



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

Akustická oscilometrie

Airwave oscillometry

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský technik

Autor BP: Tomáš Vlček

Vedoucí BP: Ing. Jakub Ráfl, Ph.D.

Kladno 2017/2018

Katedra biomedicínské techniky

Akademický rok: 2017/2018

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Tomáš Vlček**
Obor: Biomedicínský technik
Téma: **Akustická oscilometrie**
Téma anglicky: Airwave Oscillometry

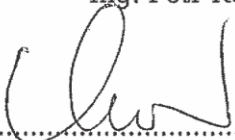
Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

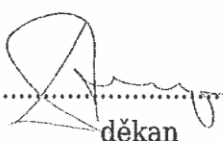
Navrhněte, provedte a vyhodnoťte laboratorní měření pro porovnání výstupů funkčního vyšetření plic pomocí spirometrie a pomocí akustické oscilometrie. Připravte relevantní dokumentaci nezbytnou pro řádné provedení měření. Realizujte měření oběma metodami na dobrovolnících. S využitím statistických metod zhodnoťte vztah mezi výsledky poskytnutými spirometrií a akustickou oscilometrií.

Seznam odborné literatury:

- [1] THORASYS Thoracic Medial Systems Inc., tremoFlo C-100 Airwave Oscillometry System User Manual, 2015
- [2] Marwa Alamer, Repeatability of Respiratory Impedance and Bronchodilatory Response in Asthmatic Children, 2016, 93 s., [Diplomová práce, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada]
- [3] Oostveen E., et al., The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments, Eur Respir J, ročník 22: 1026-1041, 2003, ISSN 0903-1936

Zadání platné do: 20.09.2019
Vedoucí: Ing. Jakub Ráfl, Ph.D.
Konzultant: Ing. Petr Kudrna, Ph.D.


.....
vedoucí katedry / pracoviště


.....
děkan

V Kladně dne 19.02.2018

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Akustická oscilometrie vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu použité literatury.

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 12.5.2018

.....

Tomáš Vlček

PODĚKOVÁNÍ

Hlavní poděkování patří panu Ing. Jakobovi Ráflovi, Ph.D., za pomoc při vedení mé bakalářské práce. Rád bych poděkoval i panu Ing. Janu Matějkovi a paní Ing. Markétě Masopustové za mnoho cenných rad k této bakalářské práci. Mé poděkování patří též zúčastněným probandům při získávání potřebných dat. Nakonec bych chtěl poděkovat Fakultě biomedicínského inženýrství za zapůjčení měřicího zařízení.

ABSTRAKT

Název práce: Akustická oscilometrie

Tato práce je zaměřena na porovnání funkčního vyšetření plic realizovaného akustickou oscilometrií a spirometrií. Charakterizuje problematiku akustické oscilometrie a spirometrie a zároveň poukazuje na rozdíly a výhody mezi metodami.

Cílem práce bylo statisticky zhodnotit vztah mezi výsledky naměřenými akustickou oscilometrií a spirometrií.

Laboratorní měření bylo zrealizováno s deseti zdravými jedinci a deseti astmatiky dle měřicího protokolu. Měření bylo uskutečněno prostřednictvím akustické oscilometrie a spirometrie, ze kterých byla získána data ke statistickému zpracování. Statistické porovnání akustické oscilometrie a spirometrie bylo provedeno pomocí metody korelace (Pearsonova korelačního koeficientu), která porovnávala odpor dýchacích cest vyjádřený rezistencí na frekvenci 5 Hz ($R5$) naměřený akustickou oscilometrií a usilovně vydechnutý objem za jednu sekundu ($FEV1$) naměřený spirometrií. Tyto dva parametry mezi sebou mají silnou korelační závislost. U skupiny zdravých jedinců vyšel kladný korelační koeficient $r = 0,85$, naopak u skupiny astmatiků vyšel záporný korelační koeficient $r = -0,50$. Astmatici se dají lehce odlišit od zdravých jedinců, jelikož jsou u nich zvýšené hodnoty $R5$ a snížené hodnoty $FEV1$.

Klíčová slova

Akustická oscilometrie, spirometrie, technika nucené oscilace, rezistance (R), usilovně vydechnutý objem za 1 sekundu ($FEV1$), astma

ABSTRACT

The title of the Thesis: Airwave oscillometry

This thesis is focused on the comparison of functional examination of lungs performed by airwave oscillometry and spirometry. It characterizes issues of airwave oscillometry and spirometry and at the same time points out the differences and advantages between mentioned methods.

The aim of the thesis was to statistically evaluate the relationship between the results of airwave oscillometry and spirometry.

Laboratory measurement were performed on the ten healthy and ten asthmatics subjects according to the measurement protocol. Measurements were made through airwave oscillometry and spirometry from which were obtained data for statistical processing. Statistical comparison of airwave oscillometry and spirometry was performed by a correlation method (Pearson's correlation coefficient) which was compared the airway resistance expressed by resistance at 5 Hz ($R5$) measured by the airwave oscillometry and forced exhaled volume in one second ($FEV1$) measured by spirometry. These two parameters have a strong correlation between them. In the group of healthy subjects it showed a positive correlation coefficient $r = 0.85$ on the other hand it showed a negative correlation coefficient $r = -0.50$ in the group of asthmatics. Asthmatics can easily be distinguished from healthy individuals as they have elevated $R5$ and decreased $FEV1$.

Keywords

Airwave oscillometry, spirometry, forced oscillations technique, resistance (R), forced expiratory volume-one second ($FEV1$), asthma

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	8
1 Úvod	9
1.1 Přehled současného stavu.....	10
1.2 Cíle práce.....	11
2 Metody funkčního vyšetření plic	12
2.1 Akustická oscilometrie	12
2.1.1 Kalibrace zařízení tremoFlo	14
2.2 Spirometrie	15
2.2.1 Kalibrace zařízení Ergostik	19
2.3 Rozdíly a výhody/nevýhody metod AOS a spirometrie.....	19
2.4 Grafické porovnání a referenční výsledky AOS a spirometrie	20
3 Patologie dýchací soustavy	22
3.1 Astma	22
3.2 Chronická obstrukční plicní nemoc (CHOPN)	23
4 Protokol a vyhodnocení měření	24
5 Výsledky laboratorního měření	27
6 Diskuse	33
7 Závěr	35
Seznam použité literatury	37
Příloha A: Protokol měření	41
Příloha B: Informovaný souhlas	47
Příloha C: Karta probanda	50
Příloha D: Postup pro dezinfekci	51

Seznam symbolů a zkratek

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
Z_{rs}	cmH ₂ O.s/l	Impedance
R_{rs}	cmH ₂ O.s/l	Rezistance
X_{rs}	cmH ₂ O.s/l	Reaktance
f	Hz	Oscilační frekvence
Q	l/s	Průtok
V	m/s	Rychlost
t	s	Čas
V	l	Objem
P	cmH ₂ O; Pa	Tlak
A	m ³	Šířka průřezu
k	s	Index jednotlivého okna
W	-	Funkce okénkování
N	-	Počet oken

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
AOS	Akustická oscilometrie (<i>Airwave Oscillometry</i>)
FOT	Technika nucené oscilace (<i>Forced oscillation technique</i>)
IVC	Nadechovaná vitální kapacita (<i>Inspiratory vital capacity</i>)
FVC	Usilovná vitální kapacita (<i>Forced vital capacity</i>)
FEV1	Usilovně vydechnutý objem za 1 s (<i>Forced expiratory volume-one second</i>)
PEF	Vrcholový výdechový průtok (<i>Peak expiratory flow</i>)
MEF (25–75)	Maximální výdechové průtoky (25-75) (<i>Mid expiratory flow</i>)
Z	Impedance (<i>Impedance</i>)
R5	Rezistance na frekvenci 5 Hz (<i>Resistance at frequency of 5 Hz</i>)
X5	Reaktance na frekvenci 5 Hz (<i>Reactance at frequency of 5 Hz</i>)
CHOPN	Chronické obstrukční plicní nemoci (<i>Chronic obstructive pulmonary disease – COPD</i>)
FFT	Rychlá Fourierova transformace (<i>Fast Fourier transformation</i>)

1 Úvod

Metod testování plicních funkcí je celá řada. Cílem této práce je porovnat vyšetření respiračního systému pomocí metod funkčního vyšetření plic, konkrétně akustickou oscilometrií a spirometrií. Zaměřit se na to, v čem se tyto metody od sebe liší, jaké jsou jejich výhody či nevýhody a naměřená data statisticky zpracovat a vyhodnotit.

Testování plicních funkcí využíváme k porozumění respiračního systému. Zjišťuje se mechanika dýchání pacientů a hodnotí se fyziologie dýchacích cest, jak u dětí, tak u dospělých, kteří mají podezření na respirační onemocnění. V dnešní době je nejčastějším používaným plicním testem metoda spirometrie. U této metody se provádí mechanika dýchacím manévrem, proto je nutné, aby pacient plně spolupracoval. Součástí tohoto vyšetření je maximální usilovný výdech s maximálním nádechem. Spirometrii lze provést i u dětí, ačkoli testování dětí ve věku do 5 let je v celku problematické. Dítě musí být v naprostém klidu a soustředit se pouze na vyšetření. Manévr usilovného nádechu a výdechu se ne vždy vydaří, a proto se u malých dětí a pacientů, kteří by nebyli schopni provést tento manévr může přejít k metodě akustické oscilometrie.

Akustická oscilometrie (dále AOS) je jednoduchá, citlivá a rychlá metoda využívající techniky nucené oscilace (dále FOT). Metoda AOS vyžaduje jen minimální spolupráci pacienta, a proto je vhodná jak pro děti, tak pro dospělé. Vyšetření probíhá v klidu, kdy pacient jednoduše dýchá přes antibakteriální filtr do zařízení, které měří odpor dýchacích cest a tuhost plic. Díky tomu je tato technika dostupná velkému množství pacientů, zejména dětem a seniorům, kteří nejsou schopni provést vyšetření dle přesných pokynů.

Funkční vyšetření plic je souhrn metod, které přinášejí informace o plicní funkci, co se týče velikosti a rychlosti dechových objemů, odporu dýchacích cest nebo šíření či pronikání plynů. Slouží ke stanovení diagnózy, monitorování léčby či stanovení prognózy onemocnění. Jsou indikovány při nejasném stavu dušnosti, přetrvávajícímu či těžkému kašli nebo při rentgenovém nálezů. Využívá se za účelem sledování průběhu onemocnění. Provádí se také jako součást předoperačního vyšetření u pacientů s plicním onemocněním a pro posudkové účely.

1.1 Přehled současného stavu

Funkční vyšetření plic se řadí mezi základní neinvazivní vyšetřovací metody. Pro vyšetřování plicních funkcí existuje několik metod. Kromě akustické oscilometrie či spirometrie jsou tu metody jako je např. bronchodilatační test, který pomocí inhalovaného léku roztahující průdušky zjišťuje, zda pacient trpí astmatem či netrpí [25] nebo metoda bodypletysmografie, která měří nitrohruďní objem plynu a napomáhá stanovovat diagnózu rozedmy plic. [24]

AOS patří mezi novější metody vyšetřování plicních funkcí. Princip této metody je již znám od poloviny roku 1950, ale až rozvoj počítačové techniky uvedl tuto metodu do medicínské praxe. Zásadní rozdíl od konvenčních metod vyšetření plicních funkcí, jako je např. spirometrie spočívá v rychlosti vyšetření a v měření za podmínek klidového dýchání, kde se neprovádí manévr usilovného výdechu. Její velkou výhodou je skutečnost, že při jejím provádění není třeba nějaké zásadní spolupráce s pacientem. Proto mohou být vyšetřovány i malé děti, velmi staří nebo nemocní lidé, kteří nejsou schopní usilovného nádechu či výdechu. [6]

AOS je neinvazivní funkční vyšetření plic. Tato metoda využívá technologii, která je známá pod zkratkou FOT. Jde o techniku nucených oscilací, která charakterizuje respirační soustavu skrz dynamické měření impedance (rezistance a reaktance). FOT je založená na principu jemného akustického vlnění šířící se respiračním systémem na různých frekvencích. Toto vlnění je složené z tlakových oscilací o velmi nízké amplitudě, dokonce tak nízké je vyšetřovaná osoba jej sotva ucítí. Výsledkem AOS jsou hodnoty rezistance a reaktance na frekvencích od 5 do 37 Hz. Tyto dva parametry zachycují patologie respiračního systému. [1]

AOS je většinou používána jako dodatečný test, který je proveden, když není možné uskutečnit vyšetření spirometrie. AOS není tak populární jako spirometrie, ale má také své výhody oproti spirometrii, a navíc nám umožňuje minimalizovat počet chybných diagnóz. [7]

Spirometrie je jedna ze základních funkčních vyšetření plic, které nám popisuje plicní ventilaci. Jak AOS, tak i spirometrie patří mezi neinvazivní metody. V současné době je spirometrie široce používaná technika, která slouží k diagnostice a monitorování průběhu plicního onemocnění. Vyšetření spirometrie je využito ke stanovení funkční rezervy plic při zvažování operačního výkonu nebo pro posouzení efektu nasazené terapie. Výsledkem vyšetření je mnoho parametrů např.: nucená vitální kapacita (*FVC*), což je maximální množství vzduchu, které je pacient schopný co nejrychleji vydechnout. Dalším parametrem může být např. nucený výdechový objem za 1 sekundu (*FEV1*), podle kterého se posuzuje rychlost průtoku vydechnutého vzduchu a slouží jako indikátor onemocnění. [2]

Spirometrie vyžaduje usilovně vydechnuté manévry. Přesnost a reprodukovatelnost spirometrie závisí na úsilí pacienta při provedení dechových manévru. V případě, že spirometrie není správně prováděná, stane se téměř bezvýznamnou, jelikož její výsledky nebudou odpovídat skutečnosti. V posledních letech je toto vyšetření doporučováno experty provádět např. u kuřáků nebo dělníků, kteří jsou na pracovišti vystaveni znečištěnému ovzduší. Předpokladem včasného odhalení chronické obstrukční plicní nemoci (dále CHOPN) a astmatu je vyšetření pomocí spirometrie. [2]

Funkční vyšetření plic je indikováno u nejasných stavů dušnosti, tlaku na hrudi, dlouhotrvajícího kašle nebo zadýchávání při sebemenší námaze či dokonce v klidu.

1.2 Cíle práce

Cílem této práce je porovnání funkčního vyšetření plic pomocí akustické oscilometrie a spirometrie. Dílčí cíle byly: připravit relevantní dokumentaci pro provedení měření. Navrhnout protokol měření pomocí, kterého se zrealizují laboratorní měření oběma metodami na dobrovolnících. Analyzovat v čem se dané metody od sebe liší, zaměřit se na jejich výhody či nevýhody. Statisticky zhodnotit vztah mezi výsledky poskytnutými akustickou oscilometrií a spirometrií.

