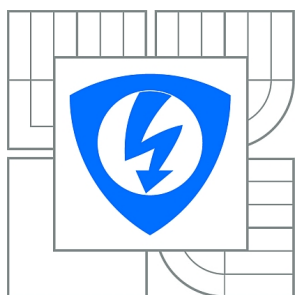


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## **SPIROMETRIE**

SPIROMETRY

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. DANIEL VYŠKOVSKÝ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. OTO JANOUŠEK**

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Biomedicínské inženýrství a bioinformatika**

**Student:** Bc. Daniel Vyškovský

**ID:** 115123

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2013/2014

**NÁZEV TÉMATU:**

## Spirometrie

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte literární rešerši v oblasti hodnocení plicních funkcí. Zaměřte se na vliv obstrukčních poruch. 2) Navrhněte metodiku automatického hodnocení jak spirogramu, tak smyčky průtok/objem. 3) Navrhněte jednoduchý simulátor obstrukční ventilační poruchy a realizujte jej. 4) Pomocí systému Biopac zaznamenejte spirogramy skupiny dobrovolníků bez a se simulátorem obstrukční poruchy. Vytvořte databázi záznamů. 5) V grafickém prostředí Matlabu vytvořte aplikaci, která bude automaticky detekovat parametry spirogramu a smyčky průtok/objem. 6) Statisticky vyhodnoťte vliv simulátoru obstrukční poruchy na tyto parametry. 7) Proveďte diskusi získaných výsledků a srovnajte mezi sebou parametry respirační křivky ve vztahu k jejich schopnosti reflektovat změny způsobené obstrukcí dýchacích cest. Na základě zhodnocení výsledků vytvořte ucelený návod k laboratorním cvičením věnujícím se hodnocení spirografického záznamu.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] PFLANZER, Richard, a kol. BIOPAC SYSTEM, Inc. Biopac student lab: Laboratory Manual. 1. vyd. Goleta, CA, 2007.  
[2] HONZÍKOVÁ, Nataša. Biologie člověka, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 23.5.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Oto Janoušek

**Konzultanti diplomové práce:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá spirometrickým měřením na skupině dobrovolníků. Na úvod je vysvětlena fyziologie dýchání. Dále je rozebrána teorie nutná k měření a analýze respiračních parametrů, včetně seznámení s principem spirometrů potřebných k provedení samotného měření. Samostatná kapitola je věnována ventilačním poruchám se zaměřením na obstrukční poruchy. V sekci řešení je popsána metodologie měření na skupině dobrovolníků. Navazuje popis algoritmu programu vytvořeného k automatické analýze naměřených dechových signálů. Takto získané dechové parametry jsou statisticky analyzovány a porovnány pro fyziologický a obstrukční stav. V závěru jsou diskutovány změny, jež jednotlivé parametry popisují ve vztahu k simulované obstrukci. V příloze je dále dodán protokol k laboratornímu cvičení, který spolu s vytvořeným programem bude sloužit k výuce.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

respirace, spirometrie, obstrukční, křivka průtok-objem

## **ABSTRACT**

This work presents spirometric measurements on a group of volunteers. First of all the physiology of respiration is explained. Further the theory necessary for measurement and analysis of respiration parameters is mentioned. A separate chapter contains information about ventilation disorders with focus on obstructive diseases. The measurement methodology is described in the analysis section. The program developed for automatic spirometric signal analysis is described in the next section. Parameters obtained from the program are statistically analysed and compared for physiological and obstructive state. Changes, which the individual parameters represent in relation to the simulated obstruction, are discussed. The appendix section contains a report to be used for laboratory lessons together with the developed program.

## **KEYWORDS**

respiration, spirometry, obstructive, flow-volume curve

VYŠKOVSKÝ, Daniel *Spirometrie*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2014. 76 s. Vedoucí práce byl Ing. Oto Janoušek, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Spirometrie“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Otu Janouškovi Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>1 Úvod</b>	<b>10</b>
<b>2 Fyziologie dýchání</b>	<b>11</b>
<b>3 Spirometrie</b>	<b>17</b>
3.1 Statické plicní objemy . . . . .	17
3.2 Dynamické plicní objemy . . . . .	19
<b>4 Spirometry</b>	<b>23</b>
<b>5 Ventilační poruchy</b>	<b>25</b>
<b>6 Řešení studentské práce</b>	<b>32</b>
6.1 Měření . . . . .	32
6.2 Simulace obstrukční poruchy . . . . .	33
6.3 Metodika měření . . . . .	34
6.4 Metodika automatického hodnocení . . . . .	36
6.5 Programové zpracování . . . . .	40
<b>7 Výsledky měření</b>	<b>46</b>
7.1 Spirogram, křivky objem-čas a průtok-objem . . . . .	46
7.2 Statistické zhodnocení . . . . .	49
<b>8 Závěr</b>	<b>56</b>
<b>Literatura</b>	<b>57</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>59</b>
<b>A Laboratorní cvičení</b>	<b>60</b>
<b>B Hodnoty dechových parametrů</b>	<b>72</b>
<b>C Popis souborů na přiloženém CD</b>	<b>76</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Schéma respirace. . . . .	12
2.2	Diagram větvení dýchacích cest. . . . .	13
2.3	Průběhy pulmonálních tlaků, průtoku vzduchu a objemu vzduchu během inspira a expira. [11] . . . . .	14
2.4	Dechová práce. [3] . . . . .	16
3.1	Dechové objemy a kapacity. [5] . . . . .	17
3.2	Dechové ekvilibrium. [1] . . . . .	18
3.3	Křivka průtok-objem. . . . .	20
3.4	Křivka objem-čas. . . . .	21
4.1	Spirometr založený na principu poklesu tlaku. . . . .	23
4.2	Ultrazvukový spirometr. . . . .	24
5.1	Algoritmus pro interpretaci spirometrických výsledků. . . . .	25
5.2	Srovnání křivky objem-čas pro fyziologický a obstrukční stav. . . . .	26
5.3	Průběhy různé závažnosti obstrukčního onemocnění při spirometrickém měření. . . . .	27
5.4	Měření FEV <sub>1</sub> a FVC. Jednotlivé příklady pro A – normální, B – obstrukční a C – restriktivní. [1] . . . . .	29
5.5	Variabilní extratorakální obstrukce s následnou oploštěnou inspirační částí křivky. . . . .	30
5.6	Variabilní intratorakální obstrukce s následnou oploštěnou expirační částí křivky. . . . .	30
5.7	Stálá obstrukce s následnou oploštěnou expirační i inspirační částí křivky. . . . .	31
6.1	Spirometr SS1LA, systém Biopac. . . . .	32
6.2	Jednorázový náustek s bakteriálním filtrem. . . . .	33
6.3	Náustek se zúženým průsvitem. . . . .	33
6.4	Kalibrace snímače pomocí pístu. . . . .	34
6.5	Přepočet záznamu průtoku na objem. . . . .	35
6.6	Dechové manévry pro expirační část F-V křivky. . . . .	35
6.7	Dechové manévry pro inspirační část F-V křivky. . . . .	36
6.8	Grafický přehled stanovovaných dechových objemů ze spirogramu. . . . .	38
6.9	Křivka závislosti objemu na čase pro usilovnou expiraci. . . . .	38
6.10	Grafický přehled stanovovaných dechových objemů z křivky F-V. . . . .	39
6.11	Rozložení programového okna. . . . .	40
6.12	Schéma algoritmu. . . . .	41
6.13	Vykreslení jednotlivých dechových parametrů do grafického záznamu. . . . .	43
6.14	Křivka objem-čas před (vlevo) a po (vpravo) korekci. . . . .	44

7.1	Záznam fyziologické dýchání . . . . .	46
7.2	Záznam dýchání s obstrukcí . . . . .	47
7.3	Křivka objem-čas, srovnání obou měřených stavů. . . . .	47
7.4	F-V křivka pro dýchání s obstrukcí. . . . .	48
7.5	Expirační část F-V křivky srovnávající fyziologický průběh a obstrukční průběh. . . . .	49
7.6	Porovnání doby usilovného výdechu pro oba stavy. . . . .	51
7.7	Porovnání doby klidového nádechu pro oba stavy. . . . .	52
7.8	Porovnání doby klidového výdechu pro oba stavy. . . . .	52
7.9	Krabicový graf pro parametr frekvence. . . . .	53
7.10	Krabicový graf pro parametr $FEV_1$ . . . . .	54
7.11	Krabicový graf pro parametr $FEV_1/FVC$ . . . . .	54
7.12	Krabicový graf pro parametr PEF. . . . .	55
7.13	Krabicový graf pro parametr $FEF_{25-75}$ . . . . .	55



## SEZNAM TABULEK

3.1	Přehled plicních objemů a kapacit, dle [7]. . . . .	19
5.1	Znaky ventilačních abnormalit. [16] . . . . .	25
5.2	Stádia COPN dle směrnice GOLD. [16] . . . . .	28
6.1	Přehled stanovovaných dechových parametrů ze spirogramu. . . . .	37
6.2	Stanovované dechové parametry z křivky F-V. . . . .	39
7.1	Tabulka p-hodnot pro statické dechové parametry. . . . .	50
7.2	Tabulka p-hodnot pro dynamické dechové parametry. . . . .	50
B.1	Statické dechové parametry pro fyziologický stav. . . . .	72
B.2	Statické dechové parametry pro obstrukční stav. . . . .	73
B.3	Dynamické dechové parametry pro fyziologický stav. . . . .	74
B.4	Dynamické dechové parametry pro obstrukční stav. . . . .	75

# 1 ÚVOD

Dýchání (respirace) je základní fyziologický proces nutný k přísunu kyslíku do těla. Přítomnost dýchání a odvozenou dechovou frekvenci lze jednoduše měřit pohledem. Pro detailnější posouzení respiračního systému je však potřeba objektivně změřit dechové parametry. K tomu nám slouží spirometrie.

Pomocí spirometrie měříme statické a dynamické plicní parametry. Na základě těchto parametrů je možné objektivně zhodnotit fyziologii plic měřené osoby. Základním ukazatelem plicní funkce je spirometrická křivka ukazující plicní objemy a odvozené kapacity.

Spirometrická měření nám zároveň umožní odhalit poruchy v respiraci. Základní dělení těchto spirometricky detekovatelných poruch je na obstrukční, restriční a kombinaci těchto dvou, tedy smíšená plicní onemocnění. Ke zhodnocení ventilačních poruch se v praxi používá křivka průtok-objem. Zaměření této práce je na analýzu obstrukční poruchy. Obstrukční porucha je v této práci při měření simulována pomocí úpravy spirometru.

Pro porovnání dvou stavů dýchání jsou naměřeny signály u skupiny dobrovolníků. Výstupem je databáze naměřených spirogramů a křivek průtok-objem pro normální fyziologické dýchání a stav simulované obstrukční poruchy. Pro automatickou analýzu signálů je vytvořen program, který spolu s přiloženým protokolem bude využit pro výuku ve cvičení na téma spirometrie. Hodnoty dechových parametrů získané z automatické analýzy jsou následně statisticky srovnány pro fyziologické a obstrukční dýchání. Na závěr jsou popsány jednotlivé parametry a jejich schopnost reflektovat změny způsobené simulovanou obstrukcí ve spirometru.

## 2 FYZIOLOGIE DÝCHÁNÍ

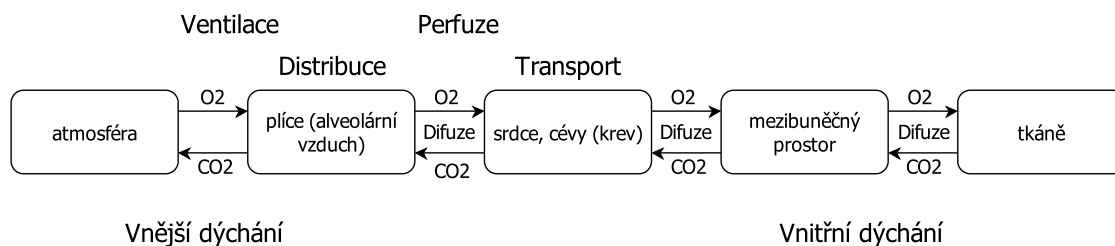
Dýchání (respirace) je periodický děj složený ze dvou fází – nádechu (inspiria) a výdechu (expiria). Respirační systém se skládá z plic, hrudní stěny a dýchacích svalů. Primární funkcí plic je výměna plynů – poskytnutí dostatku kyslíku pro energetické nároky těla a vyloučení oxidu uhličitého do vnějšího prostředí. Plíce také vykonávají řadu metabolických funkcí. Těchto funkcí je dosaženo ve spojení s oběhovým systémem.

Molekuly  $O_2$  a  $CO_2$  prostupují přes membrány pomocí prosté difuze, která je určena rozdílem parciálních tlaků daného plynu na obou stranách membrány. Enormní plochy ( $50-100\text{ m}^2$ ) zprostředkovávající výměnu plynů je dosaženo pomocí plicních sklípků (alveolů) obklopených malými krevními cévami, tzv. kapilárami. Pro  $O_2$  klesá parciální tlak ve směru vnější prostředí - buňka. Pro  $CO_2$  je tento směr opačný. Aby byla zajištěna dynamická rovnováha je zhruba 20krát menší difuzibilita  $O_2$  vyrovnána jeho větším tlakovým spádem. [1]

Vdechovaný vzduch je směsí několika plynů:  $NO_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , vzácných plynů a vodní páry. Plíce můžeme popsat jako vakovitý elastický orgán, jehož vnitřní plocha je propojena s vnějším prostředím pomocí dýchacích cest. Výměna plynů probíhá v plicních sklípcích, které jsou vystlány tenkým epitelem, přiléhajícím na hustou síť krevních vlásečnic.

