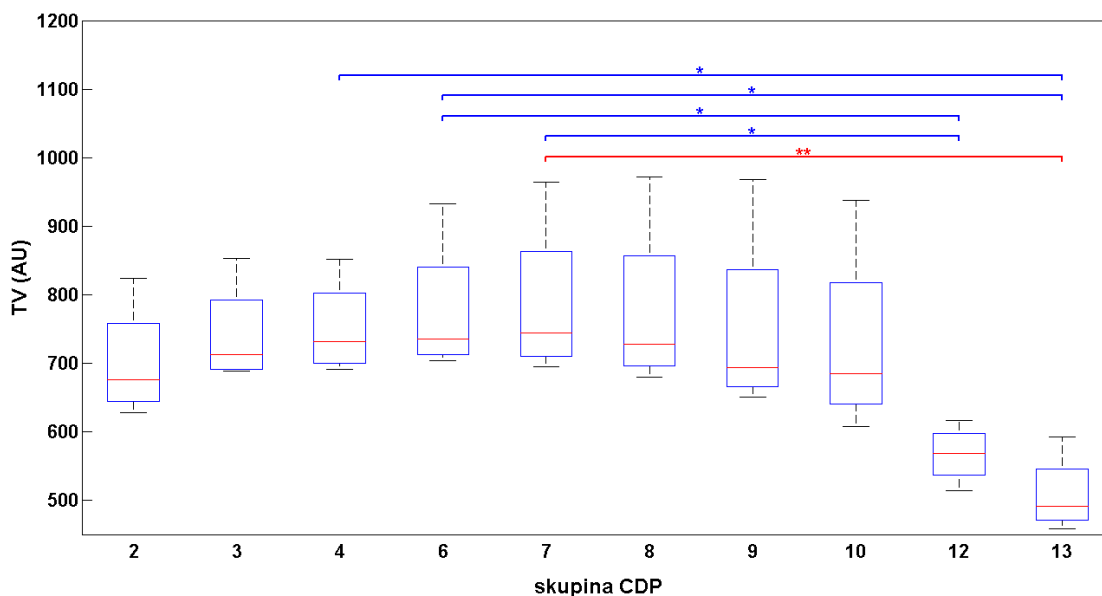


Obr. 31: Krabicový graf odpovídající Tab. 29 pro testování závislosti dechového objemu na skupině CDP ve fázi experimentu při snižování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 7, 2 a 8, 2 a 9, 4 a 8, 4 a 9 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$, v grafu jsou tyto označeny červenými čarami a symbolem **. Dále mezi skupinami 2 a 10, 2 a 11, 4 a 7 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, v grafu jsou tyto označeny modrými čarami a symbolem *.

Testování závislosti respirační variace na skupině CDP při zvyšování CDP před laváží

Tab. 30: Tabulka I pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

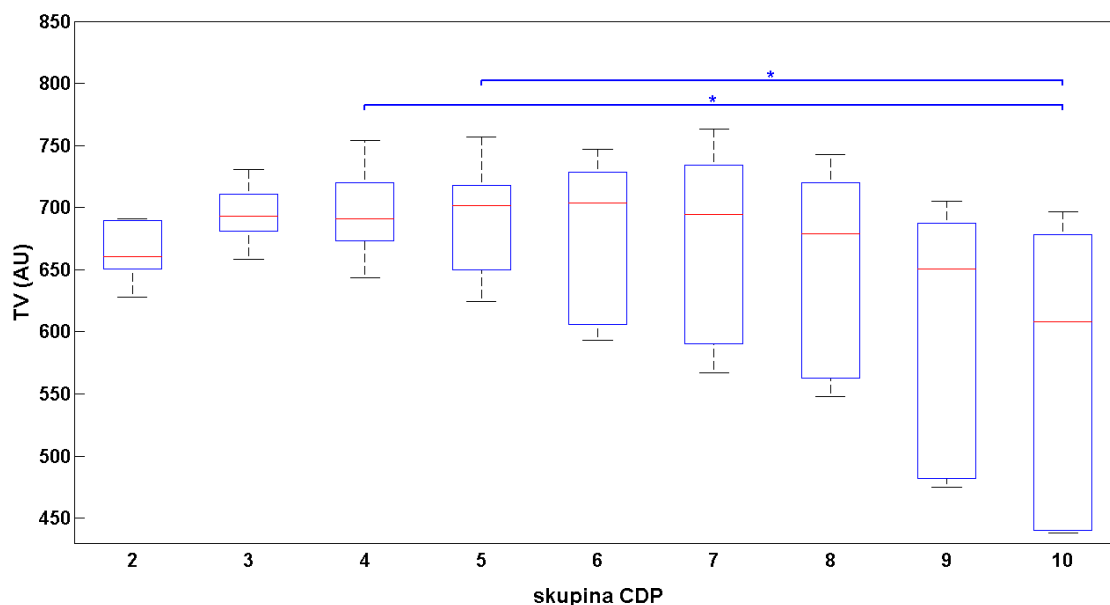
číslo skupiny CDP	2	3	4	6	7	8	9	10	12	13
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,4	11,5–12,8	12,9–14,4	16,3–18,0	18,1–20,3	20,5–22,0	22,1–23,9	24,0–26,0	28,0–30,3	30,4–32,5
TV (AU) 26	824,4	853,2	851,2	932,4	964,1	971,3	968,1	937,7	577,7	498,6
TV (AU) 33	690,9	730,6	753,7	747,2	762,9	742,5	705,3	672,1	616,9	592,5
TV (AU) 34	628,1	693,0	690,7	722,2	724,5	712,3	681,5	696,5	559,4	482,9
TV (AU) 37	660,8	689,0	709,2	703,6	694,6	679,2	650,7	608,0	514,5	457,9
TV (AU) 59	28813,9	33100,4	33854,0	32745,7	30598,0	29044,1	26389,3	24064,4	23685,7	24899,4