2 Metody funkčního vyšetření plic

2.1 Akustická oscilometrie

Akustická oscilometrie (dále AOS) je neinvazivní, citlivá a rychlá metoda měření plicních funkcí, která vyžaduje pouze pasivní spolupráci pacienta ve smyslu klidného dýchání. Je založená na základě měření impedance dýchacích cest tzn., že výsledkem měření jsou hodnoty impedance, respektive rezistance a reaktance. AOS je realizována zařízením tremoFlo C-100, které vytváří harmonické akustické vlnění pomocí pohybu síta v zařízení. Vlivem odporu dýchacích cest dochází k posunu a deformaci vysílaných vln. Senzory uvnitř zařízení zaznamenávají tlak a průtok vzduchu v dýchacích cestách. Oscilační akustická vlna, která prošla respiračním systémem je zpětně snímána senzory tlaku, kde je zároveň převedena na elektrické impulzy a následně počítačově zpracována. Software tremoFlo používá zaznamenané hodnoty pro výpočet veličiny známé jako impedance respiračního systému Z_{rs} .

$$\frac{P(f)}{Q(f)} = Z_{rs}(f) = R_{rs}(f) + jX_{rs}(f) \quad (1)$$

Kde P je tlak, Q je průtok a f je oscilační frekvence. Reálná část je označována jako rezistance (R_{rs}), imaginární část je reaktance (X_{rs}) a $j = \sqrt{-1}$. R_{rs} představuje odpor vůči proudění vzduchu v plicích neboli, kolik tlaku je nutné pro průtok vzduchu dýchacími cestami. X_{rs} znázorňuje při nízkých frekvencích tuhost tkání dýchacích cest. [5]

Metoda AOS tedy využívá zvukové vlny pro rychlé zjištění rezistantních změn v dýchacích cestách. Plicní mechaniku určíme tím, že se na klidové dechy pacienta naladí signál vnějšího tlaku. Při analýze tyto tlakové signály určují stupeň obstrukce v centrálních a periferních dýchacích cestách a vyhodnotí hodnoty R_{rs} a X_{rs} na určitých frekvencích. Součástí vyhodnocení je vizuální odchylka od střední hodnoty referenční populace. [4] [5]

AOS je v rámci klasifikace metod funkčního plicního vyšetření zařazována mezi tzv. FOT (forced oscillation technique) – technika vynucené oscilace je obecným názvem pro rychlé neinvazivní vyšetření dýchacích cest. o velikosti přibližně 1-2 cmH₂O, které se šíří trubicí od náustku až do dýchacího traktu. Tato technika vyžaduje pouze minimální úsilí pacienta a poskytuje kompletní přehled o plicní mechanice. Vynucená oscilace vzniká z reproduktoru, který vytváří oscilační tlakové vlny na různých frekvencích. Toto vlnění je měřeno na devíti frekvencích (5, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31 a 37 Hz). Akustické vlnění aplikované do dýchacích cest pacienta je složeno z tlakových oscilací o nízké amplitudě – tak nízké, že je pacient sotva ucítí. [1] Akustické tlakové vlny generované reproduktory se překrývají při normálním dýcháním mezi periferními a centrálními dýchacími cestami, přičemž vyšší frekvence se odrážejí zpátky od periferních cest dýchacích (průdušinek) a

nižší frekvence se šíří hlouběji do centra plic, kde se následně odráží a vrací se zpět do zařízení. Snímač tlaku a průtoku měří inspirační a expirační tlak plic a průtok dýchacích cest. Respirační impedance je součet rezistance a reaktance a je vypočítán z poměru tlaku P ku průtoku Q u každé oscilační frekvence (f). [4] [5].

$$Z_{rs}(f) = \frac{P(f)}{Q(f)} \quad (2)$$

Teoreticky by impedance mohla být vypočítána jako poměr rychlé Fourierovy transformace (FFT) tlaku ku průtoku, kde f je oscilační frekvence, ale v praxi se často počítá jako průměr z opakovaných oken. Kde k je index jednotlivého okna, který typicky trvá 1 s, W je funkce okénkování, která je obvykle nastavena na Hammingovo okno a N je počet oken použitých pro výpočet průměru Z_{rs} . [5]

$$Z_{rs} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{FFT(W(P_k(t)))}{FFT(W(Q_k(t)))} \right) \quad (3)$$

Měření plicní impedance (Z_{rs}) zahrnuje pulmonální rezistanci (energie potřebná k šíření tlakové vlny dýchacími cestami) a reaktanci (velikost zpětného rázu vytvořená proti tlakové vlně). [12]

Akustický oscilometr tremoFlo C-100 od společnosti Thorasys měří impedanci v kmitočtovém rozsahu (5-37 Hz). Reaktance (X_{rs}) a rezistance (R_{rs}) je měřená např. při frekvenci 5 Hz označujeme je jako X_5 a R_5 . Nízko frekvenční oscilace při 5 Hz vedou do centra plic, proto když dojde k obstrukci proximální nebo distální dýchací cesty mohou být zvýšeny R_5 a X_5 . Vysokorychlostní oscilace od 19 do 37 Hz přenášejí signály do periferních dýchacích cest a zároveň o nich poskytují informace. Obstrukce periferních dýchacích cest se tak projeví zvýšením R_{19} . Průchodnost signálů pro určité frekvence je zapříčiněno fyzikálními vlastnosti, a to zejména velikostí a tvarem tkáňového složení lidského hrudníku. To znamená, že rezistance dýchacích cest je nepřímo korelována s věkem. Děti mají obecně vyšší odpor dýchacích cest než dospělí jedinci. Obecně také platí, že výchozí změna v závislosti na frekvenci je nepřímo úměrná věku tzn., že čím je dítě mladší, tím je větší $R_5 - R_{19}$. U dětí jsou referenční hodnoty respiračního systému založeny na výšce ve stoje, která se jeví jako nejsilnější nezávislá proměnná. Většina studií neprokazuje žádný vliv pohlaví a etnicity na respirační indexy měřené AOS. [16] [17]

Rezistance (R_{rs}) je veličina, která určuje centrální a periferní velikost odporu dýchacích cest. Velikost odporu dýchacích cest je zapříčiněná průchodností tlakové vlny vygenerované zařízením. [14] Tlaky oscilují s pevnou frekvencí 5 Hz, ze které jsou odvozené všechny další frekvence. Nízkofrekvenční signály (5–17 Hz) se dostávají do obvodu centra plic, zatímco vysokofrekvenční signály (19–37 Hz) pronikají pouze do

proximálních dýchacích cest. Jestliže je $R5$ vyšší, než $R19$ tak to znamená, že periferní cesty dýchací jsou zúžené. [10]

Reaktance (X_{rs}) – imaginární část impedance je měřítkem tuhosti plic především na nízkých frekvencích. Vyplývá z pohybu vzduchového proudu v dýchacích cestách a ze zpětných elastických vlastností plicní tkáně. Při nízkých frekvencích dochází k pasivnímu rozšiřování plic, tím pádem k malému pružnému zpětnému rázu. Jak se frekvence zvyšuje, množství energie přenášené do plicního systému roste a plíce přecházejí od pasivní roztažení k aktivnímu. Tento jev se dá přirovnat k nafukovacímu balónu, kde malý objem vzduchu zpočátku rozšiřuje balón, aniž by způsobil jakýkoliv odraz. Vyskytuje se však zřetelný bod, ve kterém množství vzduchu v balónku způsobí, že se protáhne a začne vytvářet odpor vůči dalšímu nafukování a tato potenciální energie v materiálu může způsobit odraz. Vysoká negativní reaktance při nízkých frekvencích znamená zvýšenou tuhost plic. [4]

AOS se používá k diagnostice, hodnocení závažnosti onemocnění či vyhodnocení dalších postupů u chronických plicních onemocnění jako je astma, chronická bronchitida nebo plicní emfyzém. [18] [19] Akustická oscilometrie může pomoci lékařům rozlišovat mezi astmatem, chronickou bronchitidou a emfyzémem na základě rozdílů v plicní rezistanci a reaktanci. [31] AOS hodnotí funkci plic a posuzuje reakci na léčbu akutně nemocných dětí s astmatem, kteří nemusí být schopni provádět nucené expirační manévry. [4] AOS může být také použita v epidemiologických podmínkách pro screening astmatických dětí nebo dospělých, kteří jsou vystavováni dráždivosti dýchacích cest např. kouřem nebo prachovými částicemi. [21]

Postup měření AOS je popsán v kapitole 4- (Protokol a vyhodnocení měření).

2.1.1 Kalibrace zařízení tremoFlo

TremoFlo C-100- (THORASYS Thoracic Medical Systems Inc., Kanda) vyžaduje kalibraci každý den před zahájením prvního měření. Součástí balení je kalibrační zátěž, která se nasadí na přenosný díl. Kalibrační zátěž je označena konkrétním kódem, který se před měřením zapíše do systému tremoFlo. Po potvrzení kódu přístroj provede automatickou kalibraci. V pokynech se uvádí, že přesnost musí být v rozmezí 10 % nebo 0,1 cmH₂O.s/l [12], když je tato podmínka schválená softwarem tremoFlo [14] může se přejít na samotné měření.

2.2 Spirometrie

Spirometrie je nejběžnější fyziologický test měřící objem vzduchu plic, který vyšetřovaný nadechuje či vydechuje v závislosti na čase. [22] Jde o neinvazivní vyšetření plicní funkce, které patří k základním diagnostickým vyšetřovacím metodám obdobně jako neinvazivní měření krevního tlaku (SpO_2) či záznam EKG. Při tomto vyšetření se posuzuje vlastní mechanika dýchacím manévrem, při které se vyžaduje aktivní spolupráce od vyšetřované osoby. Spolupráce spočívá v dýchacích manévrech ve formě usilovně rychlých nádechů a výdechů. Spirometrie je založená na principu měření objemového průtoku za čas. Následnou integrací průtokové křivky podle času získáme objemy dýchací soustavy. Průtok měříme pomocí snímače, který se nazývá pneumotachograf. Přístroj Ergostik pomocí, kterého jsem měřil spirometrii využívá k měření objemu plic rychlost otáčení malé turbíny. Turbína je umístěna ve směru proudění vydechaného vzduchu a otáčí se úměrně s rychlostí proudícího vzduchu. Počet otáček turbíny je zaznamenáván řídicím prvkem optické závory. Z počtu otáček turbíny dochází k vypočtení rychlosti proudění. Ze znalosti šířky průřezu pneumotachografu a zaznamenané rychlosti proudění vzduchu získáme průtok v litrech za sekundu podle vzorce 4: [9]

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (4)$$

Kde Q je výsledný průtok, který dostaneme podílem změny objemu ΔV za změnu času Δt . Kde A_1 je plocha průřezu širší části pneumotachografu a A_2 plocha průřezu užší části pneumotachografu. Rychlost v širší části je označena v_1 , rychlost v užší části v_2 . Za pomocí integrace snadno dopočteme výsledný objem v litrech podle vzorce 5. [9]

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q_V dt \quad (5)$$

Pro spirometrická vyšetření používáme speciální diagnostický přístroj spirometr. Klidovou spirometrii jsem měřil spirometrem Ergostik od společnosti Geratherm Respiratory GmbH. Výsledkem vyšetření je široké spektrum parametrů, které jsou uvedené v tabulce 2.1:

Tabulka 2.1 Parametry naměřené spirometrií [8]

Parametr	Jednotka	Význam	Vysvětlení
IVC	l	nadechovaná vitální kapacita	objem nadechnutého vzduchu po maximálním výdechu
FVC	l	usilovná vitální kapacita	maximální objem vzduchu, který je možné po max. nádechu prudce vydechnout
FEV1	l	usilovně vydechnutý objem za 1 sekundu	objem vzduchu vydechnutý s nejvyšším úsilím za 1 sekundu po maximálním nádechu
FEV1/FVC	%	Tiffeneau-Pinelli index	procento usilovné vitální kapacity plic, které můžete vydechnout za sekundu
FEV1/VC	%	Tiffeneauův index	procento vitální kapacity plic, které můžete vydechnout za sekundu
PEF	l/s	vrcholový výdechový průtok	nejvyšší rychlost na vrcholu usilovného výdechu
MEF75	l/s	maximální výdechový průtok na úrovni 75 % vydechnuté FVC	maximální výdechové průtoky (rychlosti) na úrovni 75 %, FVC, který je ještě třeba vydechnout
MEF50	l/s	maximální výdechový průtok na úrovni 50 % vydechnuté FVC	maximální výdechové průtoky (rychlosti) na úrovni 50 % FVC, který je ještě třeba vydechnout
MEF25	l/s	maximální výdechový průtok na úrovni 25 % vydechnuté FVC	maximální výdechové průtoky (rychlosti) na úrovni 25 % FVC, který je ještě třeba vydechnout

Naměřené parametry se dělí na statické a dynamické. Statické parametry nás upozorňují na restriční onemocnění a patří mezi ně např.: *VC*, *IVC*. Dynamické veličiny nás informují o obstrukčních poruchách a řadíme sem: *FEV1*, *FVC*, *PEF*, *MEF* (25-75).

V klinické praxi se často vyhodnocují hodnoty *FVC* a *FEV1* samostatně a poté určí Tiffeneauův index, respektive poměr *FEV1/FVC*, který slouží k odlišení obstrukčního a restričního onemocnění plic. U obstrukční nemoci je poměr *FEV1* ku *FVC* snížen pod 80 % u restriční nemoci se poměr nemění. [8] Respektive čím vyšší je procentuální podíl

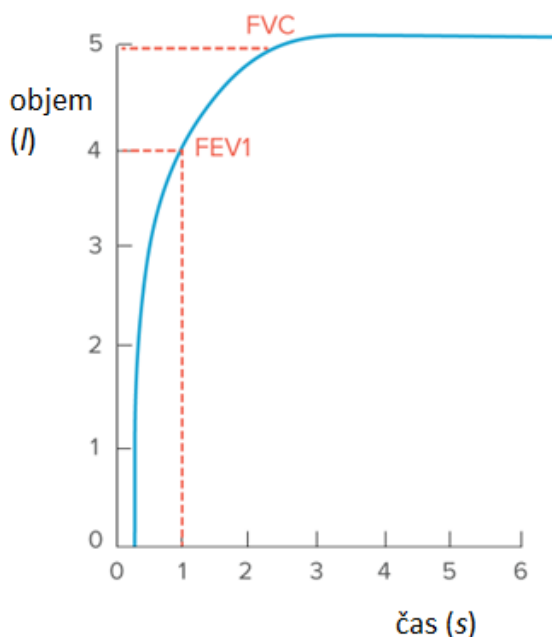
odvozený z vašeho poměru $FEV1/FVC$ tím jsou vaše plíce zdravější. Nízký poměr $FEV1/FVC$ naznačuje zhoršený průtok dýchacích cest. [23]

Dalším důležitou informací nám poskytuje usilovně vydechnutý objem za 1 sekundu ($FEV1$), který nás upozorňuje na podezření obstrukční plicní nemoci jako je např. astma, u kterého je zvýšený odpor dýchacích cest a snížená hodnota usilovně vydechnutého objemu (pod 80 %) při normální hodnotě FVC . [8] Tzn. čím menší hodnota $FEV1$, tím větší riziko onemocnění CHOPN. Procentuální závislost $FEV1$ je uvedena v tabulce 2.2.