Dýchání dělíme na vnější a vnitřní, viz Obr. 2.1. Vnější rozumíme výměnu plynů mezi zevním prostředím a plícemi. Na vnější dýchání navazuje přenos plynů krví. Následná výměna plynů mezi krví a tkáněmi je označováno jako dýchání vnitřní. Vnější dýchání zahrnuje čtyři základní procesy [11]:

1. Plicní ventilace, což je pravidelná výměna vzduchu v plicích během inspiria a expiria. Je odvislá od dechové frekvence a dechového objemu.
2. Distribuce, kdy dochází k promíchávání inspirovaného vzduchu se zbytkovým vzduchem z předchozího expiria (způsobeno anatomickým mrtvým prostorem).
3. Difuze  $O_2$  a  $CO_2$  přes alveolární membránu.
4. Perfuze, tj. trvalá cirkulace krve plicním řečištěm, napomáhající udržení tlakového gradientu pro  $O_2$  a  $CO_2$ .

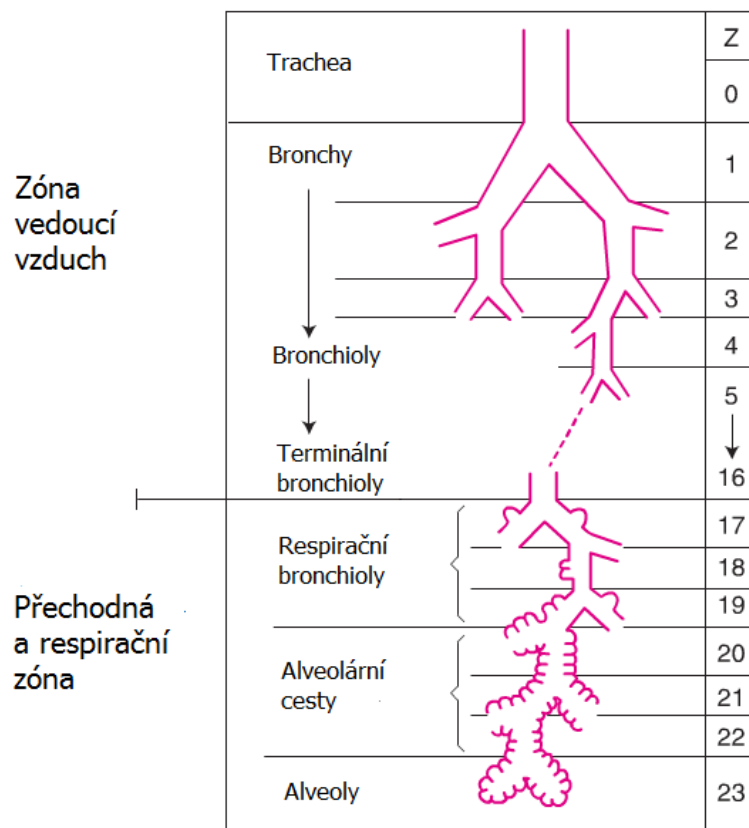


Obr. 2.1: Schéma respirace, dle [11].

Dýchací cesty se skládají ze série větvených trubic, které se postupně zužují a zkracují. Dýchací cesty se dělí na horní a dolní. Horní dýchací cesty se skládají z dutiny nosní, vedlejší nosní dutiny a nosohltanu. Úlohou horních cest dýchacích je předejít a zvlhčení vdechovaného vzduchu, společně se zbavením mikroskopických nečistot. Dolní cesty dýchací zahrnují hrtan a navazující průdušnice a průdušky. Jejich úkolem je ochrana před vdechnutím cizorodých látek. Toho je dosaženo fyziologickými a imunologickými obrannými mechanismy. Fyziologické mechanismy zahrnují hlenové řasinkovou očistu a sklípkový povlak se surfaktantem v terminální části dýchacích cest. Imunologické mechanismy zastupují místní specifické imunoglobuliny a fagocytující buňky. [22]

Diagram znázorňující větvení dýchacích cest je zobrazen na Obr. 2.2. Průdušnice (trachea) se dělí na pravou a levou hlavní průdušku (bronchus). Ty se dále dělí na segmentální průdušinky (bronchioly) vedoucí až k terminálním bronchiolům. Všechny výše zmíněné dýchací cesty jsou označovány jako cesty vedoucí vzduch a tvoří anatomicky mrtvý prostor (asi 150 mL). Terminální bronchioly se dělí na respirační bronchioly a alveolární cesty s alveolami. Zde dochází k výměně plynů a tento prostor je označován jako respirační zóna (2,5-3 L během klidu). [1] [7]

Anatomický mrtvý prostor má za následek, že výměna vzduchu v plicích není nikdy úplná. Velikost tohoto objemu závisí také na velikosti a pozici subjektu. Anatomický mrtvý prostor lze měřit pomocí tzv. Fowlerovy metody, kdy se měří koncentrace  $N_2$  ve vydechaném vzduchu po nadechnutí 100%  $O_2$ . Další metodou k měření mrtvého prostoru je Bohrova metoda, která ve výsledku udává fyziologický mrtvý prostor, neboli objem plic, který neodstraňuje  $CO_2$ . U zdravých osob je anatomický i fyziologický mrtvý prostor téměř totožný. U pacientů s plicními onemocněními však může být fyziologický mrtvý prostor mnohem větší kvůli nerovnoměrnému prokrvení a ventilaci v plicích. [1]



Obr. 2.2: Diagram větvení dýchacích cest. Číslo  $Z$  udává generaci dělení. [1]

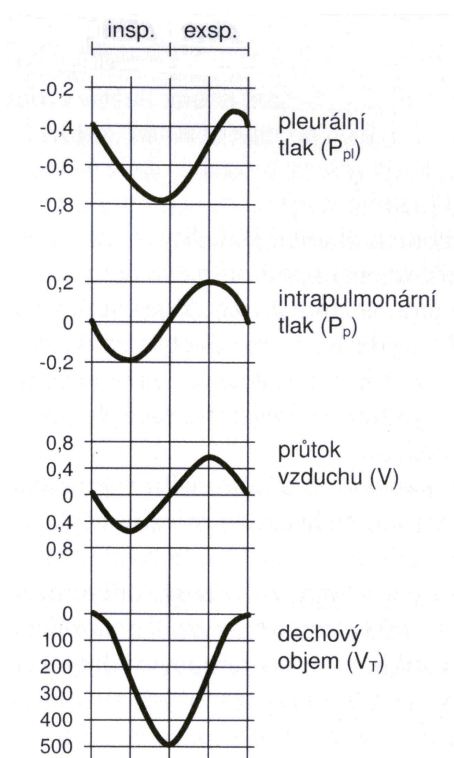
Dýchacím cestám zajišťuje trvalou průchodnost zpevnění kostěným nebo chrupavčítým skeletem. Pouze u nejtenčích bronchiolů chybí zpevnění chrupavkou a při velkém stahu svalů (spasmu) může docházet k poruše v proudění vzduchu, vedoucí až k dušení. [7]

Dýchání je řízeno dýchacími centry v prodloužené míše. Respirace je pravidelné střídání nádechu (inspirace) a výdechu (expirace). Samostatný nádech a výdech tvoří dechový cyklus. Během nádechu se zvětšuje hrudní dutina, přičemž je vzduch tažen do plic. Nárůstu objemu je dosaženo kontrakcí bránice (diafragma) a částečně zapojením mezižeberních svalů (vnější a vnitřní). K následnému výdechu je potřeba, aby zmíněné svaly zrelaxovaly a umožnily tak zmenšení objemu v plicích. Při inspiraci klade odpor jednak elasticita plicní tkáně, jednak povrchové napětí alveolů. Povrchové napětí alveolů má však díky přítomnosti surfaktantu relativně nízkou hodnotu.

Dýchací svaly zapojujeme v různých kombinacích, dle potřebného objemu vzduchu, který má být během dechového cyklu vyměněn. Dýchací pohyby se dělí na tiché dýchání (eupnoe) a nucené dýchání (hyperpnoe). Eupnoe zahrnuje kontrakce svalů, ale výdech je dějem pasivním. Zapojení svalů je různé pro hluboké (zapojuje bránici)

a mělké dýchání (dochází k zapojení vnějších mezižebních svalů). Hyperpnoe zahrnuje aktivní inspirační i expirační pohyby. Při hlubokém dýchání se do expirace zapojují i břišní svaly, které dále tlačí na bránici. [6]

Samotné plíce jsou obaleny blanou – poplicnice, která přechází na pohrudnici, tvořící vnitřní stranu hrudní stěny. Prostor takto utvořený se nazývá intrapleurální a obsahuje trvale podtlak. Velikost tohoto podtlaku kolísá s dýcháním, přičemž největší je na konci nádechu. V průběhu dechového cyklu se hodnota negativního pleurálního tlaku (podtlak přítomný ve štěrbině mezi poplicnicí a pohrudnicí) mění. Nejvyšší hodnota nastává na vrcholu inspirace (-1 kPa), nejnižší naopak v expiraci (-0,3 kPa), viz Obr. 2.3. [11]



Obr. 2.3: Průběhy pulmonálních tlaků, průtoku vzduchu a objemu vzduchu během inspira a expira. [11]

Inspirace a expirace je rovněž spojena se změnou nitroplicního (intrapulmonálního) tlaku. Při inspiriu se zvětší objem hrudníku a následkem je snížení intrapulmonálního tlaku pod hodnotu atmosférického tlaku (-0,26 – 0,4 kPa). Při expiriu se objem hrudníku naopak zmenšuje a intrapulmonální tlak je vyšší než atmosférický tlak (tlakový rozdíl podobný při nádechu). Intrapulmonální tlak rovněž určuje proudění samotného vzduchu. Během nádechu je intrapulmonální tlak nižší než atmosférický, díky čemuž vzduch pasivně proudí do plic. Na konci nádechu je tlak

vyrovnaný s atmosférickým a během výdechu je intrapulmonální tlak vyšší. Klidový výdech je děj pasivní, kdy bránice je vtahována do dutiny hrudní podtlakem. Nádech je naopak dějem aktivním. Během cvičení, nebo nucené exhalaci (např. kašel) se výdech stává také dějem aktivním. [7] [11]

Při dýchání dochází k překonávání následujících tří odporů [10]:

1. Elastický odpor plic je zapříčiněn pružností plicní tkáně. Tento odpor je překonáván činností dýchacích svalů.
2. Neelastický odpor tkání vzniká třením plicní tkáně, hrudníku, dýchacích svalů a orgánů v hrudní a břišní dutině. V porovnání s elastickým odporem má menší význam.
3. Proudový odpor dýchacích cest je určen tlakem, který je potřeba k překonání překážek v dýchacích cestách od počátku v dutině ústní až po alveoly. Hodnoty proudového odporu významně rostou za patologického stavu spojeného se zúžením dýchacích cest. Dle tvaru trubic a typu proudění se rozlišují tři typy proudění.
  - Laminární, kdy proudnice jsou rovnoběžné a nemísí se.
  - Turbulentní, kdy naopak dochází k promíchávání proudnic a možnému vzniku vírů.
  - Přečhodné, ke kterému dochází v místě rozvětvení trubic.

Zúžení průsvitu (lumen) dýchacích cest závisí na mnoha faktorech:

- Průsvit může být zúžen zevnitř např. hlenem.
- Průsvit se může zúžit při zánětu.
- K zúžení průsvitu může dojít vlivem bronchospasmu (kontrakce hladkých svalů průdušek).
- Zúžení dýchacích cest tlakem zvenčí (např. u nádoru).