Obr. 32: Krabicový graf odpovídající Tab. 30: Tabulka pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 7 a 13 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$, v grafu jsou tyto označeny červenými čarami a symbolem **. Dále mezi skupinami 4 a 13, 6 a 13, 6 a 12, 7 a 12 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, v grafu jsou tyto označeny modrými čarami a symbolem *.

Tab. 31: Tabulka II pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží.

číslo skupiny CDP	2	3	4	5	6	7	8	9	10
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	9,5–11,4	11,5–12,8	12,9–14,4	14,5–16,2	16,3–18,0	18,1–20,3	20,5–22,0	22,1–23,9	24,0–26,0
TV (AU) 01a	689,2	704,0	683,4	658,3	609,8	597,8	567,8	484,9	441,2
TV (AU) 01b	658,2	658,3	643,4	624,4	593,3	567,2	547,7	474,7	437,9
TV (AU) 33	690,9	730,6	753,7	757,1	747,2	762,9	742,5	705,3	672,1
TV (AU) 34	628,1	693,0	690,7	701,4	722,2	724,5	712,3	681,5	696,5
TV (AU) 37	660,8	689,0	709,2	704,9	703,6	694,6	679,2	650,7	608,0
TV (AU) 59	28813,9	33100,4	33854,0	32765,4	32745,7	30598,0	29044,1	26389,3	24064,4

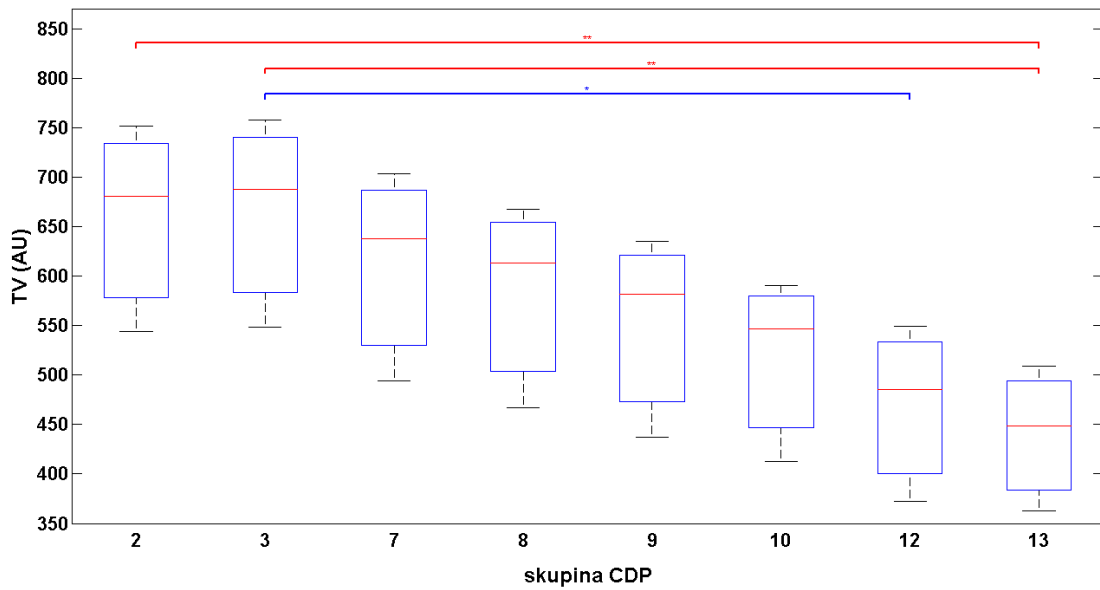


Obr. 33: Krabicový graf odpovídající Tab. 31: Tabulka pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP před laváží. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 4 a 10, 5 a 10 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ označeny červenými čarami a symbolem *.