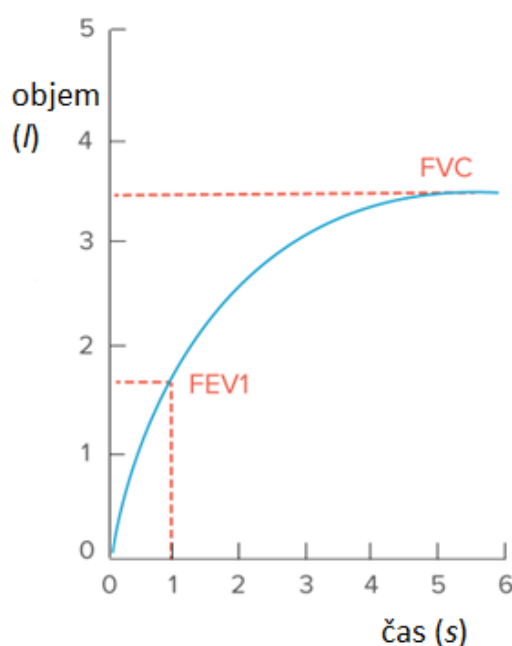
Tabulka 2.2: Předpokládané hodnoty $FEV1$ v (%) [23]

Procento předpokládané hodnoty $FEV1$	Výsledek
80 % nebo více	normální
70–79 %	mírně normální
60–69 %	mírně anormální
50–59 %	mírné až těžce anormální
35–49 %	těžce anormální
méně než 35 %	velmi těžce anormální

Spirometrický graf na obrázcích 2.1 a 2.2 zobrazuje vydechnutý objem proudu vzduchu v závislosti na čase. Jestliže jsou plíce zdravé poměr $FEV1$ a FVC musí být nad 80 % viz obrázek 2.1. V případě nějakého problému v dýchacích cestách může spirometrický graf vypadat např. jako na obrázku 2.2. [23]



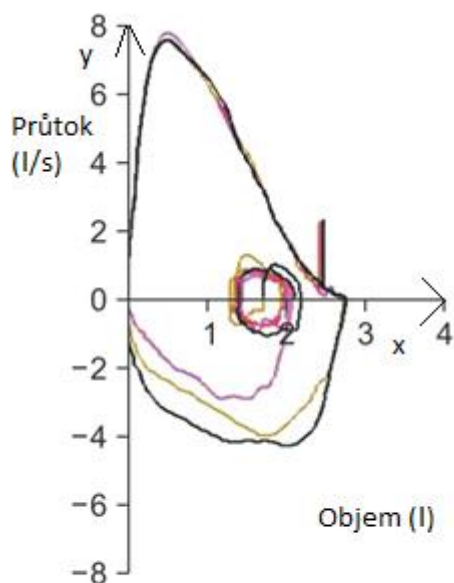
Obrázek 2.1: Znázornění poměru $FEV1$ a FVC zdravého jedince [23] - upraveno



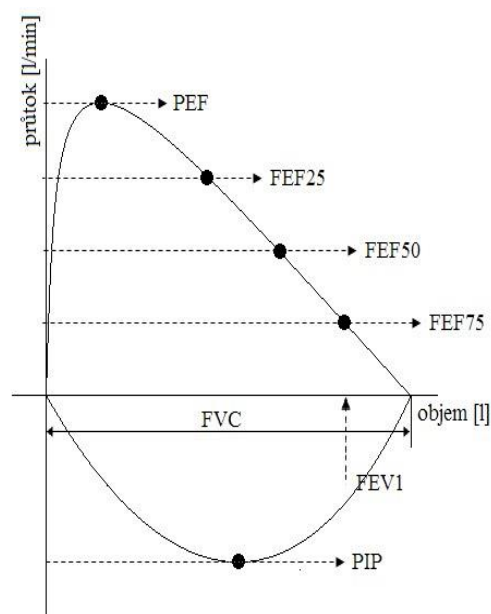
Obrázek 2.2: Znázornění poměru $FEV1$ a FVC s defektem respiračního systému- [23] - upraveno

U veličiny *PEF* dochází u astmatických jedinců k velkému kolísání hodnot, pomocí kterých se sleduje akutní stav astmatických záchvatů.

Tyto parametry spirometrie se vyhodnocují ze záznamu, který se nazývá spirogram. Kvalitu ventilačního procesu posuzujeme podle spiogramu a podle plicních funkčních ukazatelů (tj. parametry plicních objemů a průtoků). [3] Tento záznam je znázorněn grafem křivky průtokového objemu na obrázku 2.3, na kterém je viditelná závislost objemu (osa *x*) na průtoku (osa *y*). [22] Na obrázku 2.4 jsou do grafu průtokového objemu vypsány dynamické plicní parametry z tabulky 2.1.



Obrázek 2.3: Graf křivky průtokového objemu [22] - upraveno



Obrázek 2.4: Graf objem/průtok se znázorněním dynamických plicních parametrů [28]

Metoda spirometrie je velmi uznávaná v klinické praxi jako cenný nástroj pro diagnostiku a léčbu CHOPN a dalších poruch, které mohou mít vliv na respirační systém. Spirometrie pomáhá stanovit diagnózu rozlišováním mezi obstruktivními plicními onemocněními jako je astma nebo CHOPN a restriktivní plicní onemocnění jako je např. plicní fibróza. [22] Spirometrie se používá k předoperačnímu vyšetření a predikci respiračních komplikací.

Pacienti by neměli nejméně hodinu před vyšetřením spirometrie jíst, kouřit a také by se měli vyhnout pití alkoholu nebo užívání jiných omamných látek. Absolutní kontraindikace spirometrie mají pacienti s nedávnou operací očí, otevřeného srdce, mrtvice, zástavy srdce, infarktu myokardu, pneumotoraxu, aneuryzma aorty během 3 měsíců. Další kontraindikace mají pacienti s hyperventilací, u kterých je problém s maximálním ventilačním účinkem nebo pacienti s aktuální infekcí dýchacích cest jako

je např. tuberkulóza. Relativní kontraindikaci mohou mít pacienti s bolestmi na hrudi či na břiše, nebo ti pacienti kteří pociťují bolest v ústech při kousání. [22]

Postup měření spirometrie je popsán v kapitole 4- (Protokol a vyhodnocení měření).

2.2.1 Kalibrace zařízení Ergostik

Spirometr – Ergostik- (Geratherm Respiratory GmbH, Německo) se kalibruje pomocí kalibrační pumpy. Dle doporučeného postupu se kalibrace zařízení provádí každý den před začátkem měření. Na silikonový konec pumpy se připojí průtokový senzor spirometru a prostřednictvím příslušného softwaru Blue Cherry spustíme test ke kalibraci. Pomalými tahy se snažíme zkalibrovat zařízení. Po dokončení testu nám systém vyhodnotí, zda kalibrace byla úspěšná či ne. Pokud se kalibrace nezdařila je nutné test opakovat.

2.3 Rozdíly a výhody/nevýhody metod AOS a spirometrie

Zásadní rozdíly mezi AOS a spirometrií jsou v principu funkce, naměřených parametrech a způsobu měření. AOS je založená na principu techniky nucené oscilace (FOT). Přístroj vytváří pomocí pohybu síta jemné akustické vlnění na devíti frekvencích od 5 do 37 Hz. Akustické vlnění, které prochází dýchacími cestami je generované z tlakových oscilací, které jsou tak nízké, že je pacient není schopný vnímat. Zařízení tremoFlo C-100 obsahuje senzory, které zaznamenávají tlak a průtok vzduchu v průběhu měření. FOT charakterizuje respirační systém skrze dynamické měření rezistance a reaktance v jednotkách ($\text{cmH}_2\text{O.s/l}$). Tzn. že výsledky AOS jsou hodnoty impedance respiračního systému. Spirometrie funguje na principu zaznamenávání rychlosti průtoku vzduchu pomocí průtokové křivky. Integrovaním průtokové křivky se vypočítají objemy. Výsledkem spirometrického měření jsou tedy objemy v (l) a průtoky v (l/s).

Dalším zásadním rozdílem je způsob měření. AOS díky principu FOT nevyžaduje od pacienta nucené manévry jako je tomu u měření spirometrie, ale po celou dobu vyšetření pacient klidně dýchá do zařízení. Tento způsob měření je velikou výhodou pro testování funkčního vyšetření plic malých dětí, velmi starých osob nebo pacientů, kteří by už nebyli schopní provést tradiční spirometrii. U metody spirometrie je nutná spolupráce pacienta, jelikož vyšetření vyžaduje nucené manévry v podobě maximálních rychlých nádechů a výdechů. Další výhodou AOS může být možnost rychlé přepravy či doba vyšetření. TremoFlo C-100 je malé, skladné zařízení, které lze snadno přenést, jelikož jeho hmotnost je 1,6 kg. To nám umožňuje např. posouzení různých respiračních komplikací u kriticky nemocných pacientů. Průběh vyšetření trvá cca 16 sekund. Předností spirometrie je široké spektrum zaznamenaných parametrů, ze kterých se určuje diagnóza respiračního onemocnění.

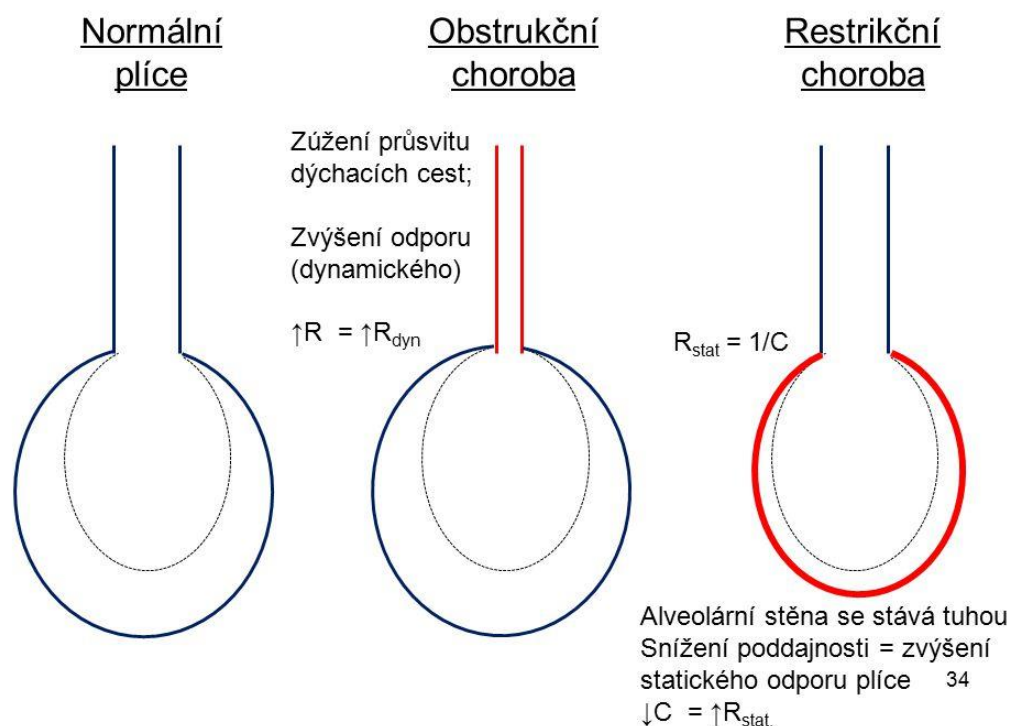
2.4 Grafické porovnání a referenční výsledky AOS a spirometrie

Na obrázku 2.6 jsou zobrazeny reprezentativní grafy AOS a spirometrie zdravých osob a nemocných pacientů trpících obstrukčním a restričním onemocněním plic. Obstrukční onemocnění, jako je astma a chronická bronchitida vedou ke zvýšení dynamického odporu (vysoká hodnota $R5-R19$), jelikož vlna tlakového signálu šířící se obvodem respiračního systému se setkává se zúžením dýchacích cest. [32] U obstrukčních plicních chorob dochází k výraznému snížení $FEV1$.

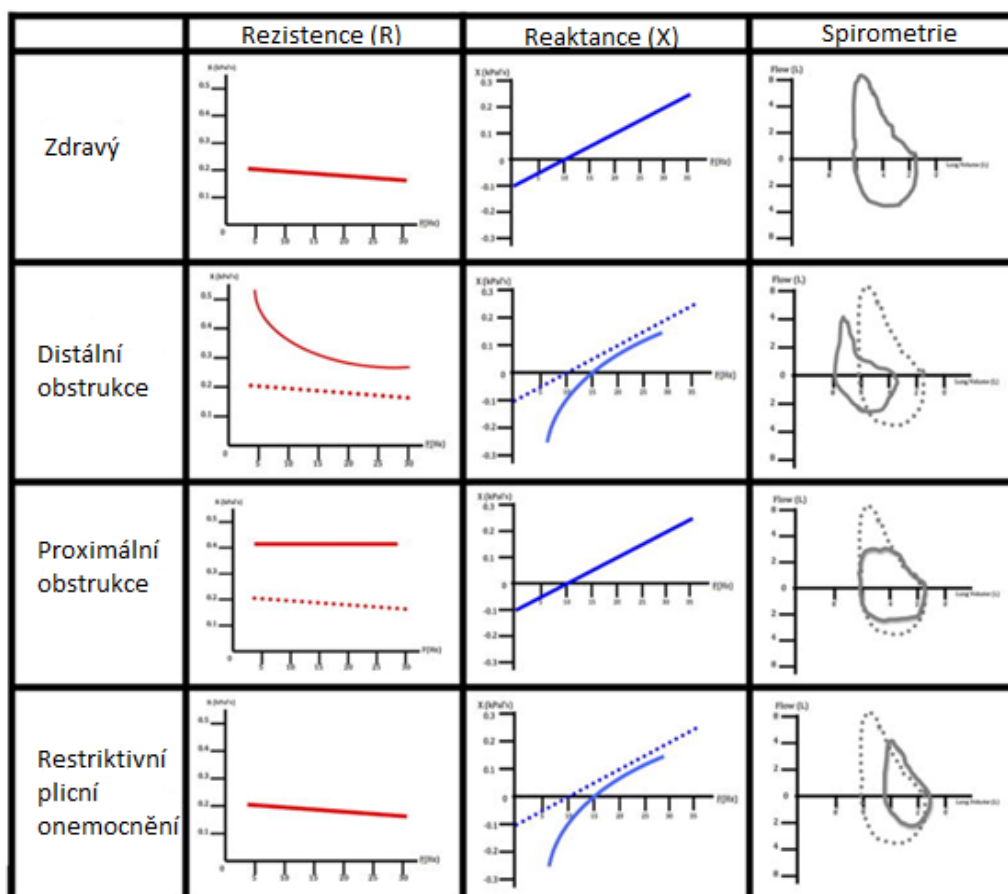
U restričního onemocnění dochází k omezení rozpínání plic (klesá plicní poddajnost) a zároveň k redukci funkčního parenchymu plic, který má za následek sníženou vitální kapacitu plic (VC) a $FEV1$ klesá proporcionálně. Snížením poddajnosti dochází ke zvýšení statického odporu plic. [11]

Plicní onemocnění budou mít za následek zvýšení reaktance při nízkých frekvencích, jelikož dochází k tuhnutí plicní tkáně, tím pádem se zvýší elastický zpětný ráz a zároveň schopnost plic odrazit zpětný signál. [4] V tabulce 2.3 jsou uvedeny referenční hodnoty z vyšetření spirometrie a AOS rozdělené do tří sloupců na zdravé(normální), astma a CHOPN.

Na obrázku 2.5 je znázorněn rozdíl mezi normálními plicemi a plicemi trpící obstrukční a restriční chorobou.