Odpor kladený laminárnímu proudění závisí na geometrii trubic a vlastnostech vzduchu (2.1).

$$R = \frac{8\eta l}{r^4} \quad (2.1)$$

Vlastnosti vzduchu zastupuje  $\eta$  – dynamická viskozita vzduchu. Vlastnosti dýchacích trubic jsou definovány délkou  $l$  a poloměrem  $r$ . Tendence k turbulentnímu proudění závisí na rychlosti proudu  $v$ , poloměru trubic  $r$ , hustotě  $\varphi$  a dynamické viskozitě  $\eta$  vzduchu (2.2).

$$Re = \frac{2rv\varphi}{\eta} \quad (2.2)$$

Výsledkem je tzv. Reynoldsovo číslo (bezrozměrná veličina). Kritická hodnota Reynoldsova čísla se udává 1000, od které proudění přestává být laminární [10]. Nad tuto kritickou hodnotu je proudění přečhodné a od vyšších hodnot přechází proudění

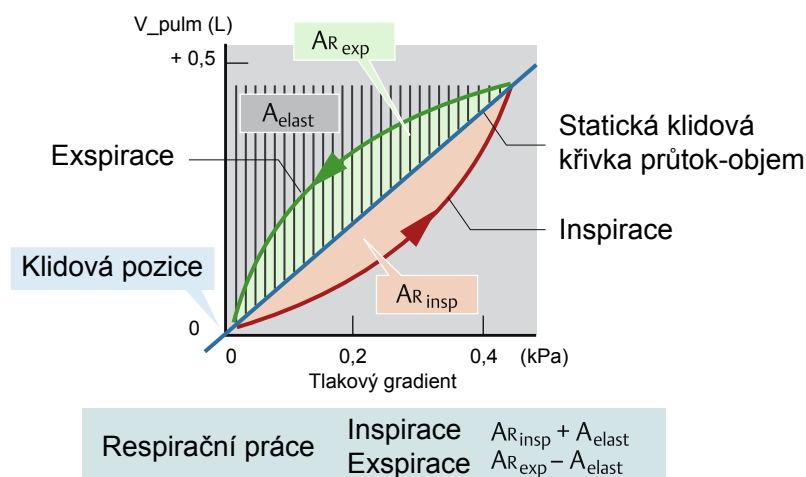
v turbulentní. Při aplikaci výše uvedených vzorců na respirační systém je třeba mít na paměti odchylky týkající se délky dýchacích cest (u jedinců různého věku) a průsvitu dýchacích cest, který se mění při inspiriu a expiriu. Za patologických podmínek se průsvit značně zmenšuje. [21]

Plicní poddajnost (compliance) se může vztahovat k dynamickým, nebo statickým parametrům. Statická plicní poddajnost je změna objemu pro daný tlak. Dynamická plicní poddajnost je pak poddajnost plic během pohybu vzduchu plicemi. Compliance plic je různá pro inspirium a expirium a vytváří tak hysterezní smyčku. Za normálních podmínek jsou plic velmi poddajné. Nejmenší compliance je pak při velkých a nízkých objemech plic. Jinými slovy je compliance poměr změny objemu a tlaku, který tuto změnu způsobil. [11]

Mechanické úsilí potřebné k překonání mechanického odporu dýchání určuje velikost dýchací práce. Dýchací práci lze vypočítat ze vzorce 2.3:

$$W = p\Delta V, \quad (2.3)$$

kde  $W$  je dýchací práce,  $p$  značí tlak a  $\Delta V$  změnu objemu vzduchu. Uváděný tlak je dán součtem tlaků potřebných k překonání elastického, neelastického a proudového odporu za klidových podmínek. Tlak je roven rozdílu tlaku mezi alveoly a poplicnicí. Tlak se však mění v závislosti na změně objemu, proto je výsledkem průběhu hysterezní smyčka. Elastická práce vycházející z elastického odporu určuje celkovou dýchací práci. Elastická práce je aktivně vykonávána při nádechu, kdy se mění v potenciální energii, která je poté uvolněna při výdechu (viz Obr. 2.4).



Obr. 2.4: Dechová práce. [3]



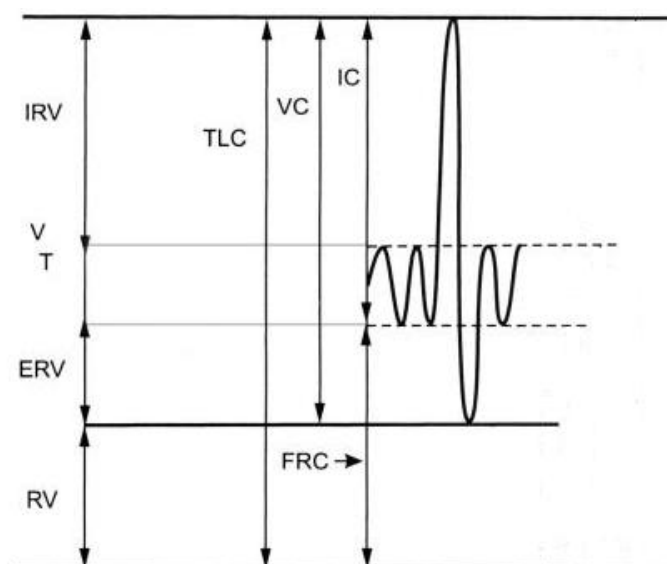
### 3 SPIROMETRIE

Spirometrie je měřicí metoda určená k hodnocení plicních funkcí. Informuje nás o průchodnosti dýchacích cest a stavu plicního parenchymu. Spirometrické testy lze rozdělit na statické a dynamické. Základními parametry, které při spirometrii sledujeme jsou průtok, objem a tlak dýchacích plynů.

U statických testů je primárním zájmem měření objemu. Dynamické testy nám podávají informace o změně objemu v čase. Výsledná závislost objemu na čase se nazývá spirogram. Limitací spirometrie je fakt, že měřicí systém skrze náustek ovlivní přirozený, fyziologický dechový cyklus. Taktéž použití nosního klipu zavádí další nepřirozený vliv na dýchání měřené osoby. Spirometrie zároveň vyžaduje plnou spolupráci pacienta, k získání reprodukovatelných výsledků. [8]

#### 3.1 Statické plicní objemy

Klidový nádech je u zdravého jedince 0,5 L, tato hodnota se označuje jako dechový objem (VT). Usilovným nádechem můžeme dále nadechnout ještě zhruba 3 L, tedy inspirační rezervní objem (IRV). Součtem těchto dvou hodnot (VT a IRV) je inspirační kapacita. Pokud se zaměříme na výdech, tak po normálním výdechu je možné usilovně vydechnout ještě zhruba 1,5 L, tj. expirační rezervní objem (ERV). Po usilovném výdechu zůstává v plicích ještě vzduch, označovaný jako reziduální objem (RV). Všechny uváděné hodnoty závisí na věku, zdravotním stavu a trénovanosti dané osoby. [7]



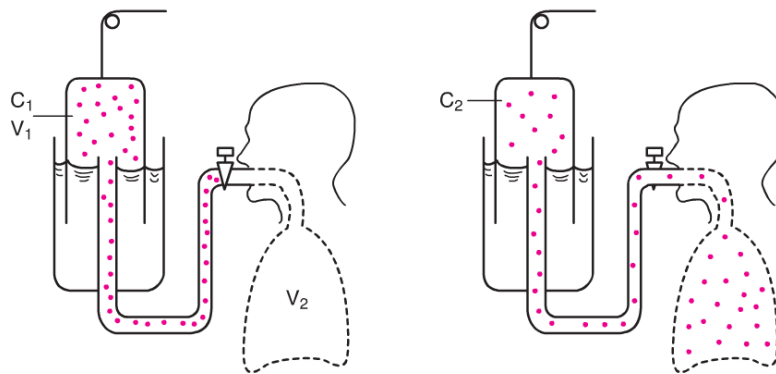
Obr. 3.1: Dechové objemy a kapacity. [5]

Reziduální objemy nelze změřit klasickou spirometrií. K jejich určení je potřeba metoda celotělové pletysmografie, případně metoda ředění testovacího plynu. U druhé zmíněné metody je subjekt napojen na spirometr se známou koncentrací helia, které je nerozpustné v krvi. Po několika dechových cyklech je koncentrace helia v plicích i spirometru shodná, nastává ekvilibrium. Protože nedošlo ke ztrátě helia, je možné z rovnice 3.1 osamostatnit objem plic (3.2):

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot (V_1 + V_2) \quad (3.1)$$

$$V_2 = V_1(C_1 - C_2)/C_2, \quad (3.2)$$

kde  $C_1$  je koncentrace helia před měřením pouze v uzavřeném objemu spirometru  $V_1$ ,  $C_2$  je koncentrace helia po provedení několika dechových cyklů a  $V_2$  je výsledný objem plic. [1]



Obr. 3.2: Dechové ekvilibrium. [1]

Spojením dvou a více objemů získáváme tzv. plicní kapacity. Velmi často udávanou hodnotou je vitální kapacita plic (VC). Ta udává objem vzduchu, který je možné vydechnout maximálním expiračním úsilím po předchozím maximálním nádechu. Skládá se celkem ze tří objemů: VT, IRV a ERV. Inspirační kapacita (IC) udává objem vzduchu, který je možné nadechnout maximálním inspiračním úsilím po předcházejícím klidném výdechu. Jeho hodnota je dána součtem VT a IRV. Součet rezervních objemů (ERV a RV) udává funkční reziduální kapacitu plic (FRC), což je množství vzduchu, které zůstane v plicích po klidném výdechu. A nakonec součtem všech plicních objemů získáme celkovou kapacitu plic (TLC), neboli objem vzduchu obsažený v plicích po maximálním nádechu.

Objemy, kapacity	Zkratka	Fyziologická hodnota (dospělá osoba)
Dechový objem	VT	0,5 L
Inspirační rezervní objem	IRV	3 L
Exspirační rezervní objem	ERV	1,5 L
Reziduální objem	RV	1,2 L
Inspirační kapacita	IC	3,5 L
Funkční reziduální kapacita	FRC	2,7 L
Vitální kapacita	VC	5 L
Celková kapacita plic	TLC	6 L

Tab. 3.1: Přehled plicních objemů a kapacit, dle [7].

Plicní objemy a kapacity závisí na věku, výšce, pohlaví a fyzické kondici jedince. Například rozsah u vitální kapacity je 2,5 – 7 L. Z tohoto důvodu byly stanoveny empirické vzorce pro lepší hodnocení plicních funkcí. Pro zmíněnou vitální kapacitu plic jsou udávány vzorce pro muže:  $VC = 5,2h - 0,022r - 3,6(\pm 0,58)$  a pro ženy:  $VC = 5,2h - 0,018r - 4,36(\pm 0,42)$ , kde  $h$  je výška (v metrech) a  $r$  je věk (v letech). V závorce je dále uvedena směrodatná odchylka. K zhodnocení přítomnosti ventilační poruchy jsou základem konvenčně stanovené hodnoty norem ventilačních parametrů. Ke správnému stanovení diagnózy je potřeba dalších vyšetření a anamnestických údajů pacienta. [4] [22]

Velmi často stanovovaným parametrem, i díky snadné detekovatelnosti vizuálně, je frekvence dýchání. Hodnota dechové frekvence je asi 15 cyklů za minutu. Tato hodnota se samozřejmě mění při změně fyzické i psychické zátěže. Prostým součinem dechového objemu a frekvence dýchání získáme údaj o minutové ventilaci:

$$MV = VT \cdot f \quad (3.3)$$

Při normálních hodnotách je výsledek přibližně  $7,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $0,5(\text{L}) \cdot 15(\text{min}^{-1})$ ). Vzhledem k již zmíněnému mrtvému prostoru je alveolární ventilace, tedy objem vzduchu účastníci se výměny  $\text{O}_2$  a  $\text{CO}_2$  v alveolech, pouze kolem 5 L. Při tělesné zátěži u trénovaných osob dochází ke zvýšení minutové ventilace pomocí zvýšení dechového objemu. U osob netrénovaných je to pak zvýšením dechové frekvence.

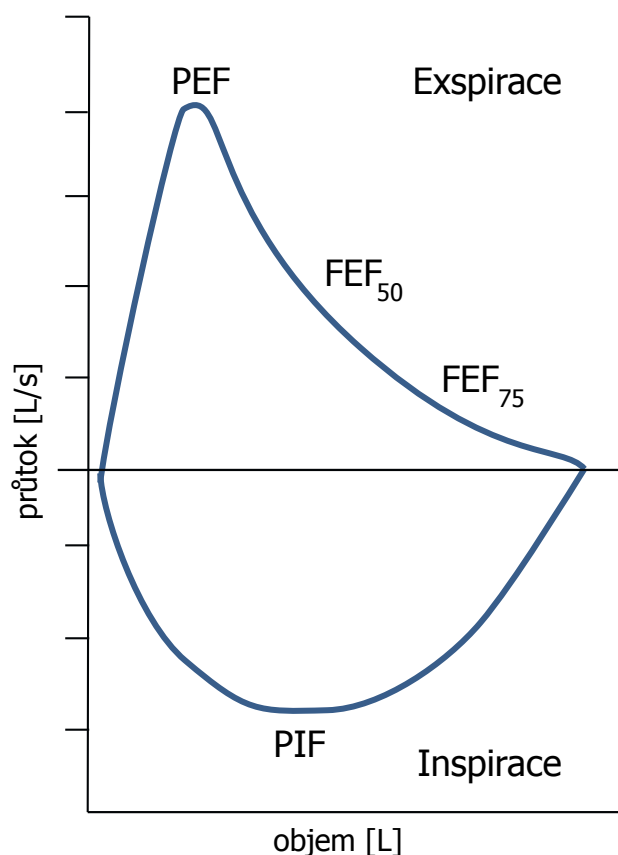
## 3.2 Dynamické plicní objemy

Ke stanovení dynamických plicních parametrů slouží dvě základní metody. První metoda měří průtok jako funkci času a nese označení flow-volume (průtok-objem).

Objemy jsou zde počítány integrací průtoku podle času. Druhá metoda měří objem jako funkci času a má název volume-time (objem-čas). Průtoky jsou počítány derivací objemu podle času.