Testování závislosti respirační variace na skupině CDP při zvyšování CDP po laváží

Tab. 32: Tabulka III pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváží.

číslo skupiny CDP	2	3	7	8	9	10	12	13
rozsah hodnot CDP (cmH ₂ O)	13,1–14,0	14,1–15,5	19,6–21,0	21,1–22,8	22,9–24,0	24,1–25,7	27,1–28,3	28,4–30,1
TV (AU) 01a	752,2	758,4	703,6	668,0	635,0	591,1	549,9	509,3
TV (AU) 01b	680,8	688,3	637,8	613,6	581,7	546,9	485,2	448,8
TV (AU) 26	543,9	548,2	494,5	466,9	437,5	413,0	372,0	362,7
TV (AU) 59	35493,7	35149,1	30389,4	28669,2	27191,5	25917,2	25970,8	24899,1



Obr. 34: Krabicový graf odpovídající Tab. 32 pro testování závislosti respirační variace na skupině CDP ve fázi experimentu při zvyšování CDP po laváži. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi skupinami 2 a 13, 3 a 13 na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ a mezi skupinami 3 a 12 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. V grafu jsou rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ označeny červenými čarami a symbolem ** a rozdíly mezi skupinami na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ označeny modrými čarami a symbolem *.

Příloha B

Funkce zobrazující závislosti tlaku a průtoku na čase

```
function [ p,tp,q_konec,t,pocet_puvln,rozkmit] =  
zobrazeni2(ZACATEK,KONEC )  
%funkce zobrazující závislost tlaku a průtoku na čase  
  
%signál tlaku  
load('iMon_Paw_059.mat')  
  
p=paw(:,2);  
tvecp=paw(:,1);  
  
%převod na cmH2O  
p=p*10.1971621298;  
  
in_zacp = ZACATEK;  
in_konp = KONEC;  
  
p=p(in_zacp:in_konp);  
tp=1/1000*(0:1:(length(p)-1));  
  
%hledani průchodů nulou v signálu tlaku  
ps = smooth(p,20);  
  
ip=0;  
for kp=2:length(ps)  
    if 0<ps(kp)  
        if 0>ps(kp-1)  
            ip=ip+1;  
            index_ps(ip)=kp;  
        end  
    end  
end  
  
jp=0;  
for mp=2:length(index_ps)-1  
    if 0<ps(index_ps(mp)+20)  
        if 0>ps(index_ps(mp)-20)  
            jp=jp+1;  
            vlny_ps(jp)=index_ps(mp);  
        end  
    end  
end  
  
hp=1;
```

```

spravne_vlny_ps(1)=vlny_ps(1);
for np=2:length(vlny_ps)
    if 40<(vlny_ps(np)-vlny_ps(np-1))
        hp=hp+1;
        spravne_vlny_ps(hp)=vlny_ps(np);
    end
end

pocet_puvln=length(spravne_vlny_ps)-1;

% zjištění rozkmitu tlaku
rozkmít=zeros(1,(length(spravne_vlny_ps)-1));
for b=1:(length(spravne_vlny_ps)-1)
    ZacCasti=spravne_vlny_ps(b);
    KonCasti=spravne_vlny_ps(b+1);
    cast=p(ZacCasti:KonCasti);
    [ValMax,PlaceMax]=max(cast);
    [ValMin,PlaceMin]=min(cast);
    FinalPlaceMax=spravne_vlny_ps(b)+PlaceMax;
    FinalPlaceMin=spravne_vlny_ps(b)+PlaceMin;
    maximum(b)=FinalPlaceMax;
    minimum(b)=FinalPlaceMin;
    rozkmít(b)=ValMax+abs(ValMin);
end

rozkmít=mean(rozkmít);

%signál průtoku
load('iMon_Qaw_059.mat')

q=qaw(:,2);
tvec=qaw(:,1);
q=q/60;

in_zac = ZACATEK;
in_kon = KONEC;

q=q(in_zac:in_kon);

q = smooth(q,20);

i=0;
for k=2:length(q)
    if 0<q(k)
        if 0>q(k-1)
            i=i+1;
            index(i)=k;
        end
    end
end
end