Obrázek 2.5 Porovnání normálních plic s obstrukční a restriční chorobou [11]



Obrázek 2.6: Reprezentativní grafy AOS a spirometrie u pacientů s normální, obstrukční a restriktivní plicní chorobou. Trasování plicního odporu a reaktance v porovnání se spirometrickým průtokovým objemem pro pacienty s normální funkcí plic, distální obstrukcí, proximální obstrukcí a restriktivním plicním onemocněním. Čerchované čáry označují normální sledování, zatímco souvislé čáry ukazují patologické výsledky. [32] - upraveno

Tabulka 2.3: Referenční výsledky (normální, astma, CHOPN) AOS + spirometrie [29]

	Normální	Astma	CHOPN	hodnota p
Počet n	20	22	18	
Muži	8	8	12	
Ženy	12	14	6	
Věk	32 ± 10	59 ± 17	66 ± 9	<0,001
Výška (cm)	169 ± 11	164 ± 10	170 ± 6	0,1
Váha (kg)	71 ± 15	76 ± 18	73 ± 14	0,6
Spirometrie				
FEV1	4,3 (4,9-3,7)	(2,9) 3,9-1,9	2,6 (3,7-1,5)	
FEV (1 %)	100 ± 14	67 ± 24	61 ± 25	<0,001
FVC (%)	100 ± 15	87 ± 19	96 ± 23	0,08
FEV 1 / FVC (%)	84 ± 6	61 ± 14	47 ± 11	<0,001
AOS				
R při 5 Hz (cmH ₂ O.s/l)	2,6 (2,3-3,5)	5.2 (4.2-6.9)	4,7 (4,0-6,8)	<0,001
R při 5 Hz (%)	100 (83-125)	170 (128-196)	194 (151-253)	<0,001
X při 5 Hz (cmH ₂ O.s/l)	-1,1 (-1,2-0,8)	-2,3 (-5,0-1,6)	-3,3 (-6,0-1,6)	<0,001
X při 5 Hz (%)	115 (78-135)	185 (133-307)	320 (144-530)	<0,001

3 Patologie dýchací soustavy

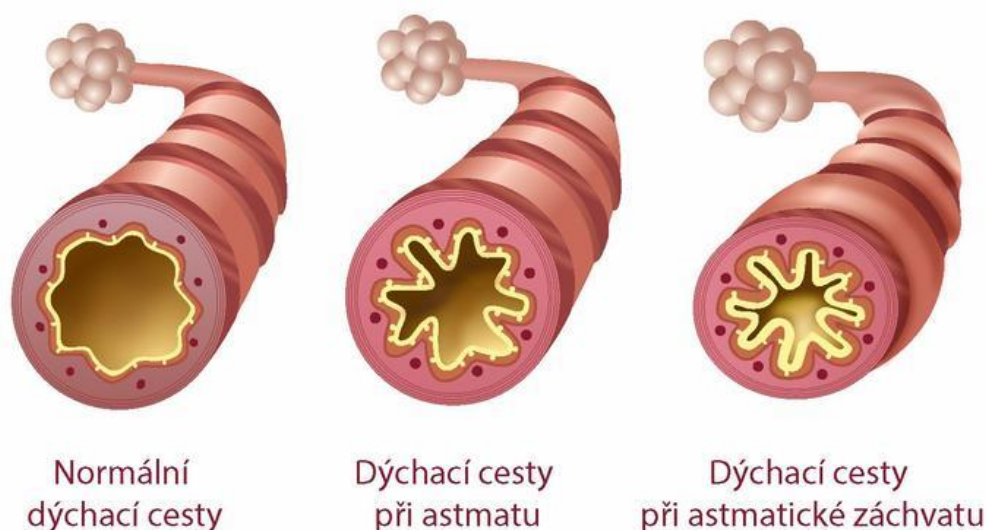
3.1 Astma

Astma je chronické onemocnění dýchacích cest, které se často vyskytuje u dětí, ale může se projevit i v dospělosti. Toto onemocnění je charakteristické dočasným omezením průtoku vzduchu průduškami či křečemi svalstva u průdušek. Častými příznaky astmatu jsou kašel, sípání, dušnost nebo pocit svírání na hrudi většinou časně zrána nebo v noci.

Astma se řadí mezi zánětlivé onemocnění dýchacích cest, které má za následek zvýšené stažení okolního hladkého svalstva. Zúžování dýchacích cest má za následek stavy dušnosti, kašle či sípání. Zúžování hladkého svalstva je možno léčit pomocí krátkodobé inhalace kortikosteroidů. Inhalace kortikosteroidů se týká zejména osob, které mají mírné přetrvávající astma, tj. cca dva až tři záchvaty za týden. U těch pacientů, kteří trpí denními záchvaty se doporučují vyšší dávky inhalovaných či orálně podávaných kortikosteroidů. U neléčeného astmatu může chronický zánět způsobit zablokování plic, jelikož se změní i tvar dýchacích cest.

Pro diagnózu astmatu využíváme spirometrického vyšetření, které hodnotí usilovně vydechnutý objem za první sekundu (*FEV1*). Toto vyšetření se provádí u dospělých a spolupracujících dětí od věku 4-5 let. U dětí, kteří jsou mladší 4 let je možné využít metody akustické oscilometrie, která není náročná na provedení. U pacientů s podezřením na astma či jiným respiračním onemocněním se doporučuje provádět spirometrii každý rok, aby byl vývoj astmatu pacienta stále pod kontrolou. [26]

Na obrázku 3.1 jsou zobrazeny stavy dýchacích cest v normálu, při astmatu a astmatickém záchvatu.



Obrázek 3.1: Stavy dýchacích cest v normálu, při astmatu či astmatickém záchvatu [34]

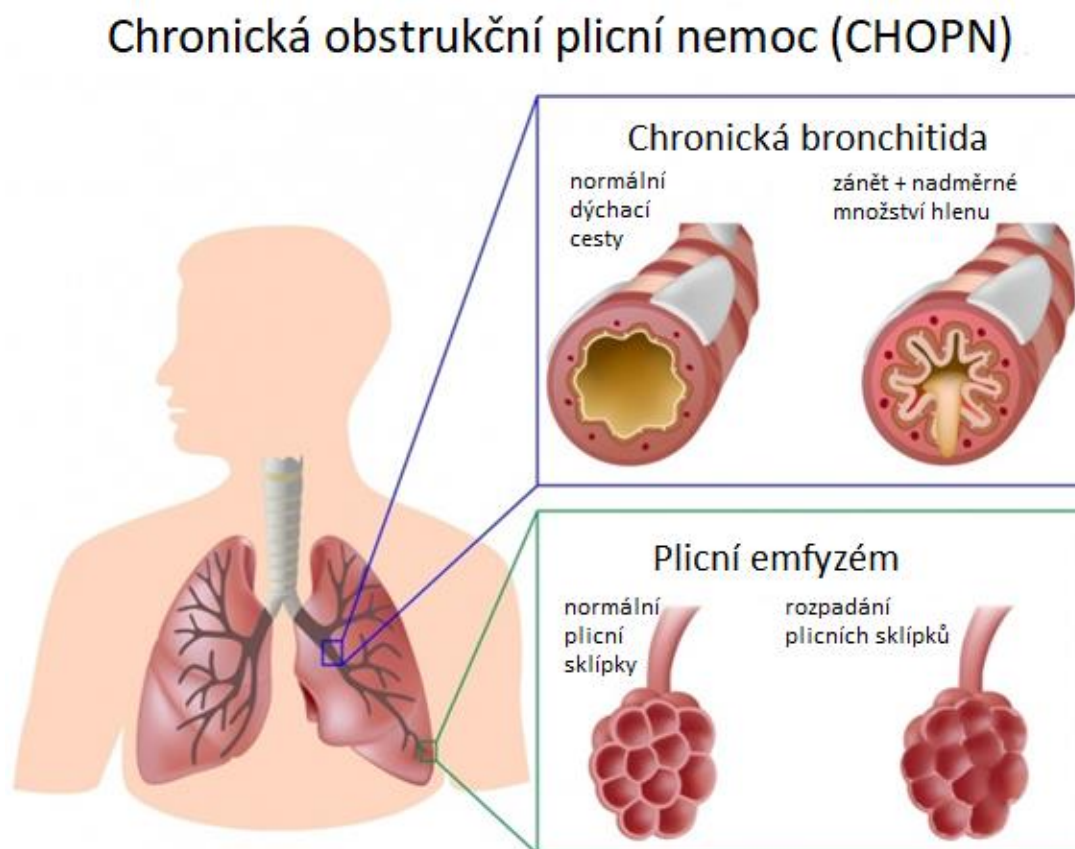
3.2 Chronická obstrukční plicní nemoc (CHOPN)

CHOPN je třída onemocnění plic, u které se zužují dýchací cesty, tak že dochází k jejich blokování a komplikaci s dýcháním. Do třídy CHOPN spadá např. emfyzém či chronická bronchitida.

Plicní emfyzém (rozedma plic) je definovaná jako nevratná destrukce s úbytkem plicní tkáně. Po poškození plicních sklípků dochází k jejich pospojování a následkem tohoto ubývá plocha, kde dochází k výměně plynů, respektive k dýchání.

Bronchitida (zánět plic) jedná se o zánět výstelky průdušinek odkud proudí vzduch od a zpátky do plic. Způsobuje dlouhodobé podráždění průdušek, u kterého jedinec trpí ustavičným kašlem, jelikož jeho plíce produkují nadměrné množství hlenu, který ucpává zúžené průdušinky. Toto onemocnění může mít za následek projevy chronické obstrukční plicní nemoci, která způsobuje deficity v dýchání. Problémem je, že škody způsobené na plicích jsou bohužel nevratné. Pouze léčba zaměřená na plicní tkáň může pacientovi ulevit a minimalizovat budoucí poškození. [31]

Na obrázku 3.2 jsou znázorněny dýchací cesty s chronickou bronchitidou a plíce, které jsou postiženy plicním emfyzémem.



Obrázek 3.2: Znázornění plic s CHOPN (Chronická bronchitida, plicní emfyzém) [33]-(upraveno)

4 Protokol a vyhodnocení měření

Funkční vyšetření plic jsem uskutečnil prostřednictvím dvou zmíněných metod AOS a spirometrie představených v kapitole 2. Měření AOS jsem provedl prostřednictvím zařízení tremoFlo C-100 (THORASYS Thoracic Medical Systems Inc., Kanda). Měření spirometrie jsem uskutečnil pomocí aparátu Ergostik (Geratherm Respiratory GmbH, Německo). Oba uvedené přístroje využívají diagnostických softwarů. Jednotka tremoFlo C-100 komunikuje s přístrojem skrz software tremoFlo, který je nainstalovaný na standartním notebooku. Ergostik je napojený na diagnostický software BlueCherry nainstalovaný na běžném PC.

K provedení měření jsem vypracoval protokol měření (viz příloha A: Protokol měření), který popisuje bod po bodu postup měření. K vytvoření protokolu měření jsem vycházel z příruček přístrojů (tremoFlo C-100 a Ergostik) a řídil se doporučeným postupem. Délka trvání jednoho měření AOS je 16 sekund u spirometrie je tomu přibližně dva krát více (30 sekund). Každé měření se provádí celkem 3krát až 4krát, aby mohlo dojít k vypočtení aritmetického průměru z naměřených parametrů, následnému srovnání s referenční hodnotou a vyhodnocení celého měření. Celková doba obou vyšetření je v rámci 30 minut.

Laboratorní měření jsem zrealizoval celkem s 20 probandy, které jsem rozdělil do dvou skupin po deseti jedincích. První skupinu tvoří zdraví jedinci a druhou astmatici. Experiment na dobrovolnících byl schválen etickou komisí FBMI.

Před příchodem probanda jsem si zapnul obě zařízení (tremoFlo, Ergostik) včetně PC a notebooku. Spustil jsem příslušný software (tremoFlo, BlueCherry) a oba měřicí aparáty jsem zkalibroval. U metody AOS jsem provedl kalibraci přístroje pomocí kalibrační zátěže, která se před měřením zapíše do systému tremoFlo, poté přístroj sám provede kalibraci (viz podkapitola 2.1.1 Kalibrace zařízení tremoFlo). Kalibrace spirometru se liší od metody AOS tím, že už jí přístroj neprovede sám, ale kalibrace se musí provést osobně pomocí kalibrační pumpy (viz. Podkapitola 2.2.1 Kalibrace zařízení Ergostik).

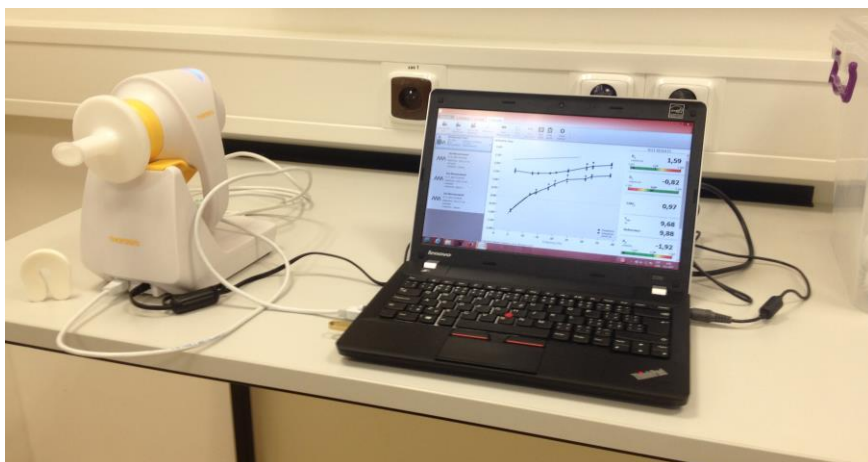
Měření začíná tím, že si proband přečte informovaný souhlas (viz příloha B: Informovaný souhlas), který obsahuje informace o experimentu a podmínky, které musí proband splňovat. Jednou z podmínek je, že proband musí být před měřením, alespoň 1 hodinu po jídle a fyzické zátěži. Další podmínky se týkají zdravotního stavu probanda. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, proband se nemůže zúčastnit dobrovolného měření. Poté jsem s probandem vyplnil kartu probanda (viz příloha C: Karta probanda), ve které jsem si zaznamenal obecné údaje (jméno, příjmení, pohlaví, věk atd.). Vytvořil jsem specifické ID probanda pomocí, kterého zjistím totožnost. Po vyplnění těchto dokumentů jsem probanda před měřením změřil a zvážil.

Poté jsem si na PC (notebooku) vytvořil složku nového pacienta do, které jsem vyplnil obecné údaje včetně výšky, váhy a historie kouření, aby měl software všechna potřebná data k vyhodnocení korektních výsledků pro měřenou osobu. Před samotným měřením jsem probanda seznámil s průběhem měření. Dále jsem mu vysvětlil, jak bude měření probíhat a posadil ho do správné polohy v sedě s neutrální pozicí hlavy. Proband by neměl být omezován těsným oblečením jako je např. pásek, z důvodu umožnění maximálního nádechu a výdechu.