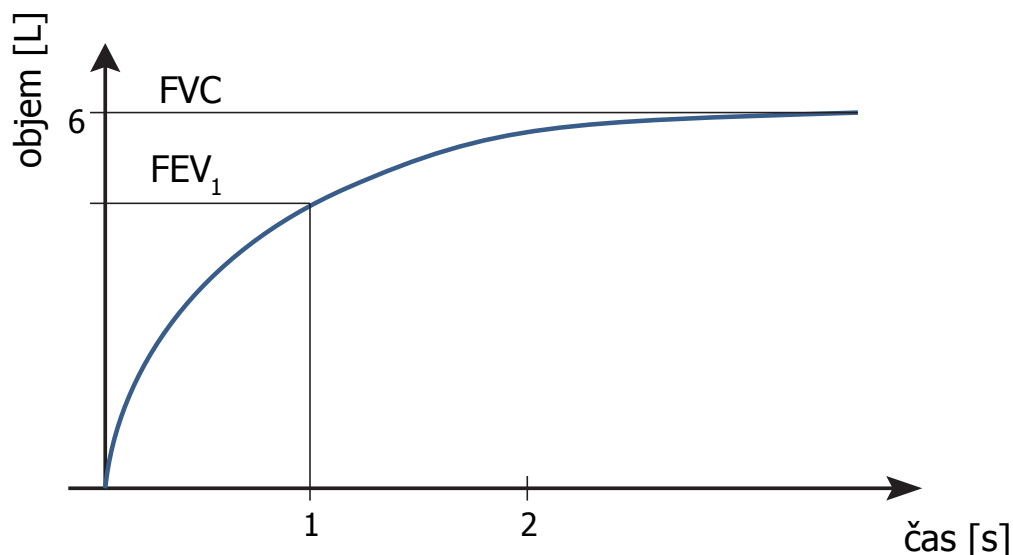
Při plicních onemocněních se kromě dechových objemů měří expirační sekundová kapacita  $FEV_1$ , tzv. Tiffeneauův test (FEV test). Výsledek tohoto testu udává podíl usilovně vydechnutého vzduchu v první sekundě ku celkové vitální kapacitě ( $FEV_1/FVC$ ). Fyziologická je hodnota větší než 0,7 (70 %).

Křivka průtok-objem (F-V) je grafický záznam výdechových rychlostí (průtoků) v průběhu usilovného výdechu. Normální křivka průtok-objem má počátek na ose x (osa pro objem). Na počátku testu mají průtok i objem nulové hodnoty (viz Obr. 3.3). Po zahájení expirace nastává strmý průběh křivky až do bodu PEF (vrcholový výdechový průtok). Po PEF nastává pokles křivky, jak se postupně vydechuje více vzduchu. Pokles má u zdravé osoby lineární, nebo konvexní průběh až do bodu FVC. Následný nucený nádech má podobný průběh, avšak s méně výrazným vrcholem PIF (vrcholový nádechový průtok). Průchodnost dýchacích cest se stanovuje dle parametrů vycházejících z křivky průtok-objem. [22]



Obr. 3.3: Křivka průtok-objem, dle [20]

Další možností jak zobrazit průběh usilovných dechových manévrů je tzv. křivka objem-čas. Tato křivka se nejčastěji využívá pro expirační usilovný manévr. Ihned po zahájení usilovného výdechu má křivka strmý náběh a postupně konverguje k limitě, kterou je v tomto případě usilovná vitální kapacita (FVC). U této křivky se hodnotí strmost nástupu křivky a také čas, za který je dosaženo hodnoty FVC.



Obr. 3.4: Křivka objem-čas. Překresleno dle [14]

Z dynamických parametrů se sledují následující:

- FVC – usilovná vitální kapacita.
- FEV<sub>1</sub> – expirační sekundová kapacita.
- FEV<sub>1</sub>/FVC – poměr sekundové kapacity k usilovné vitální kapacitě.
- FEF<sub>25–75</sub> – průměrná rychlost průtoku ve střední polovině FVC
- PEF – maximální výdechová rychlost.

K zaručení vypovídajících výsledků ze spirometrického testu by měly být splněny následující kritéria [19]:

- Zaznamenány alespoň 3 technicky uspokojivé pokusy.
- Záznam expirační části křivky průtok-objem by měl být hladký bez nepravidelností, které by svědčily o kašli nebo kolísajícím výdechovém úsilí.
- Naměřené alespoň 2 hodnoty FEV<sub>1</sub>, které se vzájemně liší pouze o 100 ml nebo o 5 %.
- Záznam by měl být dostatečně dlouhý k dosažení plateau na výdechové části křivky. U osob s těžkým obstrukčním onemocněním může toto trvat i 15 s. Při zkráceném čase nedojde ke správnému určení FVC.

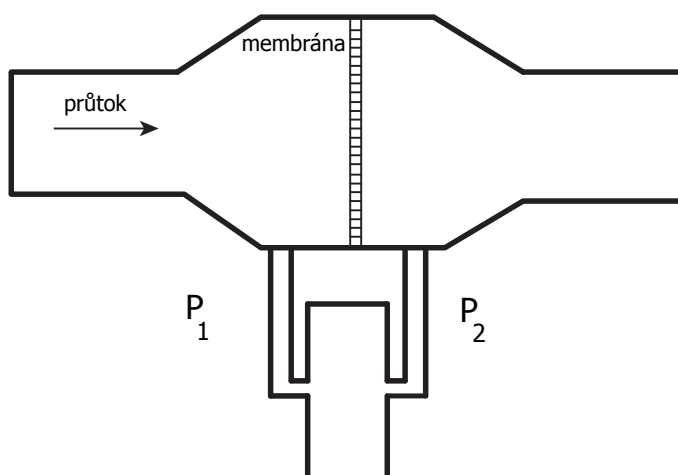
Nejčastější příčinou nekonzistentních záznamů je nesprávná technika pacienta při provádění měření. Chyby mohou být detekovány pozorováním pacienta při dechových manévrech a při analýze výsledných spirometrických křivek. Nejčastější chyby, které se mohou vyskytnout při spirometrii jsou následující [16]:

- Neadekvátní a neúplné inspirium.
- Pomalý nástup a nedostatečné úsilí při maximálním výdechu.
- Neúplné vyprázdnění plic, což je častým jevem u COPN.
- Exspirace částečně nosem, při nesprávném použití nosního klipu. Dále netěsnosti mezi rty a náustkem.
- Špatné držení těla, předklon apod.
- Přítomnost kašlání během záznamu.

## 4 SPIROMETRY

Původním typem spirometru je zařízení se zvonem s vodním těsněním. Měřená osoba je připojena k vnitřnímu prostoru zvonu pomocí náustku a tubusu. Při dýchání se registruje pohyb zvonu, což umožňuje přímé měření objemu. Spirometry v dnešní době jsou založeny na měření proudění vzduchu definovaným průměrem (pneumotachografy). Většina metod měří objem nepřímo, pomocí integrace měřeného průtoku v čase. Nejčastěji používané metody pro spirometrická měření jsou následující [12],[23]:

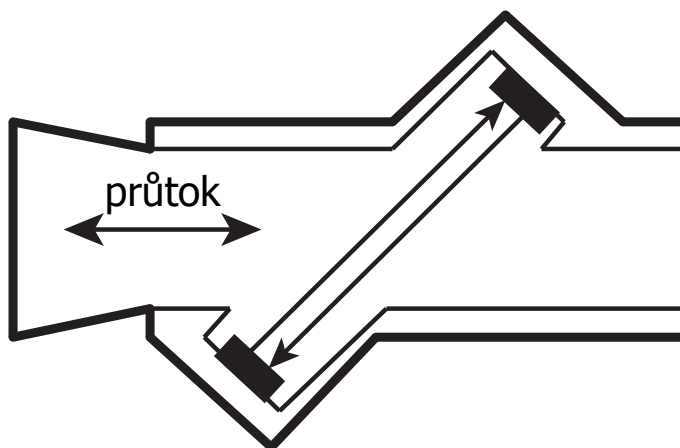
- Založené na Venturiho principu. Je to fyzikální princip, kdy dochází k poklesu tlaku a nárůstu rychlosti u plynu nebo tekutiny při průtoku zúženou částí trubice. Tyto spirometry měří pokles tlaku během dechové aktivity měřené osoby. Rozlišují se dva typy: Lilly a Fleisch. Typ Lilly měří rozdíl tlaku před a za membránou o známém odporu. Typ Fleisch používá sérii paralelních kapilár. Tento typ spirometru je také použit v této práci při měření dobrovolníků. Trubice před a za membránou vedou vzduch na diferenciální tlakový převodník.



Obr. 4.1: Spirometr založený na principu poklesu tlaku. Překresleno dle [12].

- Měření otáček u malé turbínky. Nadechovaný a vydechovaný vzduch roztáčí turbínku, u které bezkontaktně snímáme otáčky. Ty jsou úměrné rychlosti proudění vzduchu. Výsledky jsou spolehlivé a reprodukovatelné, nedochází zde k vlivu tlaku nebo vlhkosti na výsledek měření.
- Ultrazvuk – Dva piezo elementy nastavené diagonálně proti sobě vysílají a přijímají ultrazvukové vlny. Bez průtoku je čas průchodu vln z obou směrů stejný. Pokud je přítomen průtok vzduchu, jsou vlny v jednom směru urychleny a čím větší velikost rozdílu mezi časem průchodu vln, tím větší rychlost průtoku

vzduchu. U těchto spirometrů není potřeba kalibrace, výsledky jsou spolehlivé a přesné.



Obr. 4.2: Ultrazvukový spirometr. Překresleno dle [13].

- Piezoelektrické a piezorezistivní měniče. Piezoelektrický jev je založen na principu přeměny deformace krystalu na elektrické napětí. Piezorezistivní jev je pak změna rezistivity materiálu při aplikování deformační síly.
- Anemometr s horkým drátem. Napříč tubusem je umístěn tenký drát, který je vyhříván elektrickým proudem na danou teplotu. Při dýchání dochází k ochlazení drátu a tím snižování jeho odporu. Tato změna odporu poté zpětnově řídí nastavení původní teploty. Změna vyhřívacího proudu udává informaci o měřeném proudu vzduchu. U tohoto typu spirometru je problém s kalibrací a také nemožnost měřit směr proudění vzduchu (určení inspirace a expirace).



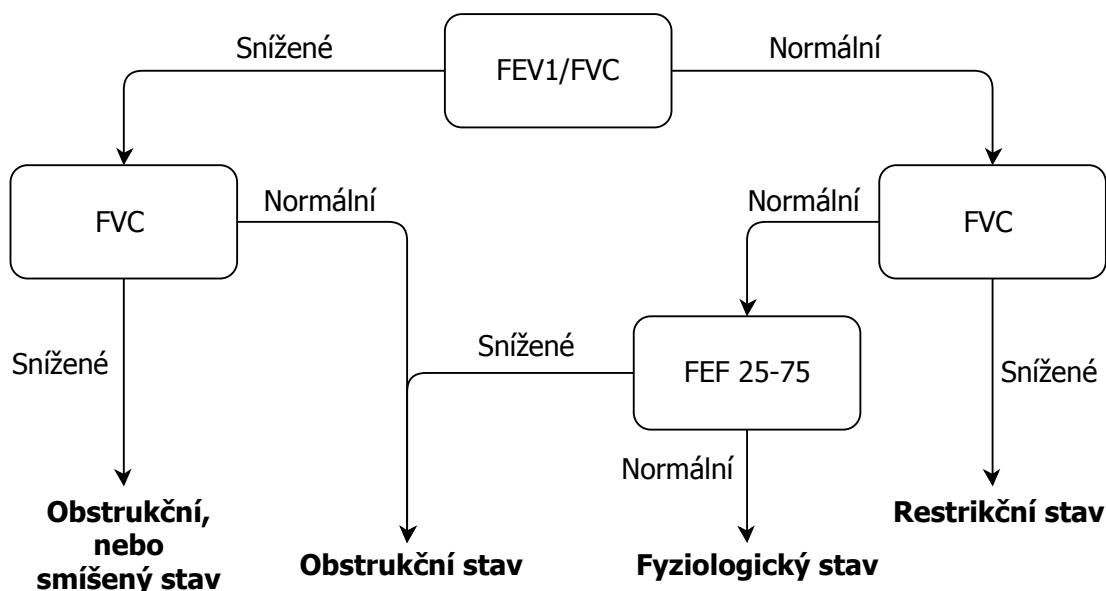
## 5 VENTILAČNÍ PORUCHY

Spirometrická vyšetření nám kromě analýzy dechových objemů umožňují diagnostikovat i základní ventilační poruchy. Pokud se podíváme na inspirium, tak za fyziologického stavu dochází k distribuci vdechovaného vzduchu do jednotlivých částí plic. Existují však i poruchy, které tuto distribuci znesnadňují až znemožňují. Poruchy této distribuce vdechovaného vzduchu můžeme rozdělit do základních složek plicních onemocnění: obstrukční, restriční a smíšené.

	<b>Obstrukční</b>	<b>Resktrikční</b>	<b>Smíšená</b>
<b>FEV1</b>	Redukované	Redukované / normální	Redukované
<b>FVC</b>	Redukované / normální	Redukované	Redukované
<b>FEV1/FVC</b>	Redukované	Redukované / zvýšené	Redukované

Tab. 5.1: Znaky ventilačních abnormalit. [16]

Při vyšetření plic je potřeba rozlišit jednotlivé kroky pro správnou diagnózu daného plicního onemocnění. Takovou diferenciální diagnostiku umožňuje následující algoritmus, který na základě spirometrických měření rozliší zdravého pacienta a nemocného s obstrukční, restriční, případně smíšenou plicní chorobou:



Obr. 5.1: Algoritmus pro interpretaci spirometrických výsledků. Překresleno dle [15].