```



```

j=0;
for m=2:length(index)-1
    if 0<q(index(m)+20)
    if 0>q(index(m)-20)
        j=j+1;
        vlny(j)=index(m);
    end
end
end

h=1;
spravne_vlny(1)=vlny(1);
for n=2:length(vlny)
    if 40<(vlny(n)-vlny(n-1))
        h=h+1;
        spravne_vlny(h)=vlny(n);
    end
end

%kontrola
% figure(1)
% t_kont=1/1000*(0:1:(length(q)-1));
% stem(t_kont,q)
% hold on
% stem(1/1000*(index-1),q(index),'g','filled')
% hold on
% stem(1/1000*(vlny-1),q(vlny),'y','filled')
% hold on
% stem(1/1000*(spravne_vlny-
1),q(spravne_vlny),'r','filled')

pocet_puvln=length(spravne_vlny)-1;
q_konec=q(spravne_vlny(1):spravne_vlny(length(spravne_vlny)
));
prumer=mean(q_konec);
q_konec=q_konec-prumer;
t=1/1000*(0:1:(length(q_konec)-1));

end

```

Funkce zjišťující hodnotu respirační variace

```
function [ hodnota,hodnota_spline] = hodnota_eit2(tg)
%zjištění hodnoty respirační variace, minimalizace
aliasingu

maximum=0*tg;

for k=1:100:length(tg)-100
    signal=tg(k:k+99);
    [value,position]=max(signal);
    final_position=k+position-1;
    maximum(final_position)=value;

end
nonzero_e=find(maximum);
nonzval_e=maximum(nonzero_e);

ttg=1/50*(0:1:(length(tg)-1));
ttg_eli=(min(nonzero_e):1:max(nonzero_e));

tg_eli = spline(nonzero_e,nonzval_e,ttg_eli);

hodnota=sum(nonzval_e)/length(nonzval_e);
hodnota_spline=sum(tg_eli)/length(tg_eli);

%figure(1)
%stem(ttg,tg)
%hold on
%stem(1/50*(nonzero_e-1),nonzval_e
,'MarkerFaceColor','red','MarkerEdgeColor','green' )

end
```

Funkce pro výpočet dechového objemu

```
function [ objem_kl, kontrola ] =  
dechovy_objem(t, q, pocet_puvln)  
%výpočet dechového objemu  
  
q_kl=q;  
q_zap=q;  
  
for j=1:length(q_kl)  
if q_kl(j) < 0  
    q_kl(j) = 0;  
else  
    q_kl(j) = q_kl(j);  
end  
end  
  
for k=1:length(q_zap)  
if q_zap(k) > 0  
    q_zap(k) = 0;  
else  
    q_zap(k) = abs(q_zap(k));  
end  
end  
  
% integrace pomocí funkce trapz  
objem_kl=trapz(t,q_kl)*1000;  
objem_kl=objem_kl/pocet_puvln;  
  
objem_zap=trapz(t,q_zap)*1000;  
objem_zap=objem_zap/pocet_puvln;  
  
kontrola=[objem_kl,objem_zap];  
kontrola=kontrola(:,1)-kontrola(:,2);  
  
end
```