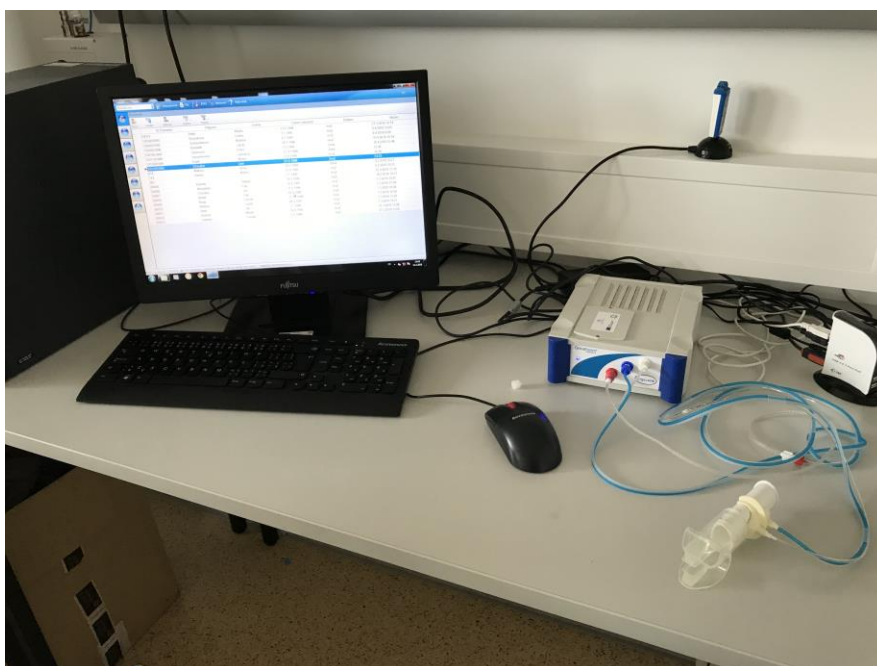
Měření začíná metodou AOS, která nevyžaduje nucené manévry tzn., že pacient pouze klidně dýchá prostřednictvím antibakteriálního jednorázového filtru, který je nasazený na přenosný díl tremoFlo C-100. Proband má na nose nasazený nosní klip a rukama si přidržuje tvář. Probandovi jsem osobně přidržel sondu s antibakteriálním filtrem, který měl během měření v ústech. Důležité je utěsnění rtů kolem filtru, aby nedocházelo ke špatnému proudění vzduchu. Tyto aspekty jsou velmi důležité, aby výsledky vyšetření byly korektní. Na monitoru jsem zkontroloval průběh dýchání a spustil měření. Proband po dobu 16 sekund normálně dýchá do antibakteriálního filtru. Po ukončení měření se uloží naměřená data proběhne krátká pauza a tento proces se opakuje nejméně třikrát. Po ukončení celého měření jsem si zaznamenal data a uložil výsledky na flash disk.

Po měření AOS následuje spirometrické měření, které vyžaduje nutnou spolupráci pacienta z důvodu nucených manévru. Postup měření spirometrie je podobný jako u AOS. Proband sedí ve vzpřímené poloze na nose má nasazený nosní klip, aby nedocházelo k úniku vzduchu nosem. V ústech má umístěný silikonový náustek napojený na snímač průtoku vzduchu. Tyto dvě části spirometru se po každém měření řádně vydezinfikují, aby došlo k ochraně zdravotního stavu dalšího probanda na následujícím měření (viz. Příloha D: Postup pro dezinfekci). Probandovi jsem vysvětlil, jak měření probíhá a zároveň jsem ho po celou dobu měření instruoval, co má dělat. Měření začíná klidovým dýcháním, na které následuje maximální výdech, po kterém navazuje maximální nádech, načež přichází maximální rychlých výdech s maximálním rychlým nádechem. Při těchto nucených manévrech je proband vyzýván k maximálním výkonům. Končí se klidovým dýcháním s uložením výsledků. Tento postup se opakuje celkem třikrát až pětkrát. Mezi jednotlivými měřeními je vložena přestávka, alespoň 3 minuty na vydýchání. Po ukončení veškerého měření jsou výsledky zaznamenány a uloženy na flash disk. Použité přístroje jsem po každém měření očistil, vydezinfikoval silikonový náustek včetně senzoru průtoku a uložil zařízení na příslušná místa. Nakonec jsem uvedl pracoviště do původního stavu.

Na obrázku 4.1 je soustava pro měření AOS, kterou tvoří tremoFlo C-100 s antibakteriálním filtrem a notebook s diagnostickým softwarem tremoFlo. Na obrázku 4.2 systém pro měření spirometrie, kterou představuje zařízení Ergostik-Geratherm Respiratory GmbH spolu s PC, na kterém je nainstalován diagnostický software Blue Cherry.



Obrázek 4.1: Soustava pro měření AOS – tremoFlo C-100 s antibakteriálním filtrem + notebook s diagnostickým softwarem tremoFlo



Obrázek 4.2: Soustava pro měření spirometrie – aparátu Ergostik-Geratherm Respiratory GmbH + PC s diagnostickým softwarem Blue Cherry

5 Výsledky laboratorního měření

Laboratorního měření se zúčastnilo celkem 20 dobrovolníků, které jsem rozdělil do dvou skupin. Na skupinu 10 zdravých jedinců a 10 astmatiků. Průměrné antropometrické charakteristiky obou skupin jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1: Průměrné antropometrické charakteristiky dobrovolníků

<i>Počet probandů</i>	20
<i>Muži</i>	11
<i>Ženy</i>	9
<i>Věk</i>	21,9
<i>Výška (cm)</i>	177,1
<i>Váha (kg)</i>	78,2
<i>BMI (kg/m²)</i>	24,9

Vyšetření AOS a spirometrie jsem provedl s každým probandem celkem 3krát až 4krát. Z těchto naměřených hodnot jsem vypočetl průměrné hodnoty jednotlivých parametrů. Každému probandovi jsem přiřadil ID číslo, aby došlo k zachování jeho anonymity. Průměrné hodnoty parametrů z AOS měření zdravých jedinců jsem zaznamenal do tabulky 5.2 a průměrné hodnoty parametrů z AOS měření astmatiků jsem zanesl do tabulky 5.3. Rezistance a reaktance vychází v jednotkách (cmH₂O.s/l), kdežto hodnoty naměřené spirometrií v (l či l/s).

Tabulka 5.2: Průměrné hodnoty parametrů z AOS měření skupiny zdravých jedinců

<i>Zdraví jedinci</i>		
<i>ID probanda</i>	<i>R5 (cmH₂O.s/l)</i>	<i>X5 (cmH₂O.s/l)</i>
1024101995	1,88	-0,73
1025101995	2,37	-1,13
1015071996	2,69	-0,91
1024051996	2,31	-0,87
1017071996	1,59	-0,82
1016031996	2,01	-0,62
1031081996	2,39	-0,60
1028031996	2,33	-0,53
1004011996	2,01	-0,67
1001081995	1,62	-0,80

Tabulka 5.3: Průměrné hodnoty parametrů z AOS měření skupiny astmatiků

<i>Astmatici</i>		
<i>ID probanda</i>	<i>R5 (cmH₂O.s/l)</i>	<i>X5 (cmH₂O.s/l)</i>
1023011996	3,01	-1,46
1028081995	3,04	-0,96
1012061996	3,47	-1,23
1019021998	4,70	-1,80
1004031993	2,99	-1,15
1003031995	3,83	-1,21
1007051994	2,86	-1,31
1007051989	2,97	-0,75
1008081995	3,84	-1,04
1002091998	4,31	-1,67

V tabulce 5.4 jsou uvedeny průměrné hodnoty parametrů ze spirometrického měření skupiny zdravých jedinců.

Tabulka 5.4: Průměrné hodnoty parametrů ze spirometrického měření skupiny zdravých jedinců

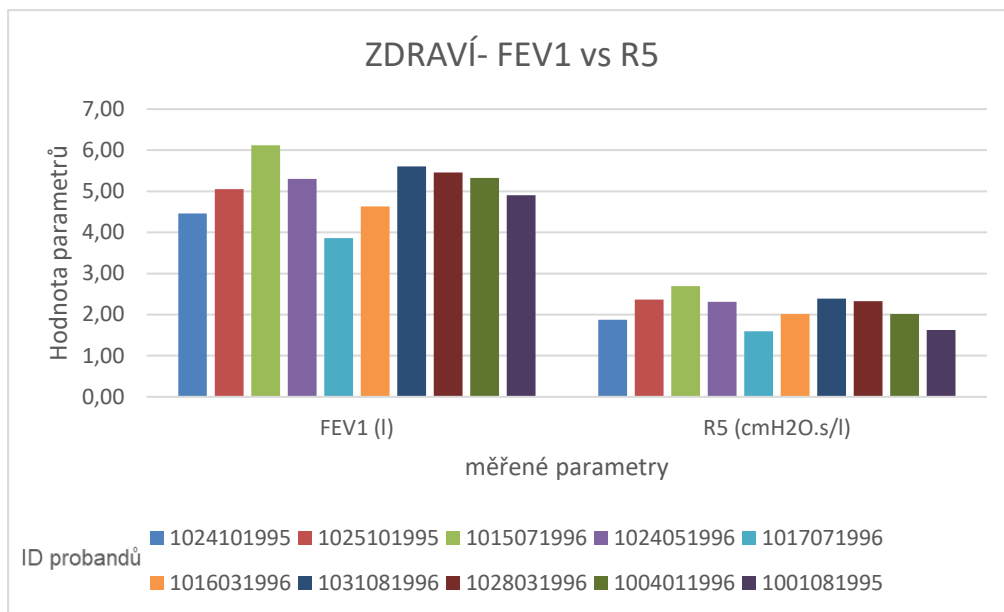
<i>Zdraví jedinci</i>									
<i>ID probanda</i>	<i>IVC (l)</i>	<i>FVC (l)</i>	<i>FEV1 (l)</i>	<i>FEV1/FVC (%)</i>	<i>FEV1/VC (%)</i>	<i>PEF (l/s)</i>	<i>MEF75 (l/s)</i>	<i>MEF50 (l/s)</i>	<i>MEF25 (l/s)</i>
1024101995	5,09	5,52	4,46	80,66	80,00	11,66	9,37	6,01	1,89
1025101995	5,68	6,29	5,05	80,13	76,25	11,49	10,03	5,19	2,17
1015071996	6,96	7,32	6,12	83,67	81,83	9,67	8,89	6,59	3,54
1024051996	5,24	5,81	5,30	91,17	89,17	10,67	9,90	7,92	3,74
1017071996	5,16	5,15	3,86	74,75	71,75	4,18	3,19	4,14	3,14
1016031996	5,61	5,76	4,63	80,00	78,00	9,98	8,48	4,32	2,79
1031081996	5,78	6,50	5,60	86,40	82,40	9,70	9,21	6,62	3,22
1028031996	5,91	6,70	5,46	81,75	81,00	11,58	10,16	7,16	2,36
1004011996	5,95	5,78	5,32	92,25	88,50	9,21	8,82	7,20	4,16
1001081995	5,38	5,92	4,91	83,00	80,00	12,35	8,25	4,99	2,50

V tabulce 5.5 jsou uvedené průměrné hodnoty spirometrického vyšetření astmatiků.

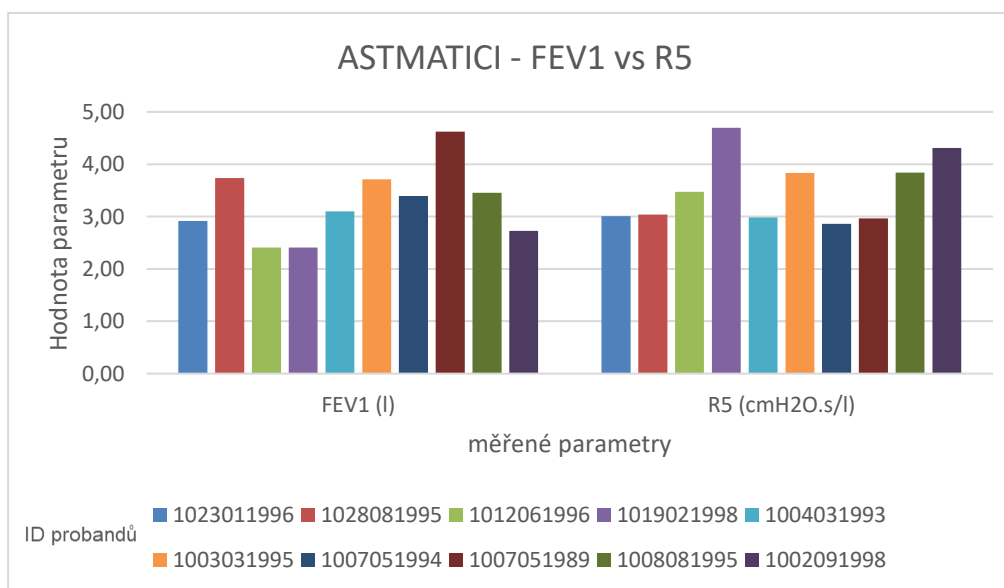
Tabulka 5.5: Průměrné hodnoty parametrů ze spirometrického měření skupiny astmatiků

<i>Astmatici</i>									
<i>ID probanda</i>	<i>IVC (l)</i>	<i>FVC (l)</i>	<i>FEV1 (l)</i>	<i>FEV1/FVC (%)</i>	<i>FEV1/VC (%)</i>	<i>PEF (l/s)</i>	<i>MEF75 (l/s)</i>	<i>MEF50 (l/s)</i>	<i>MEF25 (l/s)</i>
1023011996	4,35	3,75	2,92	77,83	64,00	4,23	4,12	2,95	1,47
1028081995	4,13	4,34	3,73	86,00	82,67	5,58	5,45	4,15	2,51
1012061996	3,49	3,11	2,41	77,20	62,80	2,75	2,35	2,07	1,86
1019021998	3,42	3,63	2,41	66,33	65,00	3,38	3,36	2,02	0,87
1004031993	3,01	3,54	3,10	87,80	83,20	8,12	7,09	4,80	1,78
1003031995	4,04	4,50	3,71	81,25	79,25	7,11	6,97	5,21	1,94
1007051994	3,57	4,00	3,39	84,80	82,40	4,91	4,48	3,76	2,07
1007051989	5,23	5,93	4,63	77,75	77,20	9,02	7,87	5,54	1,53
1008081995	3,99	4,28	3,45	80,66	79,33	6,14	5,61	3,67	1,64
1002091998	3,74	4,01	2,73	68,00	67,00	3,55	3,42	2,49	1,03

Z naměřených parametrů u AOS jsem se zaměřil na parametr *R5* tzn. odpor dýchacích cest a u metody spirometrie na parametr *FEV1* tzn. usilovně vydechnutý objem za 1 sekundu. Průměrné hodnoty parametrů *FEV1* a *R5* jsem zobrazil v grafické podobě. Pro skupinu zdravých jedinců jsou průměrné hodnoty parametrů *FEV1* a *R5* zasazeny do grafu 5.1 a pro skupinu astmatiků jsou průměrné hodnoty parametrů *FEV1* a *R5* zobrazeny do grafu 5.2.



Graf 5.1: Průměrné hodnoty parametrů FEV1 a R5 skupiny zdravých jedinců

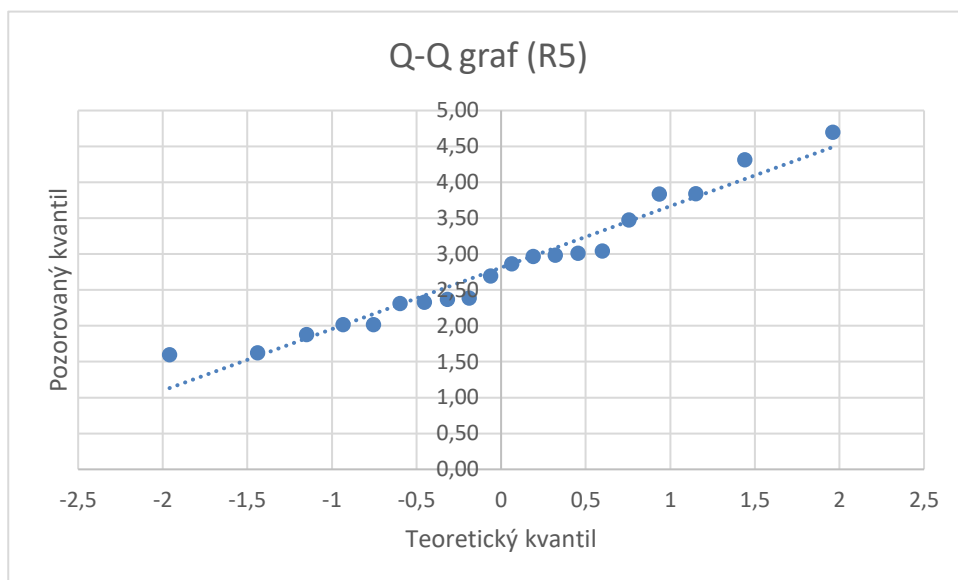


Graf 5.2: Průměrné hodnoty parametrů FEV1 a R5 skupiny astmatiků

K porovnání metod AOS a spirometrie jsem zvolil statistickou metodu korelace. Tato metoda mi poskytuje možnost porovnat hodnoty parametrů poskytnuté AOS a spirometrií.