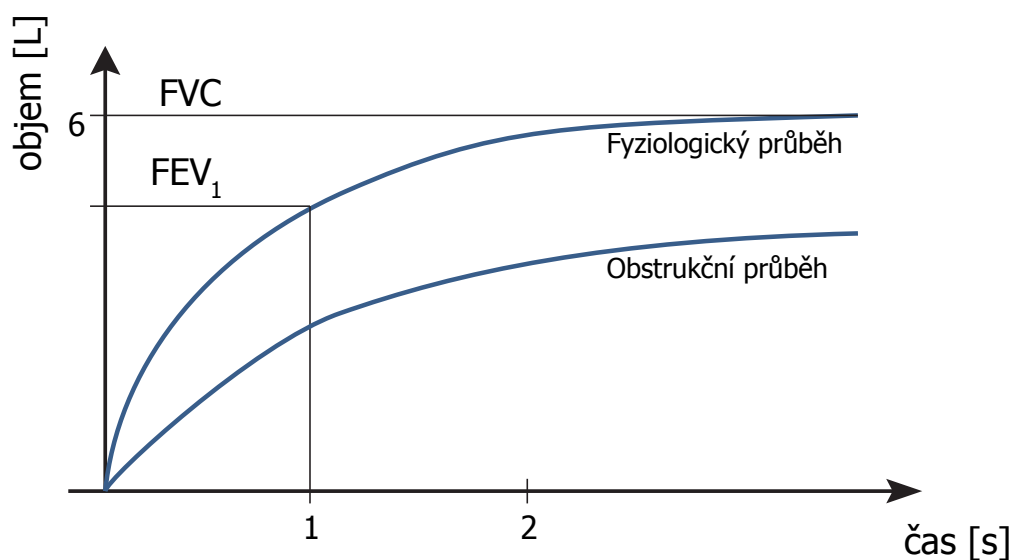
Z nákresu je patrné, že základním parametrem, na který je potřeba pohlížet, je poměr  $FEV_1/FVC$ . Následně se zohlední samotná usilovná vitální kapacita a dopl-

ňujícím parametrem může být průměrný průtok při 25 až 75 % vydechnuté FVC, označovaný jako  $FEF_{25-75}$ .

## Obstrukční

Chronická obstrukční plicní nemoc, označovaná zkratkou COPN. Je to chronické progresivní onemocnění charakterizované destrukcí plicního parenchymu a plicní bronchitidou. COPN a astma jsou dva různé druhy obstrukčního onemocnění. [2]

Charakteristické pro obstrukční typ ventilačních poruch je zvýšení odporu dýchacích cest. Zvýšená rezistence je dvou základních příčin – intratorakální a extratorakální. U intratorakálních dochází ke zvýšení odporu dýchacích cest zúžením nebo ucpáním bronchů v důsledku kontrakcí hladké svaloviny, ztluštěním sliznice nebo tvorbou hleny. Extratorakální nárůst odporu dýchacích cest může být v důsledku ochrnutí hlasových vazů nebo kompresí trachey z vnějšku. U extratorakálních příčin je postiženo z větší části inspirium, u intratorakálních příčin je to pak expirium. Závažnost obstrukce je možné hodnotit dle usilovně vydechnutého objemu za 1 s –  $FEV_1$ , dále dle usilovných expiračních průtoků ( $FEF_{25}$ ,  $FEF_{50}$  a  $FEF_{75}$ ). [22] U obstrukčního onemocnění končí expirace předčasně a tím se zvyšují hodnoty RV a FRC. Srovnání fyziologického průběhu s obstrukčním během usilovného výdechu lze vidět na následujícím Obr. 5.2. U obstrukčního stavu je náběh křivky méně strmý, většinou také doba dosáhnutí FVC bývá delší.

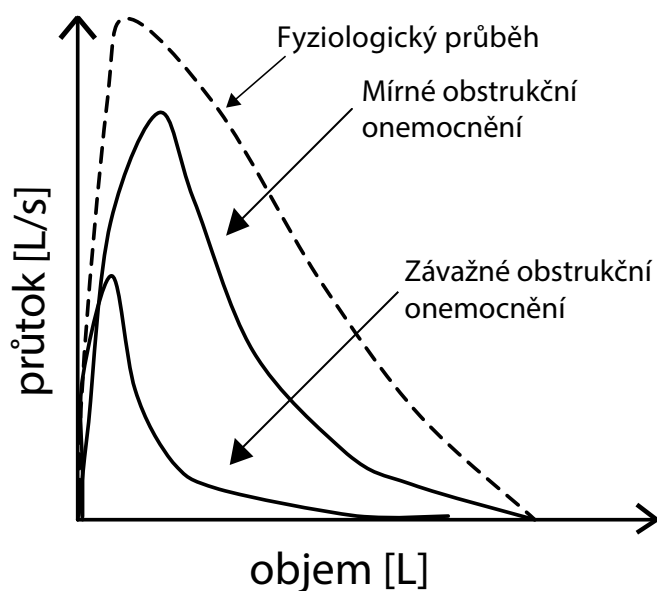


Obr. 5.2: Srovnání křivky objem-čas pro fyziologický a obstrukční stav. Překresleno dle [14].

Vzduch z širších dýchacích cest lze vydechnout snadno, proto je PEF normální. Problém nastává, když se začne vydechovat vzduch z užších dýchacích cest. Při obstrukční plicní chorobě jsou tyto cesty částečně blokovány a vydechovaný vzduch proudí ven pomaleji. Výsledkem je pomalý průtok a náhlý pokles v křivce průtok-objem. [23]

Obstrukční nemoci se dělí z hlediska rozsahu poruchy na:

- Lokalizované – bronchiální obstrukce, např. cizí těleso, nádor, zánět.
- Generalizované
  - Reverzibilní – zde se řadí astma.
  - Ireverzibilní – chronická plicní obstrukční nemoc (COPN) v důsledku emfyzému, nebo např. chronické bronchitidy.



Obr. 5.3: Průběhy různé závažnosti obstrukčního onemocnění při spirometrickém měření. Přerušovanou čarou je znázorněna fyziologická křivka.

Globální iniciativa pro chronické obstrukční plicní onemocnění (GOLD) napomáhá osvětě o tomto onemocnění a zároveň vydává směrnice pro diagnózu, péči a prevenci při COPN. Dle GOLD [16] je COPN rozdělena do 5 stádií, s rozsahem od 0 do 4.

Stádium	Charakteristika
0: V ohrožení	Normální spirometrie Chronické symptomy (kašel, tvorba hlenu)
1: Mírná COPN	FEV <sub>1</sub> /FVC < 70 % FEV <sub>1</sub> ≥ 80% předpovídané
2: Střední COPN	FEV <sub>1</sub> /FVC < 70 % FEV <sub>1</sub> mezi 50 a 80% předpovídané
3: Vážná COPN	FEV <sub>1</sub> /FVC < 70 % FEV <sub>1</sub> mezi 30 a 50 % předpovídané
4: Velmi vážná COPN	FEV <sub>1</sub> /FVC < 70 % FEV <sub>1</sub> ≤ 30 % předpovídané

Tab. 5.2: Stádia COPN dle směrnice GOLD. [16]

Pro dechové parametry lze u obstrukčních poruch vypočítat následující změny:

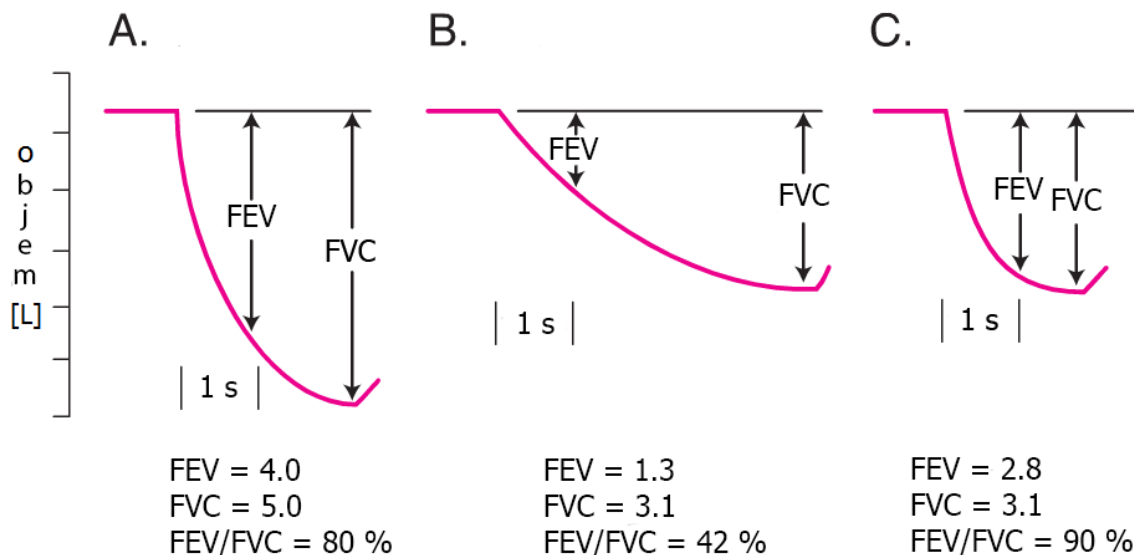
- U obstrukčních onemocnění je FEV<sub>25-75</sub> nízké, FVC stejné a tím pádem FET (výdechový čas) bude delší (menší průtok, při zachování stejného vydechnutého objemu).
- Restriktivní onemocnění vykazují nízký celkový objem (FVC). FEV<sub>1</sub> je také nízké, přičemž Tiffeneau index bývá normální až zvýšený. Jelikož dýchací cesty jsou fyziologické, má křivka průtok-objem normální tvar (kromě koncového bodu objemu).
- Smíšené onemocnění je kombinací obstrukčních i restriktivních syndromů a křivka průtok-objem má charakteristiky obou syndromů.

Astma je chronická zánětlivá choroba dýchacích cest, kterou charakterizuje zvýšená reaktivita na různé stimuly vedoucí k bronchiální obstrukci. Po kontaktu s určitými podněty a následnému zúžení dýchacích cest je narušeno především vydechování. Vdechování vzduchu většinou narušeno není. Obstrukce je reverzibilní buď spontánně nebo po aplikování terapie. Zúžování průsvitu dýchacích cest u astmatu je dále zhoršeno akumulací hlenu. Astmatem trpí cca. 2–3 % populace a řadí se mezi nejčastější chronická onemocnění. I v případě astmatu existuje Globální iniciativa pro astma (GINA), která se snaží snížit prevalenci a morbiditu u tohoto onemocnění. [2] [17] [18]

Test reverzibility je určen k odlišení astmatu od ostatních plicních obstrukčních onemocnění. Tento test se řídí následujícími kroky:

- Spirometrický test (alespoň 2 reprodukovatelné křivky průtok-objem).
- Inhalace rychle účinkujícího bronchodilátoru.
- 15 minut pauza.
- Druhý spirometrický test (alespoň 2 reprodukovatelné křivky průtok-objem).

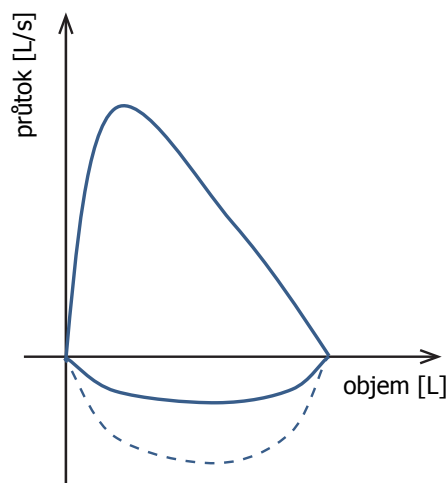
V případě astmatu dojde k výraznému nárůstu  $FEV_1$  po inhalaci bronchodilátoru. Nárůst hodnoty  $FEV_1$  alespoň o 15 % je určující pro diagnózu astmatu. Pokud je nárůst menší než zmíněných 15 %, je obstrukce zřejmě jiného původu.



Obr. 5.4: Měření  $FEV_1$  a FVC. Jednotlivé příklady pro A – normální, B – obstrukční a C – restrikční. [1]

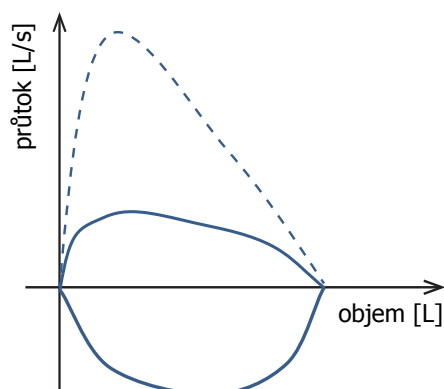
V případě postižení širších dýchacích cest lze rozlišit 3 křivky pro obstrukční onemocnění:

- Variabilní extratorakální obstrukce na Obr. 5.5. Expirační část F-V křivky je normální, jelikož obstrukce je tlačena ven. Během inspirace je naopak obstrukce nasávána do trachey způsobující částečnou obstrukci. Důsledkem je oploštění inspirační části křivky.