Funkce pro výpočet Shaphirova Wilkova testu

```
function [ test] = ShapiroWilk( prom )
%výpočet Shapirova - Wilkova testu

prumer = mean(prom);
n=length(prom);
prom=sort(prom);
%zjištění koeficientů a kritické hodnoty
if n==19
    a=[0.4808 0.3232 0.2561 0.2059 0.1641 0.1271 0.0932
0.0612 0.0303];
    W05=0.901;
elseif n==18
    a=[0.4886 0.3253 0.2553 0.2027 0.1587 0.1197 0.0837
0.0496 0.0163];
    W05=0.897;
elseif n==17
    a=[0.4968 0.3273 0.2540 0.1988 0.1524 0.1109 0.0725
0.0359];
    W05=0.892;
elseif n==16
    a=[0.5056 0.3290 0.2521 0.1939 0.1447 0.1005 0.0593
0.0196];
    W05=0.887;
elseif n==15
    a=[0.515 0.3306 0.2495 0.1878 0.1353 0.0880 0.0433];
    W05=0.881;
elseif n==14
    a=[0.5251 0.3318 0.2460 0.1802 0.1240 0.0727 0.0240];
    W05=0.874;
elseif n==13
    a=[0.5359 0.3325 0.2412 0.1707 0.1099 0.0539];
    W05=0.866;
elseif n==12
    a=[0.5475 0.3325 0.2347 0.1586 0.0922 0.0303];
    W05=0.859;
elseif n==11
    a=[0.5601 0.3315 0.2260 0.1429 0.0695];
    W05=0.85;
elseif n==10
    a=[0.5739 0.3291 0.2141 0.1224 0.0399];
    W05=0.842;
elseif n==9
    a=[0.5888 0.3244 0.1976 0.0947];
    W05=0.829;
elseif n==8
    a=[0.6052 0.3164 0.1743 0.0561];
    W05=0.818;
elseif n==7
    a=[0.6233 0.3031 0.1401];
```

```

        W05=0.803;
elseif n==6
    a=[0.6431 0.2806 0.0875];
    W05=0.788;
elseif n==5
    a=[0.6646 0.2413];
    W05=0.762;
elseif n==4
    a=[0.6872 0.1677];
    W05=0.748;
elseif n==3
    a=[0.7071];
    W05=0.767;
else
    disp('prilis maly soubor dat')
end

```

```

ss=zeros(1,n);
for i = 1:length(prom)
    ss(i)=prom(i)-prumer;
    ss(i)=ss(i)^2;
end
SS=sum(ss);

```

```

b=zeros(1,length(a));
for i = 1:length(a)
    b(i)=a(i)*(prom(n+1-i)-prom(i));
end
B=sum(b);

```

```

W=B^2/SS
%W = 1 ---> normální rozložení
%H0 - rozložení je normální
if W<W05
    test='zamitameH0';
elseif W>W05
    test='nezamitameH0';
end
end

```

Funkce pro výpočet Friedmanova testu

```
function [ Q,Matice ]=
Friedman_4_5(prase1,prase2,prase3,prase4)
%výpočet Friedmanova testu pro 4 prasata a 5 skupin CDP

sorted1=sort(prase1);
sorted2=sort(prase2);
sorted3=sort(prase3);
sorted4=sort(prase4);

for i=1:length(prase1)

    poradi1(i)=find(sorted1==prase1(i));

end

for i=1:length(prase2)

    poradi2(i)=find(sorted2==prase2(i));

end

for i=1:length(prase3)

    poradi3(i)=find(sorted3==prase3(i));

end

for i=1:length(prase4)

    poradi4(i)=find(sorted4==prase4(i));

end

PocetSloupcu=length(prase1);
%sečtení řadkových pořadí
for i=1:length(prase1)

SumaPoradiSloupcu(i)=poradi1(i)+poradi2(i)+poradi3(i)+poradi4(i);

end

R=sum(SumaPoradiSloupcu.^2);
Q=(12/(4*PocetSloupcu*(PocetSloupcu+1)))*R-
(3*4*(PocetSloupcu+1));

%POST HOC ANALYZA
SPR=SumaPoradiSloupcu;
```

```

PostHoc_12=abs (SPR (1) -SPR (2) );
PostHoc_13=abs (SPR (1) -SPR (3) );
PostHoc_14=abs (SPR (1) -SPR (4) );
PostHoc_15=abs (SPR (1) -SPR (5) );

PostHoc_23=abs (SPR (2) -SPR (3) );
PostHoc_24=abs (SPR (2) -SPR (4) );
PostHoc_25=abs (SPR (2) -SPR (5) );

PostHoc_34=abs (SPR (3) -SPR (4) );
PostHoc_35=abs (SPR (3) -SPR (5) );

PostHoc_45=abs (SPR (4) -SPR (5) );

Matice=[ 0 1 2 3 4 5;
         1 0 PostHoc_12 PostHoc_13 PostHoc_14 PostHoc_15 ;
         2 0 0 PostHoc_23 PostHoc_24 PostHoc_25 ;
         3 0 0 0 PostHoc_34 PostHoc_35 ;
         4 0 0 0 0 PostHoc_45 ;
         5 0 0 0 0 0 ]

```

Funkce pro výpočet t-testu

```

function [ t,h,stats,testro ] = t_test( a,b )
%funkce pro výpočet t-testu

rozdily=a-b;

t=mean(rozdily) / (sqrt (var (rozdily) /length (rozdily) ));
%kontrola funkcí MATLAB
[h,p,ci,stats]= ttest (rozdily);

end

```