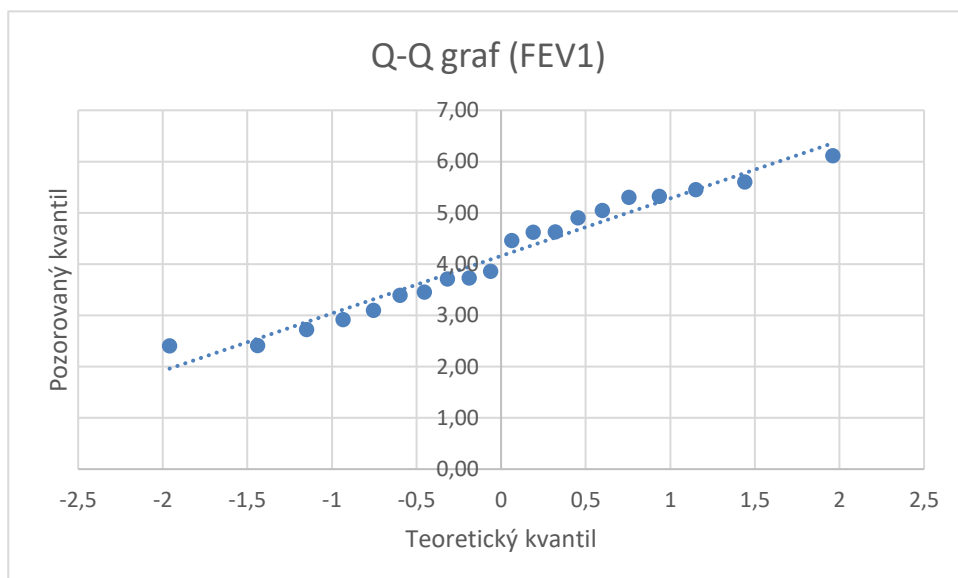
Korelace je vzájemný vztah mezi dvěma fyzikálními veličinami a říká nám, že pokud se mění jedna veličina, změní se korelativně i druhá veličina a obráceně. [27] Míru korelace vyjadřuje bezrozměrný Pearsonův korelační koeficient r , který nabývá hodnot od -1 do 1 . Podmínkou výpočtu korelace prostřednictvím Pearsonova korelačního koeficientu je, že data musí pocházet z normálního rozdělení.

Ověření normality dat jsem provedl pomocí Q-Q grafu, který nám říká, že pokud naměřené hodnoty mají lineární závislost, můžeme hovořit o tom, že jsou z normálního rozdělení. Sestrojil jsem Q-Q graf pro hodnoty *R5* a *FEV1*. Na osu *x* jsem vynesl hodnoty teoretického kvantilu a na osu *y* hodnoty pozorovaného kvantilu. Graf 5.3 zobrazuje Q-Q graf pro hodnoty *R5*.



Graf 5.3: Q-Q graf pro ověření normálního rozdělení hodnot *R5*

Graf 5.4 zobrazuje Q-Q graf pro hodnoty *FEV1*.



Graf 5.4 : Q-Q graf pro ověření normálního rozdělení hodnot *FEV1*

Normalitu dat jsem rovněž ověřil Lillieforsovým testem normality na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ s využitím Statistics and Machine Learning Toolboxu v prostředí Matlab (MathWorks, USA), kde jsem nahrál naměřená data z tabulky 5.6 a 5.7 a pomocí funkce – `lillietest(x)` jsem ověřil nulovou hypotézu, která říká, že data pocházejí z normálního rozdělení, proti alternativní, která tvrdí opak. Výsledek vyšel 0, což znamená, že data pocházejí z normálního rozdělení. [36]

Korelovanými parametry u metody AOS je rezistance na frekvenci 5 Hz ($R5$) a u metody spirometrie již zmíněný usilovně vydechnutý objem za jednu sekundu ($FEV1$). Tyto dva parametry jsem porovnával pomocí Pearsonova korelačního koeficientu.

K výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu vycházíme z dvourozměrného náhodného vektoru o rozsahu n , který odpovídá počtu probandů. Jde o dvojici pozorovaných hodnot náhodných veličin X a Y , kde v tomto případě jsem zvolil za náhodnou veličinu X rezistanci na frekvenci 5 Hz a náhodné veličině Y odpovídá $FEV1$.

Vzorec pro Pearsonův korelační koeficient je:

$$r_{X,Y} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (6)$$

kde $\bar{X} = (\overline{R5})$ a $\bar{Y} = (\overline{FEV1})$ jsou výběrové průměry, s_x a s_y jsou výběrové směrodatné odchylky parametrů $R5$ a $FEV1$.

Tabulka 5.6: Vypočítaný průměrný Pearsonův korelační koeficient skupiny zdravých jedinců

Zdraví jedinci		
ID probanda	FEV ₁	R5 (cmH2O.s/l)
1024101995	4,46	1,88
1025101995	5,05	2,37
1015071996	6,12	2,69
1024051996	5,3	2,31
1017071996	3,86	1,59
1016031996	4,63	2,01
1031081996	5,6	2,39
1028031996	5,46	2,33
1004011996	5,32	2,01
1001081995	4,91	1,62
Pearson. kor. kof.	0,85	

Tabulka 5.7: Vypočítaný průměrný Pearsonův korelační koeficient skupiny astmatiků

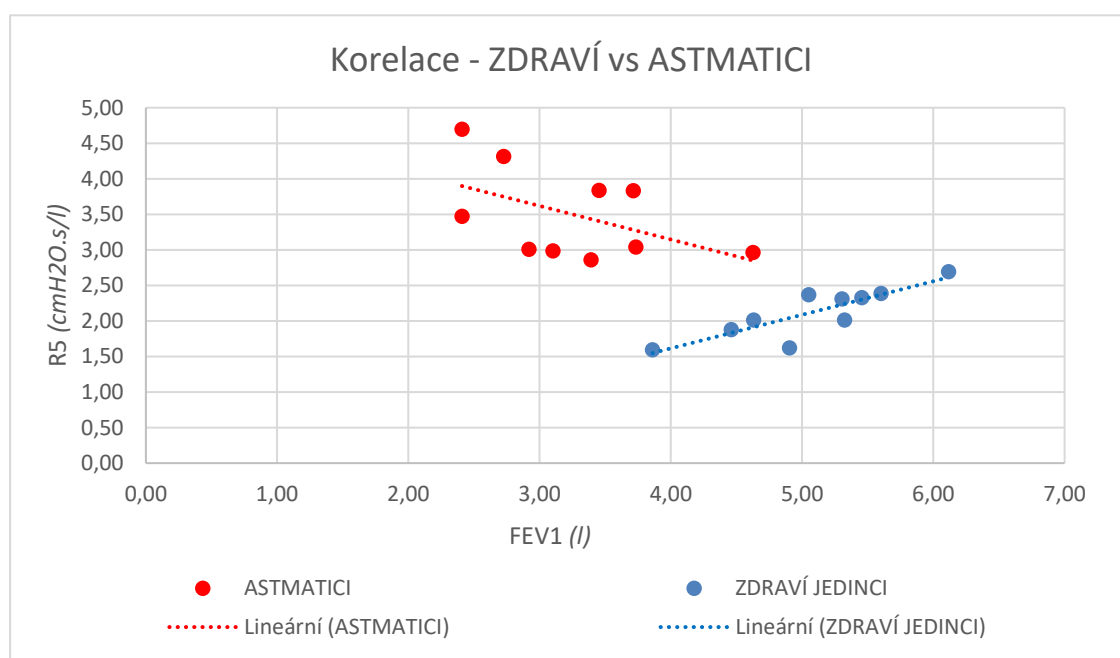
Astmatiči		
ID probanda	FEV ₁	R5 (cmH2O.s/l)
1023011996	2,92	3,01
1028081995	3,73	3,04
1012061996	2,41	3,47
1019021998	2,41	4,7
1004031993	3,1	2,99
1003031995	3,71	3,83
1007051994	3,39	2,86
1007051989	4,63	2,97
1008081995	3,45	3,84
1002091998	2,73	4,31
Pearson. kor. kof.	-0,50	

Vzorcem pro Pearsonův korelační koeficient jsem vypočetl korelaci z průměrných hodnot $R5$ a $FEV1$, jak pro skupinu zdravých jedinců, tak i pro skupinu astmatiků. Výsledek Pearsonova korelačního koeficientu mezi parametry $R5$ a $FEV1$ pro skupinu zdravých jedinců je zobrazen v tabulce 5.6. Výsledek Pearsonova korelačního koeficientu mezi parametry $R5$ a $FEV1$ pro skupinu astmatiků je uveden v tabulce 5.7.

U skupiny zdravých jedinců vyšel korelační koeficient $r=0,85$. Tato hodnota nám značí kladně velmi silnou korelaci mezi parametry $R5$ a $FEV1$.

U skupiny deseti astmatiků vyšel korelační koeficient $r=-0,50$. Tato hodnota nám vypovídá o středně záporné korelaci mezi parametry $R5$ a $FEV1$.

Vztah korelace skupiny zdravých a astmatiků jsem zobrazil do společného grafu 5.5.



Graf 5.5: Souhrnný korelační graf pro skupinu zdravých a astmatiků vyobrazený z průměrných hodnot $R5$ a $FEV1$

6 Diskuse

Hlavním cílem mé práce bylo porovnat vyšetření pomocí dvou metod AOS a spirometrie. Mého výzkumu se zúčastnilo celkem 20 dobrovolníků (11 mužů a 9 žen) ve věku od 19 do 28 let, z nichž bylo 10 astmatiků a 10 zdravých jedinců s průměrnou výškou 177 cm a průměrnou váhou 78 kg. Měření jsem zrealizoval pomocí přístrojů tremoFlo C-100 (THORASYS Thoracic Medical Systems Inc., Kanda) a Ergostik (Geratherm Respiratory GmbH., Německo) v laboratořích FBMI ČVUT v Praze.

Jelikož nelze přepočítat veličiny naměřené prostřednictvím AOS čili rezistanci a reaktanci na průtoky a objemy, které nám přináší metoda spirometrie, zvolil jsem k porovnání těchto metod funkčního vyšetření plic statistickou metodu korelace. Korelace nám dává vzájemný vztah mezi dvěma veličinami a poukazuje na to, že když se mění jedna veličina, mění se korelativně i druhá.

V této práci jsem se zaměřil jsem se na korelaci mezi parametry $R5$ a $FEV1$, protože se tyto parametry používají ke zjištění patologických stavů dýchací soustavy např. astmatu či obstrukci dýchacích cest. Korelace těchto dvou veličin se mi potvrdila se srovnáním s literaturou, kde Pairen a kolektiv zjistili významnou korelaci mezi nuceným výdechovým objemem za 1 sekundu ($FEV1$) měřeným spirometrií a odporem dýchacích cest na frekvenci 5 Hz ($R5$), který byl měřený metodou AOS. [21] Po změření každého dobrovolníka jsem výsledky parametrů zprůměroval a uvedl do tabulek (5.2, 5.3, 5.4, 5.5). Abych zjistil, v čem se liší skupina zdravých od skupiny astmatiků vypočítal jsem korelaci mezi $R5$ a $FEV1$ pomocí Pearsonova korelačního koeficientu viz tabulky (5.6, 5.7). Pearsonův korelační koeficient je podmíněn tím, že data musí pocházet z normálního rozdělení. Normalitu dat jsem ověřil prostřednictvím Q-Q grafu v excelu a Lillieforsovým testem v programu Matlab.

Z vypočítaných závislostí korelačního koeficientu mezi $R5$ a $FEV1$ usuzuji podle pravidla korelace, že u kladného korelačního koeficientu se při zvýšeném $R5$ zvýší i $FEV1$, kdežto u záporného korelačního koeficientu se při zvýšeném $R5$ sníží $FEV1$.

Pro skupinu deseti zdravých probandů vyšel kladný korelační koeficient $r=0,85$. Jedná se o velmi silnou kladnou hodnotu korelačního koeficientu mezi parametry $R5$ a $FEV1$. Z této závislosti kladného korelačního koeficientu vyvozují, že se u zdravých jedinců při zvýšeném odporu dýchacích cest zvýší i usilovně vydechnutý objem, jelikož nucená expirační námaha vytváří pozitivní tlak v plicích, jehož vnějším tlakem dochází k zúžení dýchacích cest. Následkem toho se zvyšuje odpor dýchacích cest a tím se zvyšuje i expirační úsilí a vzniká zpětná vazba. [20]

Pro skupinu deseti astmatiků vyšel záporný korelační koeficient $r=-0,50$, který se shoduje s – literaturou, viz [35]. Tato hodnota vypovídá o středně silné záporné korelaci,

kteřá nám řiká, že zvýšení odporu dýchacích cest má dopad na snížení usilovně vydechnutého objemu za 1 sekundu. Tato skutečnost je zapříčiněná tím, že astmatici mají stažené dýchací cesty okolním hladkým svalstvem. [26] Tím se u astmatiků omezuje průtok vzduchu dýchacími cestami, dochází tedy ke zvýšení odporu dýchacích cest a zároveň ke snížení usilovně vydechnutého objemu za 1 sekundu. Astmatici mají více stažené dýchací cesty oproti zdravým jedincům, proto u nich často dochází ke stavům dušnosti.

U skupiny trpící astmatem jsem shledal sníženou hodnotu *FEV1* a zároveň zvýšenou hodnotu *R5* ve srovnání s referenčními daty. Dva probandi (1019021998; 1002091998) ze skupiny astmatiků byli dle řazení výsledků na pomezí mezi astmatem a CHOPN. Další osm astmatiků mělo jen lehké náznaky astmatu. Tiffeneauv index (poměr *FEV1/FVC*) byl u skupiny astmatiků lehce snížen. Pohyboval se v rozmezí od 66,3 do 87,8 %. I tento fakt nám napovídá o tom, že ne všichni astmatici spadali do třídy astmatiků při srovnání s referenčními daty. Zřejmě je to zapříčiněné tím, že 5 z nich mělo astma v dětství a dnes už jsou takřka vyléčení a vykazují se jen lehké projevy astmatu. U skupiny zdravých byli testováni dobrovolníci z řad aktivních sportovců a jejich naměřené hodnoty byly v normě. Zdraví jedinci u některých parametrů převyšovali referenční data. Tento fakt je způsobený tím, že trénovaní jedinci mají větší vitální kapacitu tzn., že jsou schopní vydechnout větší objem vzduchu při maximálním úsilí oproti průměrnému netrénovanému jedinci. U žen vitální kapacita činí 4 litry u mužů okolo 5,6 litrů, nicméně u trénovaných jedinců může dosahovat až k 7 litrům. Záleží však na věku, výšce, váze, pohlaví a vytrénovanosti jedince. [30]

V klinické praxi jsou data pacienta vztahována k datům charakterizující normální, zdravé pacienty. Oba přístroje využívají výpočet z referenčních rovnic, do kterých se zahrnují antropometrické charakteristiky vyšetřované osoby. Výsledky jsou udávány v procentuálních hodnotách, kde 100 % znamená, že vyšetřovaná osoba má na svůj věk, hmotnost, výšku a pohlaví průměrnou funkci plic. U AOS hodnota nad 100 % znamená zhoršenou funkci plic u metody spirometrie je tomu naopak tzn., že hodnota pod 100 % vypovídá o snížení funkčnosti plic. [1] Další možností pro vyhodnocování měření v praxi je pomocí referenčních tabulek. Jedna z referenčních tabulek je uvedena v podkapitole 2.4 tabulka 2.3. V tabulce se najde typ vyšetření s parametrem a podle výsledku měření zařadíme pacienta do příslušné skupiny (normální, astma, CHOPN), které jsou rozdělené do stanovených intervalů. Nevýhodou referenční tabulky veliký rozptyl od průměrné hodnoty a jiné antropometrické charakteristiky jedinců.