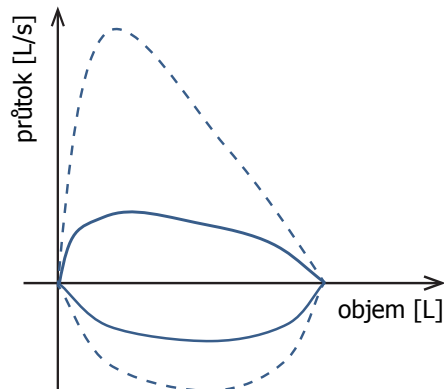
Obr. 5.5: Variabilní extratorakální obstrukce s následnou oploštěnou inspirační částí křivky. Fyziologický průběh inspirace znázorněn přerušovanou čarou. Překresleno dle [23].

- Variabilní intratorakální obstrukce na Obr. 5.6. V tomto případě se jedná o opačnou situaci než u extratorakální obstrukce. Tumor v blízkosti intratorakální části trachey je sán ven během inspirace, což má za následek normální průběh inspirační části F-V křivky. Během expirace je tlačěn dovnitř, tvořící parciální obstrukci a oploštění expirační části F-V křivky.



Obr. 5.6: Variabilní intratorakální obstrukce s následnou oploštěnou expirační částí křivky. Fyziologický průběh expirace znázorněn přerušovanou čarou. Překresleno dle [23].

- Stálá obstrukce na Obr. 5.7. Obstrukce může být intra- i extratorakální. Křivka F-V je v tom případě oploštěna z obou stran.



Obr. 5.7: Stálá obstrukce s následnou oploštěnou expirační i inspirační částí křivky. Fyziologický průběh znázorněn přerušovanou čarou. Překresleno dle [23].

## Restrikční

U tohoto typu onemocnění je omezena výměna plynů důsledkem nižšího počtu funkčních alveolů a tím pádem i nižší difuzní plochy, kterou alveoly zprostředkovávají. Taktéž může dojít k omezení dýchacích pohybů. U této nemoci klesá vitální kapacita a usilovná vitální kapacita. Hodnocením poklesu vitální kapacity lze orientačně určit stupeň restrikční ventilační poruchy. Pokud je dosažená hodnota VC v rozsahu 60-80 % náležité hodnoty, potom se jedná o lehkou restrikční nemoc. Restrikční ventilační porucha je charakteristická sníženou roztažitelností plic a hrudníku. Compliance plic je snížena a proto je potřeba vyšší tlak  $\Delta P$  na stejné zvýšení objemu  $\Delta V$ . Při zapojení inspiračních svalů dochází k menšímu nárůstu inspiračního objemu. Restrikční onemocnění může být způsobeno intratorakálně (plicní tumor, zánět, stav po resekci části plic) nebo extratorakálně (kyfoskolióza – chorobné zakřivení páteře do strany a dozadu). [22]

U restrikčního onemocnění je FVC menší než normálně, ale  $FEV_1$  zůstává vysoké. Proto také poměr  $FEV_1/FVC$  může být vyšší než normálně. To je zapříčiněno tím, že u restrikce je snazší rychle vydechnout díky vysoké zpětné elasticitě plic.

## Smíšená

Pokud se projeví u pacienta zároveň symptomy jak obstrukční, tak restrikční, hovoříme o nemoci smíšené. Tiffeneau index i hodnoty FVC jsou snižené. Hlavním úkolem je dále pátrat po hlavní příčině, která nejvíce přispívá k tomuto smíšenému stavu. Výsledek dále poskytne možnost léčit tento stav dle míry přispění obstrukčního nebo restrikčního symptomu.

## 6 ŘEŠENÍ STUDENTSKÉ PRÁCE

### 6.1 Měření

Samotné měření bylo provedeno pomocí měřicího systému Biopac. Pro měření průtoku byl použit spirometr SS1LA (Obr. 6.1). Dýchání měřených osob probíhalo skrze jednorázové náustky s bakteriálním filtrem (Obr. 6.2), které se nasazovaly přímo na vstupní hlavicí spirometru. Při měření byla použita vzorkovací frekvence  $f_{vz} = 100 \text{ Hz}$ .



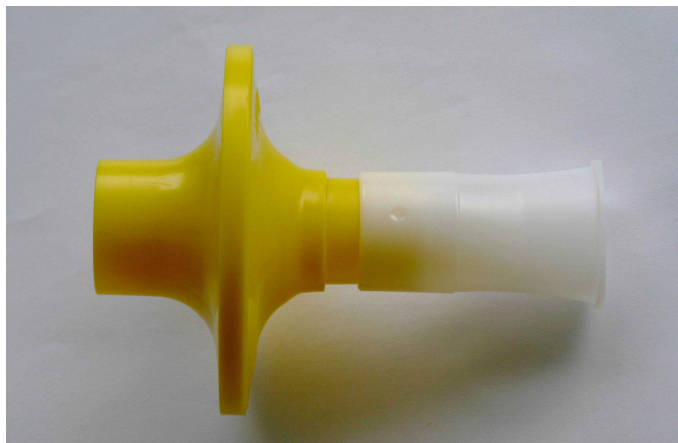
Obr. 6.1: Spirometr SS1LA, systém Biopac.

Pro získání optimálních dat je potřeba dodržovat určité zásady při měření. Standardizované podmínky měření zajistí porovnatelnost výstupních hodnot mezi dobrovolníky. Mezi tato doporučení patří následující [9]:

- Držet spirometr ve svislé poloze během celého měření. Naklánění od svislé polohy může způsobit nepřesnosti ve výstupních datech.
- Vždy používat nosní klip a snažit se ústy o těsné obejmutí náustku, aby proudící vzduch procházel pouze přes průtokový snímač.
- Dýchat normálně přes spirometr před zahájením záznamu a chvíli po skončení záznamu. Toto je důležité k zabránění vzniku artefaktů na začátku a konci záznamu.



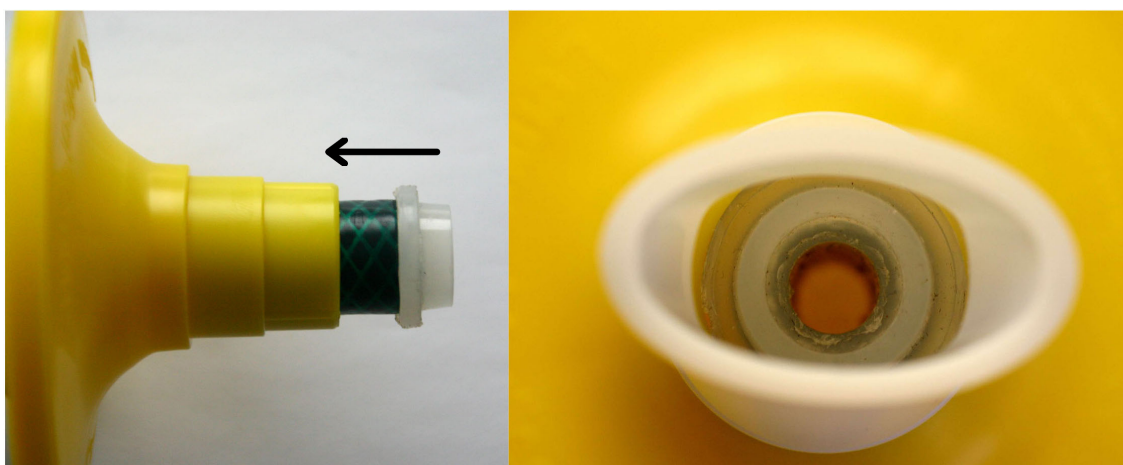
- Během maximálních nádechových a výdechových úsilí je potřeba, aby se hrudník co nejvíce rozeplnul na maximální objem. Z toho důvodu by měřená osoba měla mít volné oblečení.



Obr. 6.2: Jednorázový náustek s bakteriálním filtrem.

## 6.2 Simulace obstrukční poruchy

Pro srovnání dechových parametrů za fyziologického stavu s parametry při obstrukčních poruchách, byl navržen jednoduchý simulátor. U obstrukčních poruch se jedná o zúžení průsvitu dýchacích cest, vedoucí ke ztížení zejména expirační fáze dechového cyklu. Zúžení bylo simulováno vložením krátké gumové hadice o vnitřním průměru 7 mm. Hadice je fixována do jednorázového náustku pomocí izolační pásky, viz Obr. 6.3. Náustek bez obstrukce má v daném místě průsvit 21 mm.



Obr. 6.3: Náustek se zúženým průsvitem.

U zdravých osob je vitální kapacita (VC) a usilovná vitální kapacita (FVC) stejná. Na rozdíl od osob s obstrukční plicní poruchou, kde může být VC větší než FVC z důvodu komprese a kolapsu menších dýchacích cest během usilovného manévru. V tomto měření je však obstrukce extratorakální, v široké dýchací cestě (v náustku). Proto by neměl být rozdíl v hodnotách VC a FVC.

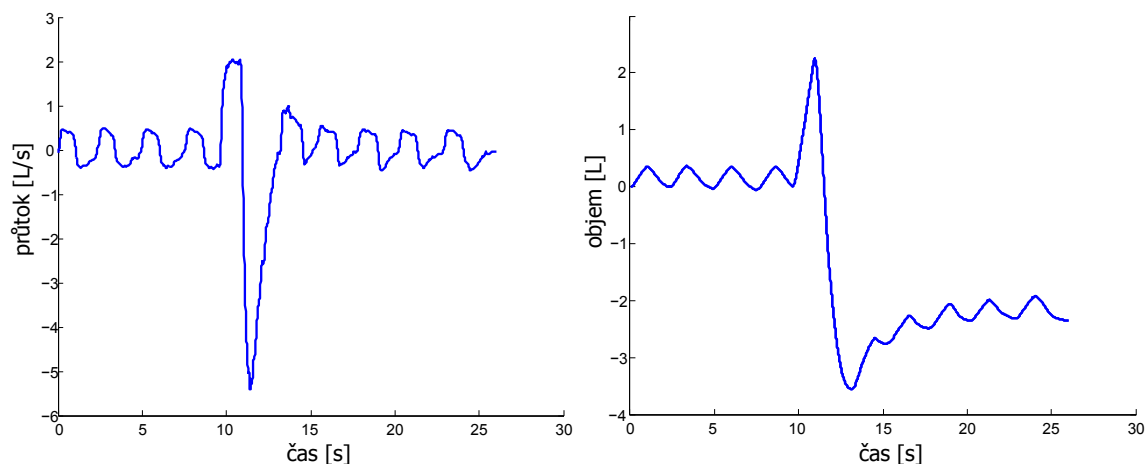
### 6.3 Metodika měření

Před každým měřením je zapotřebí nejprve zkalibrovat spirometr pomocí pístu o definovaném objemu (600 mL), viz Obr. 6.4.



Obr. 6.4: Kalibrace snímače pomocí pístu.

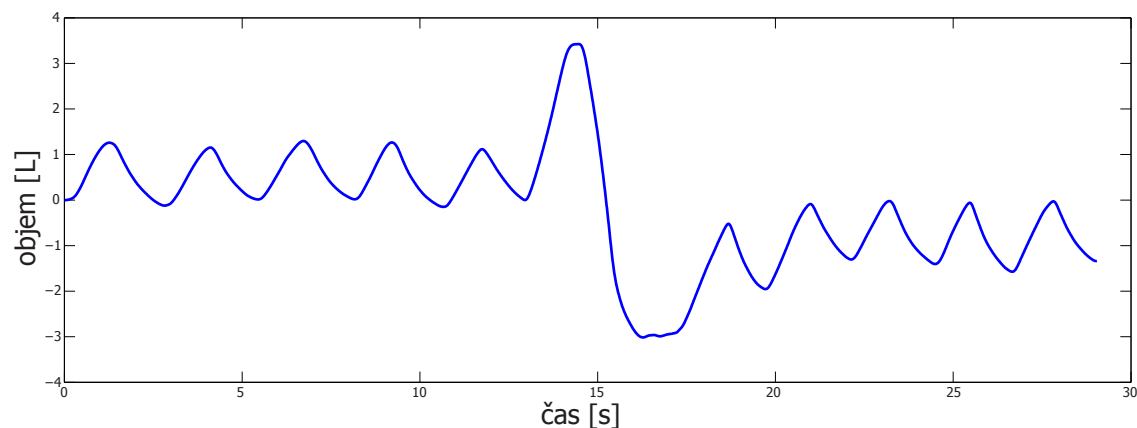
Proces kalibrace je nezbytný pro správný přepočítání průtoku vzduchu na objem. Na Obr. 6.5 níže je zobrazen záznam průtoku a jeho integrací v čase získáme záznam objemu.



Obr. 6.5: Přepočet záznamu průtoku na objem.

Náustek s filtrem je nasazen na snímač ve správné orientaci. Poté následuje samotné měření, které se skládá ze dvou samostatných částí. V první části měření se provedou manévry pro stanovení dechových parametrů pro normální fyziologický stav. Měřená osoba provede následující sekvenci dechových manévrů:

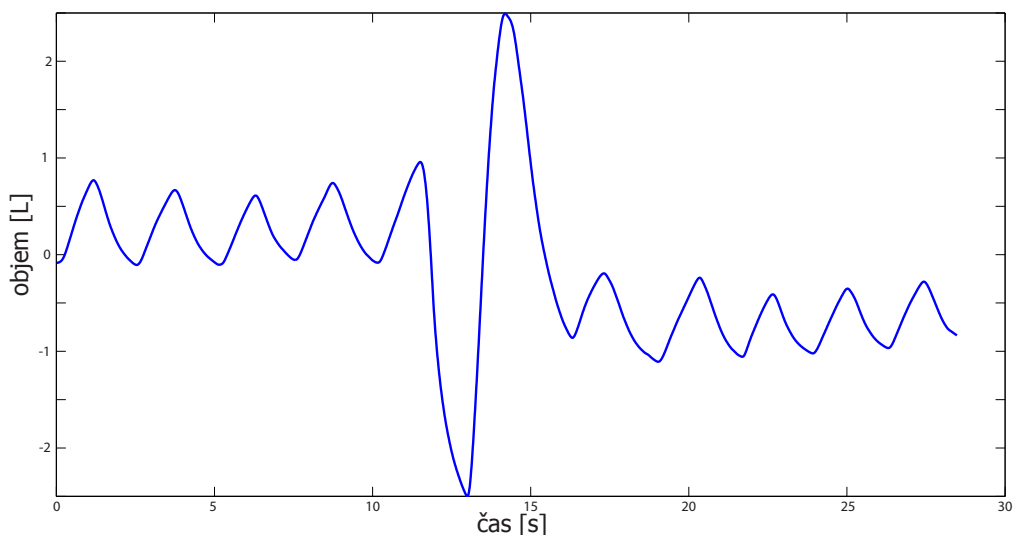
- 5 klidových dechových cyklů
- maximální nádech
- usilovný maximální výdech
- 5 klidových dechových cyklů.



Obr. 6.6: Dechové manévry pro expirační část F-V křivky.

Z těchto dechových manévrů získáme data pro expirační část křivky průtok-objem. Jelikož je velmi obtížné pro měřenou osobu provést zaráz v jednom měření usilovnou expiraci a následně i usilovnou inspiraci, je potřeba inspirační část změřit zvlášť. Následují tedy tyto dechové manévry:

- 5 klidových dechových cyklů
- maximální výdech
- usilovný maximální nádech
- 5 klidových dechových cyklů.



Obr. 6.7: Dechové manévry pro inspirační část F-V křivky.

V druhé části měření je potřeba simulovat obstrukční poruchu vložení gumové hadice a fixovat izolační páskou. Poté provede měřená osoba stejnou sekvenci dechových manévru jako v první části měření.

## 6.4 Metodika automatického hodnocení

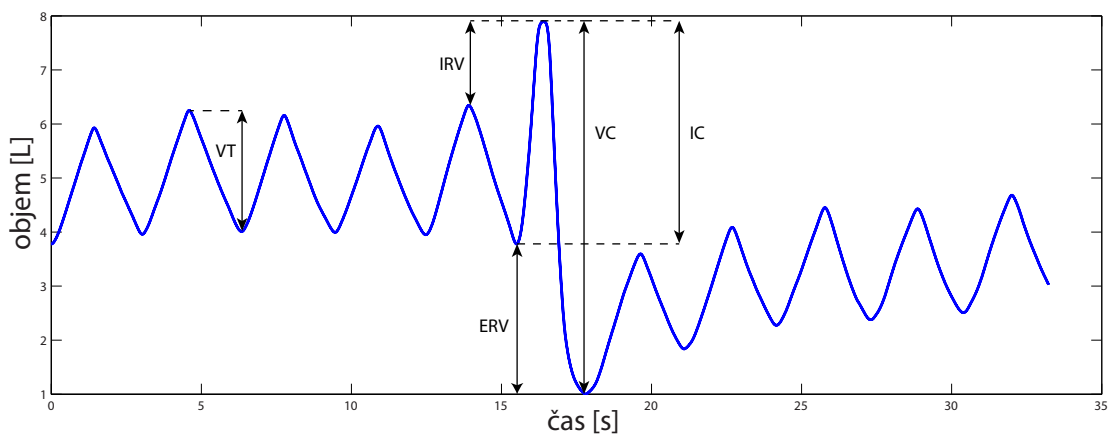
Dechový objem se stanoví jako rozdíl inspiračního maxima a expiračního minima v jednom dechovém cyklu. Pro přesnější stanovení je dechový objem (**VT**) určen jako průměr z pěti dechových cyklů na začátku spirometrického vyšetření. Z úvodních dechových cyklů je také možné stanovit frekvenci dýchání (**f**) a z něj odvozený minutový dechový objem (**MV**,  $MV = f \cdot VT$ ). Na pět dechových cyklů navazuje maximální nádech. Rozdíl maximální hodnoty při maximálním nádechu a inspiračního maxima odpovídá inspiračnímu rezervnímu objemu (**IRV**). Po maximálním nádechu následuje maximální výdech. Z minimální hodnoty při maximální výdechu lze poté stanovit expirační rezervní objem (**ERV**) jako rozdíl této hodnoty a expiračního minima. Po získání IRV a ERV lze následně dopočítat jednotlivé plicní kapacity jako součty dílčích plicních objemů. Jmenovitě tedy usilovnou vitální kapacitu (**FVC**)

a inspirační kapacitu (**IC**). Jak bylo zmíněno v sekci 3.1, reziduální objemy klasickou spirometrií měřit nelze, tudíž ani hodnoty TLC a FRC není možné v tomto případě stanovit. Všechny měřené parametry získané ze spirogramu jsou uvedeny v následující Tab. 6.1 a objemy graficky znázorněny na Obr. 6.8. Zajímavé srovnání přináší taktéž čas potřebný k jednotlivým volným i usilovným dechovým manévřům. Srovnány budou časy klidového nádechu i výdechu a zejména pak čas potřebný ke kompletnímu dokončení maximálního usilovného výdechu. Pro stanovení výsledného času klidového nádechu i výdechu budou stanoveny jednotlivé časy (pro každý nádech a výdech) jako rozdíl poloh maxim a minim. Ze všech dílčích hodnot pro jednotlivé dechy bude poté stanovena výsledná průměrná hodnota zvláště pro nádech a výdech.

<b>Dechový parametr</b>	<b>Zkratka</b>
Dechový objem	VT
Frekvence dýchání	f
Minutový dechový objem	MV
Inspirační rezervní objem	IRV
Exspirační rezervní objem	ERV
Usilovná vitální kapacita	FVC
Inspirační kapacita	IC

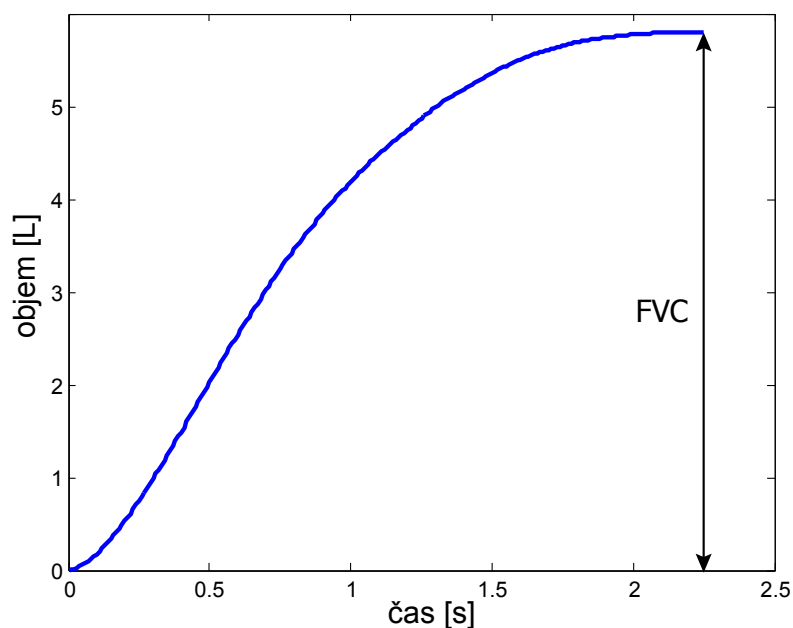
Tab. 6.1: Přehled stanovovaných dechových parametrů ze spirogramu.

Jak je patrné z níže uvedeného spirogramu, dochází u jednotlivých dechových cyklů ke kolísání dechového objemu (VT). Proto bude tento objem stanovován jako průměr ze všech pěti dechových objemů před maximálním nádechem a výdechem. Z těchto pěti dechových cyklů se taktéž bude stanovovat frekvence dýchání a z něj odvozená hodnota minutové ventilace.



Obr. 6.8: Grafický přehled stanovovaných dechových objemů ze spirogramu.

Pro usilovné dechové manévry (zejména expirační) se taktéž občas využívá zobrazení křivky objem-čas (Obr. 6.9). Z této křivky lze jednoduše vyčíst náhlý nárůst objemu během prvních sekund usilovného manévru a poté ustálení objemu na hodnotě FVC.



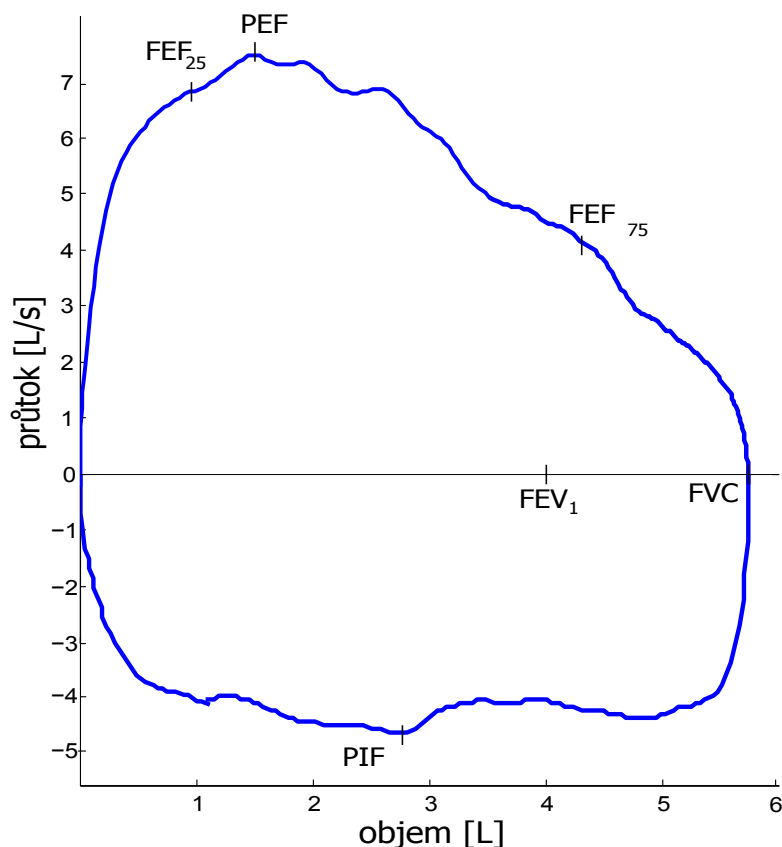
Obr. 6.9: Křivka závislosti objemu na čase pro usilovnou expiraci.

Smyčku průtok-objem (F-V) získáme během maximálního usilovného výdechu a následného maximálního a usilovného nádechu. Pro analýzu smyčky F-V jsou důležité hodnoty **PEF**, tedy maximální hodnota průtoku při maximálním výdechu.

Stanoví se jako maximální hodnota na křivce. Dále hodnota objemu po dokončení expira – **FVC**. Je to hodnota objemu, která je vydechnuta během usilovného výdechu. Z křivky se stanoví jako průchod nulou, nebo také začátek inspiria. Pro hodnocení obstrukce plicních cest (respektive simulace tohoto stavu), je také důležitá hodnota  $FEV_1$ , tedy objem vydechnutý během první sekundy. Při následném inspiriu stačí zhodnotit **PIF**, tedy maximální hodnotu průtoku při nádechu, což reprezentuje minimální hodnota křivky průtok-objem. Všechny parametry stanovované z křivky F-V jsou uvedeny v Tab. 6.2 níže a graficky vyobrazeny na Obr. 6.10.

Průtok, objem	Zkratka
Usilovně vydechnutý objem za 1s	$FEV_1$
Poměr $FEV_1$ k usilovné vitální kapacitě	$FEV_1/FVC$
Maximální výdechový průtok	PEF
Maximální nádechový průtok	PIF

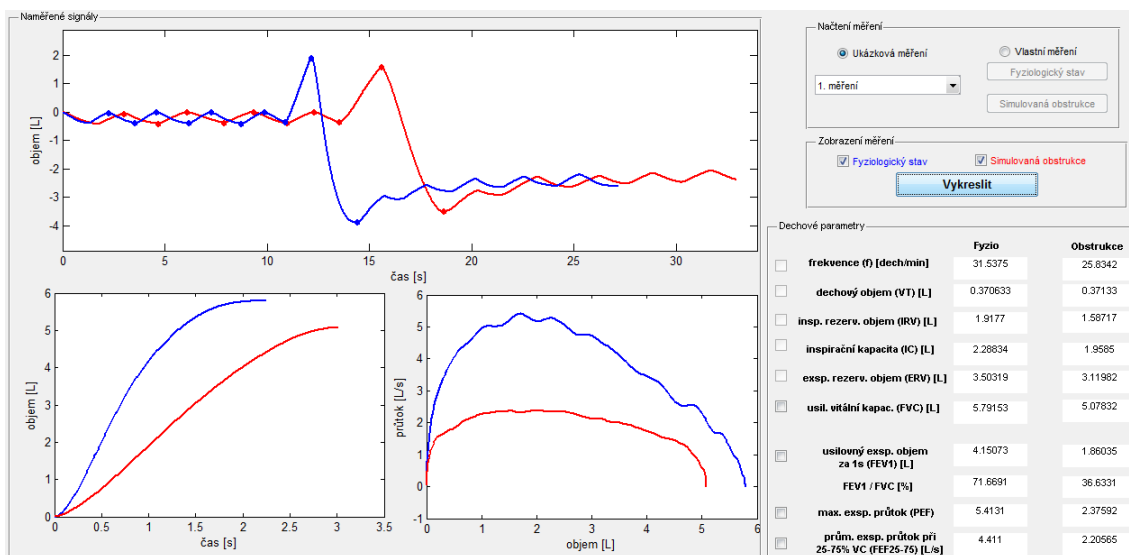
Tab. 6.2: Stanovované dechové parametry z křivky F-V.