7 Závěr

Bakalářská práce porovná funkční vyšetření plic pomocí spirometrie a akustické oscilometrie. Na základě připravené dokumentace ve formě protokolu měření, karty probanda a informovaného souhlasu byla etickou komisí FBMI schválena studie na dobrovolnících.

Cílem mé bakalářské práce bylo provést laboratorní měření s dobrovolníky a statisticky porovnat vztah mezi AOS a spirometrií. Nad rámec zadání jsem se rozhodl zjistit rozdíl mezi zdravými jedinci a astmatiky. Naměřil jsem deset zdravých jedinců a deset astmatiků. U těchto dvaceti probandů jsem provedl porovnání mezi AOS a spirometrií prostřednictvím Pearsonova korelačního koeficientu mezi odporem dýchacích cest ($R5$) naměřeným metodou AOS a usilovně vydechnutým objemem v první sekundě ($FEV1$) získaným metodou spirometrie. Zaměřil jsem se na $R5$ a $FEV1$, tyto dvě proměnné hodnotí plicní funkci z hlediska citlivosti a používají se pro odhalení patologických stavů respiračního systému. Výsledkem korelace byla silná závislost mezi parametry $R5$ a $FEV1$, zejména u zdravých jedinců.

U skupiny zdravých jedinců mi vyšel silný kladný korelační koeficient s hodnotou $r=0,85$. Kladná závislost znamená, že při zvýšeném odporu dýchacích cest se u zdravých jedinců zvýší i usilovně vydechnutý objem za jednu sekundu, zatímco u skupiny astmatiků tomu bylo opakem a výsledkem je středně silná hodnota záporného korelačního koeficientu $r=-0,50$. Ze záporné hodnoty korelačního koeficientu vyplývá, že zvyšování odporu dýchacích cest má za následek snížení usilovně vydechnutého objemu v první sekundě.

Při porovnání naměřených hodnot $R5$ a $FEV1$ s referenčními hodnotami vyšla skupina vyšla skupina zdravých jedinců v normách. Astmatici se dají pomocí $R5$ a $FEV1$ poměrně dobře odlišit od zdravých jedinců, jelikož u skupiny astmatiků byla sledována zvýšená hodnota $R5$ a snížená hodnota $FEV1$ v porovnání s referenčními fyziologickými hodnotami.

AOS a spirometrie jsou neinvazivní metody pomocí kterých testujeme funkci plic, avšak se v mnoha aspektech liší např. v principu funkce, naměřených parametrech (jednotkách) či způsobu měření. Metoda AOS funguje na principu techniky nucené oscilace (FOT), kdežto spirometrie zachycuje rychlost průtoku vydechnutého vzduchu za čas, pomocí kterého se vypočítají objemy plic. AOS podává informace o odporu dýchacích cest pacienta v podobě rezistance. Spirometrie poskytuje výsledky ve formě rychlosti průtoků a objemů plic prostřednictvím kterých nás informuje o průchodnosti respiračního systému a stavu plicní tkáně.

Díky technice nucené oscilace AOS disponuje velikou výhodou v průběhu vyšetření, ve smyslu klidového dýchání. Těto skutečnosti se využívá např. u malých dětí, seniorů či

u pacientů v bezvědomí. Na rozdíl od AOS se pacient u vyšetření spirometrie musí aktivně zapojit a provést správné dýchací manévry. Přínosem zařízení tremoFlo C-100 je i jednoduchá možnost přepravy a rychlost vyšetření v rámci sekund. Výhodou spirometrie je široká škála objemů a průtoků pomocí, kterých se lépe zjišťuje respirační stav pacienta. AOS může být dobrým pomocníkem při odhalování patologických stavů dýchací soustavy, jelikož poskytuje objektivní měření výkonu pacienta, zatímco spirometrie vyžaduje subjektivního posouzení pacientovi spolupráce a úsilí.

Seznam použité literatury

- [1] THORASYS Thoracic Medical Systems Inc., tremoFlo C-100 Airwave Oscillometry System User Manual, 2015
- [2] ROZMAN, Jiří. Elektronické přístroje v lékařství. Praha: Academia, 2006. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-1308-3
- [3] PENHAKER, Marek. Lékařské diagnostické přístroje: učební texty. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0751-3
- [4] Oostveen, E, MacLeod, D, Lorino, H et al. ERS Task Force on Respiratory Impedance Measurements. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. Eur Respir J. 2003; 22: 1026–1041.
- [5] Marwa Alamer, Repeatability of Respiratory Impedance and Bronchodilatory Response in Asthmatic Children, 2016, 93 s., [Diplomová práce, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada]
- [6] Čáp, P., Bičíková, K., Paul, T.: Impulsní oscilometrie – nová metoda měření plicních funkcí, Alergie 4(2), 2000.,
- [7] Bickel S, Popler J, Lesnick B, Eid N. Impulse oscillometry: interpretation and practical applications. Chest 2014;146(3):841–7.
- [8] Spirometrie, plicní objemy [online]. c2016 [citováno 12. 05. 2018]. Dostupný z WWW: <https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Spirometrie,_plicn%C3%AD_objemy&oldid=354499>
- [9] Metody měření průtoku plynů - Lékařské přístroje a zařízení. [online]. Copyright © 2018 [cit. 10.05.2018]. Dostupné z WWW: <https://sites.google.com/site/lpz2011123/zobrazovaci-metody/spirometr/metody-mereni-pruatoku-plynua>
- [10] Clement J, Dumoulin B, Gubbelmans R, Hendriks S, van de Woestijne KP. Reference values of total respiratory resistance and reactance between 4 and 26 Hz in children and adolescents aged 4–20 years. Bull Eur Physiopathol Respir. 1987;23:441–48.

- [11] Podklady k interaktivnímu semináři Plíce, ledviny a acidobazická rovnováha. Ústav patologické fyziologie, 1.LF. [online]. Copyright © 2018 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 10.05.2018]. Dostupné z WWW: <http://slideplayer.cz/slide/5641901/>
- [12] Beydon N, Davis SD, Lombardi E, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med.* 2007;175:1304–1345.
- [13] C.A. Lall, N. Cheng, P. Hernandez, P.T. Pianosi, Z. Dali, A. Abouzied, G.N. Maksym, Airway resistance variability and response to bronchodilator in children with asthma, *Eur Respir J* 30 (2007) 260-268.
- [14] Goldman MD. Clinical application of forced oscillation. *Pulm Pharmacol Ther.* 2001;14:341–350.
- [15] Frei J, Jutla J, Kramer G, Hatzakis GE, Ducharme FM, Davis GM. Impulse oscillometry: reference values in children 100 to 150 cm in height and 3 to 10 years of age. *Chest.* 2005;128:1266–1273.
- [16] Frei J, Jutla J, Kramer G, Hatzakis GE, Ducharme FM, Davis GM. Impulse oscillometry: reference values in children 100 to 150 cm in height and 3 to 10 years of age. *Chest.* 2005;128:1266–1273.
- [17] Morgan W, Mansfield L, Wolf J, Souhrada JF. The measurement of total respiratory resistance in small children. *J Asthma.* 1982;19:233–240.
- [18] Ortiz G, Menendez R. The effects of inhaled albuterol and salmeterol in 2- to 5-year-old asthmatic children as measured by impulse oscillometry. *J Asthma.* 2002;39:531–536.
- [19] Jartti T, Lehtinen P, Vanto T, et al. Efficacy of prednisolone in children hospitalized for recurrent wheezing. *Pediatr Allergy Immunol.* 2007;18:326–334.
- [20] BRAVENÝ, Pavel, Bohumil FIŠER, Jiří HELLER, Jan HERGET and Nataša HONZÍKOVÁ. 1992. *Poznámky k přednáškám z fyziologie.* sv. 1., Srdce a krevní oběh, dýchání, ledviny, acidobazická rovnováha, svaly. 2. vyd. Jinočany: H & H.
- [21] Pairon JC, Iwatsubo Y, Hubert C, Lorino H, Nouaigui H, Gharbi R, et al. Measurement of bronchial responsiveness by forced oscillation technique in occupational epidemiology. *Eur Respir J.* 1994;7:484–489.

- [22] Spirometry and Bronchodilator Test. *National Center for Biotechnology Information* [online]. Copyright © 2017 [cit. 21.10.2017]. Dostupné z WWW: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5392482/>
- [23] Spirometry: Procedure, Normal Values, and Test Results. Healthline: Medical information and health advice you can trust. [online]. Copyright © 2005 [cit. 19.09.2017]. Dostupné z WWW: <http://www.healthline.com/health/spirometry#side-effects4>
- [24] Funkční vyšetření kardiopulmonálního systému – WikiSkripta. [online]. Copyright © 2005 [cit. 22.10.2017]. Dostupné z WWW: http://www.wikiskripta.eu/w/Funkční_vyšetření_kardiopulmonálního_systému
- [25] Funkční plicní vyšetření: Alergologie, Imunologie - MUDr. Lapková. AIR: Alergologie, Imunologie - MUDr. Lapková [online]. Dostupné z WWW: <http://www.imunologie-alergologie.cz/funkcni-plicni-vysetreni.html>
- [26] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Astma [online]. c2018 [cit. 8. 04. 2018]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Astma&oldid=15869358>
- [27] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Korelace [online]. c2018 [cit. 24. 04. 2018]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Korelace&oldid=16034311>
- [28] Dechové křivky – Lékařské přístroje a zařízení. [online]. Copyright © 2018 [cit. 03.05.2018]. Dostupné z WWW: <https://sites.google.com/site/lpz2011123/zobrazovaci-metody/spirometr/dechove-krivky>
- [29] Measurement duration impacts variability but not impedance measured by the forced oscillation technique in healthy, asthma and COPD subjects. *National Center for Biotechnology Information* [online]. Copyright © 2018 [cit. 02.05.2018]. Dostupné z WWW: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5005178/>
- [30] Vitální kapacita plic | Namal.cz. *Namal.cz - magazín o nemocech a zdraví* [online]. c2018 [citováno 30. 04. 2018]. Dostupné z WWW: <http://www.namal.cz/vitalni-kapacita-plic/>
- [31] CHOPN: příčiny, příznaky a léčba. *Praktické informace o zdraví, léčivech, výživě a kráse* [online]. Copyright © 2018 [cit. 01.05.2018]. Dostupné z WWW: <https://cs.medlicker.com/808-chronicka-obstrukcni-plicni-nemoc-chopn-priciny-priznaky-diagnostika-lecba-a-prevence>

- [32] Impulse oscillometry in the evaluation of diseases of the airways in children. *National Center for Biotechnology Information*[online]. Copyright © 2018 [cit. 02.05.2018]. Dostupné z WWW: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3401927/>>
- [33] Onemocnění dýchacího systému/Astma,CHOPN | www.zaberou.blog.cz - Zdravotnický asistent. *www.zaberou.blog.cz - Zdravotnický asistent* [online]. Copyright © 2018 [cit. 02.05.2018]. Dostupné z WWW: <<http://zaberou.blog.cz/1409/onemocneni-dychaciho-systemu-astma-chopn>>
- [34] Astma. *Těhotenství, porod a miminko – vše pro maminky a budoucí maminky – Modrý Koník* [online]. Copyright © Depositphotos.com [cit. 02.05.2018]. Dostupné z WWW: <<https://www.modrykonik.cz/zdravi/astma/>>
- [35] Comparison of Impulse Oscillometry System and Spirometry for Diagnosis of Obstructive Lung Disorders. *National Center for Biotechnology Information* [online]. Copyright © 2018 [cit. 03.05.2018]. Dostupné z WWW: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4153135/>>
- [36] Lilliefors test - MATLAB lillietest. *MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink* [online]. Copyright © 1994 [cit. 14.05.2018]. Dostupné z WWW: <<https://www.mathworks.com/help/stats/lillietest.html>>

Příloha A: Protokol měření

Porovnání vyšetření plic realizované pomocí AOS a Spirometrie

Identifikační číslo probanda ID:		
Datum měření:	Čas měření:	Místo měření: lab. A109

- Změřit a zvážit probanda

Kontrolní otázky před měřením

- Zeptat se, zdali proband je alespoň 1 hodinu po jídle a zdali nepožil alkohol nebo jiné omamné látky
- Zeptat se, zdali proband 2 hodiny před experimentem nekouřil a zdali nejméně 30 minut před začátkem experimentu necvičil, netrénoval (neměl zvýšenou fyzickou zátěž)
- Zjistit zdravotní stav probanda, který by neměl být po operaci: šedého zákalu nebo nedávné oční operaci, břišním nebo hrudním operačním zákroku. Proband by neměl mít vysoký krevní tlak, nedávaný srdeční záchvat, popř. anginu pectoris. Také vyloučíme zvracení nebo akutní onemocnění, viz. informovaný souhlas

1. Příprava měření AOS

Připravit si všechny potřebné věci:

- tremoFlo C-100
- PC s originálním softwarem-tremoFlo
- kalibrační zátěž
- adaptér kalibrační zátěže
- bakteriální a virový jednorázový filtr
- nosní klip

Zapneme přístroje (tremoFlo C-100, PC s originálním softwarem-tremoFlo)

Připojit napájení pro připojení tremoFlo C-100 k elektrické síti, poté propojíme zařízení tremoFlo C-100 pomocí ethernetového kabelu k počítači.

- Provést kalibraci tremoFlo C-100 pomocí kalibrační zátěže
- Nasadit antibakteriální filtr na přenosný díl tremoFlo C-100
- Vytvořit složku nového pacienta a zadáme potřebné údaje (příjmení, jméno, pohlaví, věk, výška, váha, etnikum, nekuřák/kuřák – historie)

2. Zkouška měření AOS

- Seznámit probanda s průběhem měření
- Proband sedí ve vzpřímené pozici a má hlavu vzhůru (nehýbe se)
- Na nose má nasazený nosní klip, aby nedocházelo k úniku vzduchu nosem
- Přidršet tváře probanda
- Proband provede zkušební nácvik
- Proband klidně dýchá do antibakteriálního filtru

3. Měření AOS

- Přidršet probandovi sondu s antibakteriálním filtrem, který má proband v ústech
- Ujistit se, zda rty probanda jsou utěsněné kolem filtru a filtr nezacpávat jazykem
- Požádat probanda, aby si v průběhu vyšetření držel tváře
- Zahájit měření a instruovat probanda, co má dělat:
 1. Proband klidně dýchá
 2. Kontrola dechového objemu na monitoru (3-10sec.)
 3. Spustit vyšetření na počítači (délka 16 sec.)
 4. Po prvním měření – krátká pauza (dýchání bez filtru)
 5. Tento postup zopakujeme 3-5krát, podle pokynů diagnostického softwaru
- Pozastavit vyšetření na počítači a zaznamenat výsledky (R5, X5 a rezonanční frekvenci)
- 1) AOS měření
 - Zaznamenat vyhodnocené výsledky z prvního měření

Parametr	Jednotka	Referenční hodnota	Naměřená hodnota
Rezistance (R5)	cmH ₂ O.s/L		
Reaktance (X5)	cmH ₂ O.s/L		

2) AOS měření

- Zaznamenat vyhodnocené výsledky z druhého měření

Parametr	Jednotka	Referenční hodnota	Naměřená hodnota
Rezistance (R5)	cmH ₂ O.s/L		
Reaktance (X5)	cmH ₂ O.s/L		

3) AOS měření

- Zaznamenat vyhodnocené výsledky ze třetího měření

Parametr	Jednotka	Referenční hodnota	Naměřená hodnota
Rezistance (R5)	cmH ₂ O.s/L		
Reaktance (X5)	cmH ₂ O.s/L		

4. Ukončení měření AOS

- Data z příslušného měření uložit na flash disk
- Ukončit program a vypnout všechny použité přístroje
- Použité přístroje očistit a uložit je na příslušná místa
- Uvést pracoviště do původního stavu

1. Příprava měření spirometrie

Připravit si všechny potřebné věci:

- jednorázový spirometrický filtr vč. náustku
- nosní klip
- silikonová spojka
- kalibrační pumpa

Zapneme přístroje (spirometr Geratherm Respiratory- Ergostik, PC s originální SW-program Blue Cheery)

Propojit spirometrickou sondu s USB převodníkem spirometru a počítačem

- Provést kalibraci spirometru pomocí kalibrační pumpy
- Nasadit antibakteriální filtr pevně doléhá na spirometrickou sodu
- Vytvořit složku nového probanda a zadat potřebné údaje (věk, výška, váha, rasa, kuřák/ nekuřák – jak dlouho?)

2. Zkouška měření spirometrie

- Seznámit probanda s průběhem měření
- Proband sedí ve vzpřímené pozici a má hlavu vzhůru (žádné pohyby těla)
- Na nose má nasazený nosní klip
- Proband provede zkušební nácvik spirometrického testu
- Proband je instruován obsluhou spirometru
- Proband v klidu dýchá do antibakteriálního filtru
- Na pokyn proband provede maximální rychlý nádech
- Na pokyn proband provede co nejrychlejší maximální usilovný výdech
- Proband se vydýchá

3. Spirometrické měření:

- Ujistit se, zda rty probanda jsou utěsněné kolem filtru a filtr nezacpávat jazykem
- Spustit spirometrické vyšetření na počítači a instruovat probanda, co má dělat:
 1. Začít klidovým dýcháním
 2. Na pokyn zahájit maximální rychlý výdech následovaný maximálním nádechem
 3. Po maximálním nádechu provést usilovný a rychlý výdech
 4. Vydýchání probanda
 5. (Tento postup zopakujeme 3x)
- Pozastavit spirometrické vyšetření na počítači a zaznamenat vyhodnocené výsledky

1) Spirometrické měření

Zaznamenat vyhodnocené výsledky z měření č. 1

Parametr	Jednotka	Naměřená hodnota	Referenční hodnota
FVC	l		
FEV1	l		
FEV1/FVC	%		
FEV1/VC	%		
PEF	l/s		
MEF75	l/s		
MEF50	l/s		
MEF25	l/s		

2) Spirometrické měření

Zaznamenat vyhodnocené výsledky z měření č. 2

Parametr	Jednotka	Naměřená hodnota	Referenční hodnota
FVC	l		
FEV1	l		
FEV1/FVC	%		
FEV1/VC	%		
PEF	l/s		
MEF75	l/s		
MEF50	l/s		
MEF25	l/s		

3) Spirometrické měření

- Zaznamenat vyhodnocené výsledky z měření č. 3

Parametr	Jednotka	Naměřená hodnota	Referenční hodnota
FVC	l		
FEV1	l		
FEV1/FVC	%		
FEV1/VC	%		
PEF	l/s		
MEF75	l/s		
MEF50	l/s		
MEF25	l/s		

4. Ukončení spirometrického řešení

- Data z příslušného měření uložit na flash disk
- Ukončit program a vypnout všechny použité přístroje
- Použité přístroje očistit a uložit je na příslušná místa
- Uvést pracoviště do původního stavu

Příloha B: Informovaný souhlas

Informovaný souhlas a informace pro subjekt hodnocení



FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ
ČVUT V PRAZE

Název projektu: Akustická oscilometrie (Srovnání vyšetření plic provedeného pomocí spirometrie a akustické oscilometrie)

Hlavní řešitel: Tomáš Vlček. ČVUT v Praze., FBMI

Vážený studente/studentko,

děkujeme Vám za Váš zájem zúčastnit se tohoto projektu. Projekt s názvem Akustická oscilometrie (AOS), prováděný na FBMI ČVUT, je primárně výzkumný v rámci předmětu bakalářská práce.

Projekt se zabývá funkčním vyšetřením plic. Cílem práce je porovnání dvou vyšetřovacích metod: akustické oscilometrie a spirometrie. V této práci chci porovnat výsledky poskytnuté oběma metodami a poté je statisticky vyhodnotit.

Obě metody jsou zcela bezpečné, neinvazivního charakteru. U metody akustické oscilometrie je velkou výhodou pasivní průběh vyšetření ve smyslu, že nezávisí na úsilí pacienta na rozdíl od metody spirometrie, která od pacienta vyžaduje aktivní spolupráci. Pacient je v průběhu vyšetření vyzván k tomu, aby vykonával nucené manévry. Tyto dýchací manévry musí být provedeny s určitou přesností, jinak se měření stává bezvýznamným.

Experimentální měření bude prováděno přibližně na dvaceti probandech, z čehož jich bude deset zdravých jedinců a deset trpících astmatem nebo jiným respiračním onemocněním. Dobrovolníci budou vybíráni zejména z řad studentů FBMI. Měření proběhne prostřednictvím AOS systému (tremoFlo C-100, Kanada) a spirometrického systému (Ergostik, Geratherm Respiratory GmbH, Německo). Proband bude před experimentálním měřením vyzván k zodpovězení následujících údajů: jméno, příjmení, věk, pohlaví, rasa, kuřák/nekuřák, sport (ano/ne), prodělání v minulosti nějaké plicní nemoci (choroby dýchacího systému) a poté bude na místě experimentu zvážen a přeměřen. Před měřením si proband umístí na nos nosní klip, který bude zamezovat úniku vzduchu nosem a přejde se k samotnému měření. Při obou metodách bude proband instruován, co má dělat.

Proband si umístí do úst spirometrickou sondu spojenou s jednorázovým antibakteriálním filtrem, která je u metody AOS napojená na zařízení tremoFlo C-100. U spirometrie proband dýchá do náustku spojeným se snímačem průtoku, který je přivedený na aparát Ergostik. Po každém měření je náustek i snímač průtoku řádně vydezinfikován. Na základě systému tremoFlo C-100 bude měřen odpor a reaktance dýchacích cest. Výsledkem měření jsou hodnoty impedance, respektive reaktance a rezistance. U metody spirometrie systém vyhodnotí více parametrů než u AOS, např.: FVC – maximální objem vzduchu, který lze po maximálním nádechu prudce vydechnout nebo FEV1 – objem vzduchu vydechnutý s největším úsilím za jednu sekundu po maximálním nádechu. Hodnoty těchto parametrů budou zaznamenávány do tabulek v měřicím protokolu. Každé měření AOS se provede nejméně třikrát a každé měření spirometrie se provede rovněž nejméně třikrát. Délka trvání každého jednoho měření je přibližně 30 sekund. Data z provedených měření budou porovnána a poté statisticky vyhodnocena. Jednotlivá měření AOS a spirometrie budou provedena zcela standardně, v souladu s pokyny výrobce a běžnou klinickou praxí. Povahu výzkumu má zejména opakování vyšetření a srovnání výsledků obou metod.

U vyšetření spirometrie zjistíme před měřením zdravotní stav probanda. **Experiment nemůže proběhnout pokud: proband je po operaci šedého zákalu, nedávné oční operaci, břišním nebo hrudním operačním zákroku. Nesmí mít vysoký krevní tlak, nedávný srdeční záchvat, popř. anginu pectoris, také vyloučíme zvracení nebo akutní onemocnění. Proband svým podpisem potvrzuje, že porozuměl těmto vylučujícím kritériím z experimentu, a že vylučující kritéria nesplňuje a je schopen provést tyto vyšetření.**

S výjimkou vylučujících kritérií, jak již bylo uvedeno, jsou obě metody zcela bezpečné a nejsou popsána žádná rizika spojená s tímto testováním plicní funkce. Jestliže se probandovi udělá během experimentu špatně z jakéhokoliv důvodu, měření bude ihned ukončeno.

Náklady na odškodnění v případě poškození probanda ponese ČVUT FBMI, nicméně riziko poškození je prakticky nulové.

Naměřené hodnoty jsou brány jako výzkumný materiál, nebudou tedy vyvozovány žádné závěry o zdravotním stavu probanda.

Probandi se zúčastní experimentu zcela dobrovolně bez nároku na jakoukoliv odměnu, a zároveň se nepředpokládají žádné finanční výdaje probanda.

Podepsáním tohoto informovaného souhlasu schvalujete přímý přístup k původní klinické dokumentaci za účelem legalizace průběhu projektu, aniž by došlo k porušení osobních informací o Vaší osobě. Každý proband bude mít své ID číslo, kterým bude jednoznačně identifikován a pod kterým bude veden při zpracování naměřených dat tak, aby byla zajištěna ochrana jeho osobních údajů. V případě, že výsledky tohoto projektu budou publikovány, bude zajištěna anonymita probanda.

Vyskytne-li se informace, která by mohla mít vliv na rozhodnutí probanda, zda pokračovat v průběhu studii nebo ne, bude proband o této skutečnosti včas informován.

Délka průběhu obou vyšetření je přibližně 30 min. Jelikož je váš zájem na experimentu dobrovolný, můžete bez jakýchkoli důvodů kdykoliv test ukončit, aniž byste musel(a) uvést důvod.

Jméno a příjmení probanda:

Datum narození:

Identifikační číslo probanda (ID):

Odpovědný řešitel:

Podpis probanda:

Podpis odpovědného řešitele:

Datum:

Kde:

Datum:

Kde:

Příloha C: Karta probanda

Karta probanda



Identifikační číslo probanda:

Obecné údaje:

Jméno:	Příjmení:	Pohlaví (M/Ž):	Věk:
Hmotnost (kg):	Výška (cm):	BMI:	
Sport (ANO/NE popř., jaký?):		Etnikum:	
Respirační komplikace (ANO/NE popř., jaké):			
Kuřák (ANO/NE):	Současnost a historie kouření:		

Proband podepsal informovaný souhlas: ANO / NE

V Kladně dne:	
Měření provedl:	Podpis:

Příloha D: Postup pro dezinfekci



FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ
ČVUT V PRAZE

Postup pro dezinfekci snímače průtoku a náustku spirometru

– Ergostik – Geratherm Respiratory GmbH (Německo)

Úvod:

Prevence ochrany uživatele spočívá v dezinfekci určitých částí spirometru, a to snímače průtoku a náustku. Po každém proběhlém měření musí být snímač průtoku a náustek řádně vydezinfikován. Snímač průtoku a náustek je dezinfikován prostředkem „SEKUSEPT EXTRA N 2L“, u kterého je, dle návodu zabezpečena kompatibilita materiálu. U tohoto dezinfekčního prostředku musí být dodržen správný postup, který je uvedený v návodu dezinfekce.

Jelikož zařízení nejsou chráněna před pronikající kapalinou zajistěte, aby byla všechna zařízení byla odpojena od elektrických součástí.

Vnitřní část snímače průtoku a hadičky připojené ke spirometru by neměly být čištěny mechanicky ani silným proudem vody, jelikož vlhkost v těchto částech může způsobit chybu v měření. Při čištění a dezinfekci snímače průtoku a náustku je maximální přípustná teplota 75 ° C. Vyšší teplota by mohla uvedené pomůcky poškodit. Nepoužívejte ani dezinfekční prostředky s vysokou koncentrací chloridů.

Chemikálie:

- dezinfekční prostředek – SEKUSEPT EXTRA N 2L

Pomůcky:

- plastová sterilní nádoba (5 l)
- ochranné gumové rukavice
- odměrný válec
- skleněná tyčinka

Postup:

Pro dezinfekci je třeba nejdříve odpojit náustek od snímače průtoku a ten následně odpojit od hadiček vedoucích ke spirometru. Při odpojování jednotlivých komponentů je třeba brát zřetel na jejich křehkost. Před ponořením do roztoku dezinfekce omyjte náustek pod větším proudem teplé vody, aby došlo k odstranění nadbytečné kontaminace. Jelikož se jedná o práci s žíravinou je nutné pracovat s ochrannými gumovými rukavicemi. V nádobě určené k dezinfekci si naředíme dezinfekční přípravek SEKUSEPT EXTRA N na požadovanou 2% koncentraci. Odměříme si 20 ml dezinfekčního prostředku – SEKUSEPT,

který naředíme 1 l studené pitné vody a vzniklý roztok promícháme pomocí skleněné tyčinky. Do připraveného roztoku s dezinfekcí zcela ponoříme náustek a snímač průtoku. Doba expozice je 15 min. Po uplynulé době vyjmeme předměty z roztoku dezinfekce. Po aplikaci dezinfekce musí být snímač průtoku důkladně promyt v destilované vodě. Po dokončení práce s dezinfekcí si pečlivě umyjte ruce mýdlem. Snímač průtoku a náustek musejí být důkladně vysušeny, aby nedošlo k unikání vlhkosti do hadiček připojených ke spirometru a tím se nedocházelo k chybám v měření. Před opětovným použitím snímače průtoku se ujistěte, že není vlhký.

Tabulka D.1: Postup řešení ve formě check list

Stav	Splněno (✓) Nesplněno (×)
Náustek odpojte od snímače průtoku	
Snímač průtoku opatrně odejměte od hadiček vedoucích ke spirometru (pozor na poškození trnů)	
Náustek omyjte pod silným proudem teplé vody	
Připravte dezinfekční roztok, dle návodu:	
Nandějte si ochranné rukavice	
Odměřte 20 ml dezinfekčního prostředku – SEKUSEPT a nalijte jej do nádoby	
Odměřte 1 l studené pitné vody a nalijte jí do nádoby s dezinfekčním prostředkem	
Roztok pečlivě promíchejte pomocí skleněné tyčinky	
Vložte náustek a snímač průtoku do připraveného roztoku s dezinfekcí	
Po 15 minutách vyndejte náustek a snímač průtoku z roztoku s dezinfekcí	
Opatrně propláchněte snímač průtoku destilovanou vodou	
Snímač průtoku a náustek nechte okapat a vyschnout	
Pečlivě si omyjte ruce mýdlem	
Před dalším použitím snímače průtoku se ujistěte, že není vlhký	