Obr. 6.10: Grafický přehled stanovovaných dechových objemů z křivky F-V.

## 6.5 Programové zpracování

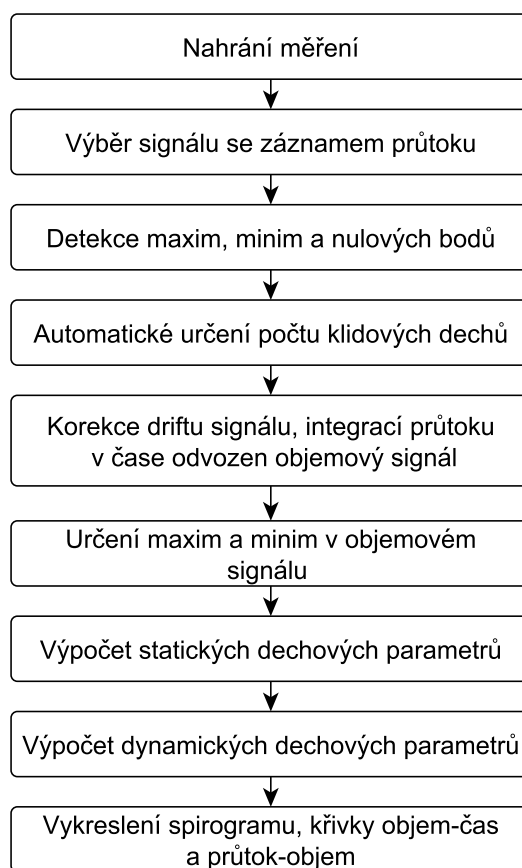
Samotný program pro automatickou analýzu dechových parametrů byl vytvořen v prostředí Matlab. Rozložení programového okna s již zobrazenými průběhy a vyčítanými parametry lze vidět na Obr. 6.11.



Obr. 6.11: Rozložení programového okna.

Schéma naprogramovaného algoritmu je zobrazeno na Obr. 6.12. Pro samotný algoritmus je základem nahrání dvou souborů se signály (fyziologický a obstrukční). Pokud záznam průtoku není spuštěn při nádechu a ukončen při výdechu, může dojít k pozvolnému driftu nulové izolinie u zobrazené objemové křivky v programu Biopac. Ve vytvořeném programu je tento problém ošetřen stanovením průměrné hodnoty ze všech úvodních klidových nádechů. Právě o tuto hodnotu je křivka posunuta oproti nulové hodnotě. Odečtením této průměrné hodnoty u všech hodnot průtoku dojde ke korekci a následný objem počítaný jako integrál průtoku v čase je zbaven driftu.





Obr. 6.12: Schéma algoritmu.

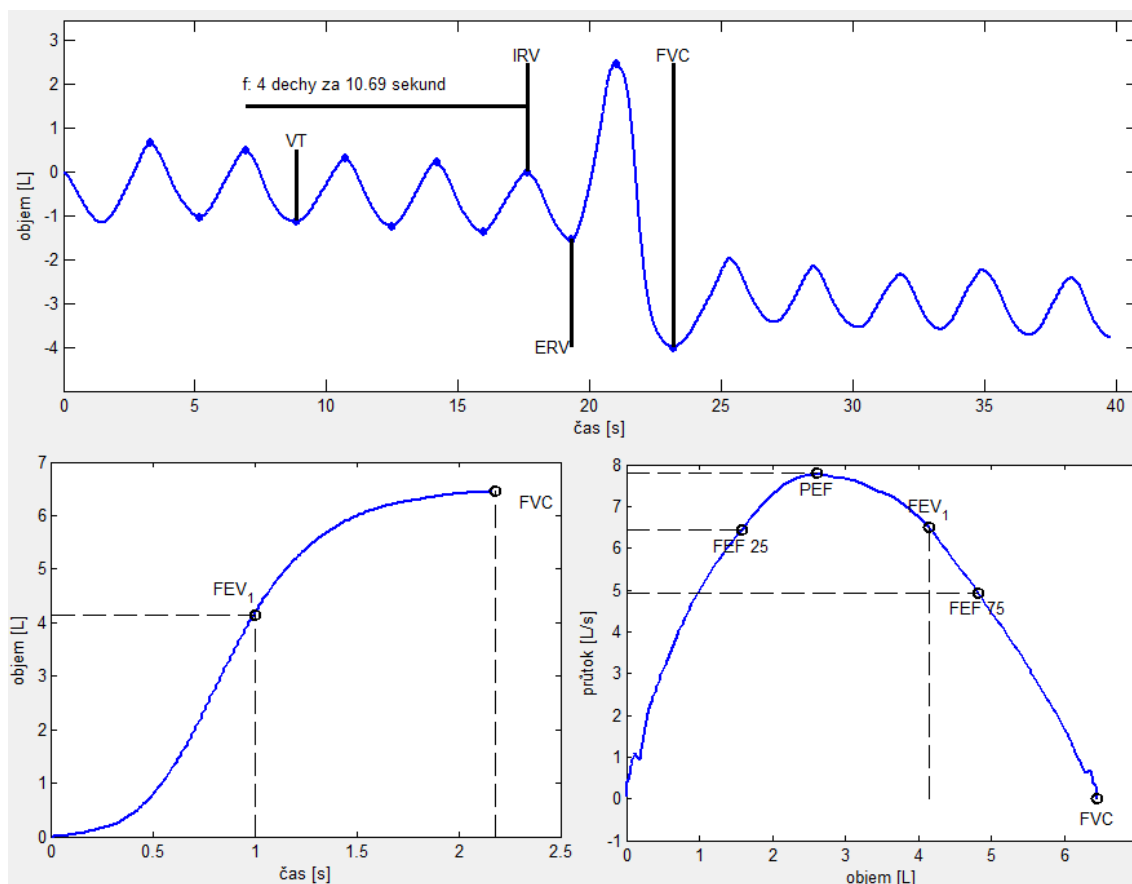
Spuštění záznamu respirace v prostředí Biopac nastane v různých okamžicích dechového cyklu, proto je pro následné výpočty záznam průtoku v programu Spirometrie vždy brán od začátku inspiria. V záznamu průtoku jsou postupně detekována jednotlivá lokální maxima a minima, která odpovídají nulovým bodům u objemové křivky. Dle hodnot jednotlivých minim je poté určen počet klidových dechů (maximální výdech má oproti klidovým výdechům mnohem vyšší absolutní průtokové hodnoty). U některých dobrovolníků měla průtoková křivka kolísavý charakter, zejména pak při průchodu nulou vznikala falešná lokální maxima a minima. Toto bylo ošetřeno dvěma způsoby:

1. Nastavení prahové hodnoty pro začátek detekce maxim a minim. Tato hodnota však nemohla být příliš velká, jelikož dýchání každého z nás je jinak hluboké/mělké.
2. Detekce nulových bodů. Pokud se pozice lokálního extrému nacházela blízko nulového bodu, jednalo se o zákmit v záznamu a detekovaný extrém nebyl započítán.

Důležité pozice v průtokovém signálu jsou nulové body, které v případě přepočítané objemové křivky odpovídají inspiračním a expiračním maximům. V grafickém zobrazení jsou tato maxima a minima zobrazena tečkami v příslušné barvě fyziologického, nebo obstrukčního průběhu. Nulové body jsou také podstatné pro správné zobrazení křivky průtok-objem. I v případě detekce nulových bodů musely být ošetřeny různé zákmity. V tomto případě stačilo prosté nastavení minimální hodnoty času, o kterou musely být dva nulové body od sebe vzdáleny.

Jelikož signál po úpravě začíná inspiřiem, lze podle detekovaných nulových bodů přiřadit, zda se jedná o maximum, nebo minimum v objemové křivce. S pozicí lokálního extrému je zároveň uložena hodnota v daném extrému, která se následně použije pro výpočet jednotlivých dechových parametrů. Jednotlivé extrémy mají zápornou hodnotu pro minimum (výdech) a kladnou hodnotu pro maximum (nádech). Pro křivky objem-čas a průtok-objem bylo potřeba objem přepočítat tak, aby na začátku usilovného výdechu byla hodnota objemu nulová a na konci tohoto manévru naopak maximální. Od první (maximální) hodnoty se tedy postupně odečítaly všechny hodnoty usilovného výdechu. Dohodnutou normou pro zobrazení křivky průtok-objem je vykreslení výdechové části nad osou  $x$  (tedy objemu). Jelikož při výdechu je průtok záporný, je důležité všechny hodnoty průtoku z usilovného manévru vynásobit zápornou hodnotou pro získání kladných hodnot. Výpočet statických i dynamických parametrů je popsán v sekci 6.4.

Jako vstup lze nahrát již připravené měření pomocí rolovacího menu. Uživatel může také nahrát vlastní měření se dvěma soubory se záznamem průtoku pro dva stavy, tedy fyziologický a obstrukční. Dále je zatrhnutím příslušného pole ve vykreslovací části zvoleno, který průběh bude zobrazen (jednotlivě, nebo oba zároveň). Pro zobrazení obou stavů zároveň jsou průběhy barevně odlišeny – modrá pro fyziologický průběh a červená pro simulovanou obstrukci. Levá polovina programového okna poté zobrazuje graficky zvolené průběhy. Horní záznam je spirogram pro jednotlivé statické dechové objemy. V dolní části jsou pak dva grafy. Jedním je záznam objem-čas a druhým je křivka průtok-objem pro zobrazení dynamických dechových parametrů. Pravá dolní část okna zobrazuje vypočtené dechové parametry pro oba stavy. Pomocí zatrhávacích polí je možné přímo do zobrazených oken grafů vykreslit dané dechové parametry (viz Obr. 6.13).



Obr. 6.13: Vykreslení jednotlivých dechových parametrů do grafického záznamu.

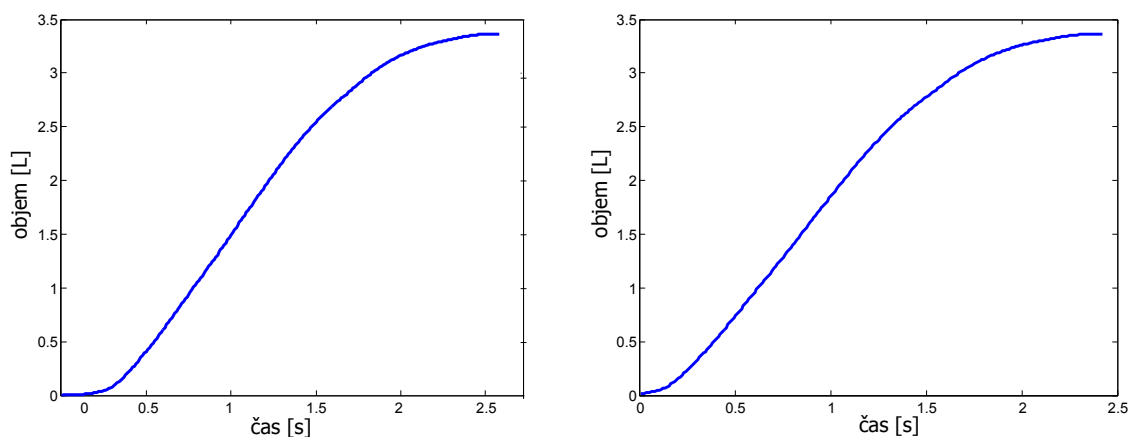
Pro přehlednost je možné vykreslovat statické dechové objemy pouze při zobrazeném jednom záznamu (fyziologický nebo obstrukční). Dynamické dechové parametry lze vykreslit při zobrazených obou záznamech. Je to dáno tím, že v záznamu objem-čas a průtok-objem jsou fyziologický i obstrukční průběh dostatečně odlišné a nedochází k překrývání vykreslených pomocných čar, tudíž nedochází ke zhoršení přehlednosti jako v případě spiogramu.

Vykreslení jednotlivých dechových parametrů je po zatržení provedeno přímo do grafického záznamu. Dechové objemy a kapacity jsou znázorněny plnou čarou doplněnou o označení daného parametru formou zkratky. U dynamických parametrů jsou jednotlivé hodnoty na křivce (objem-čas a průtok-objem) označeny kroužkem opět s vypsanou zkratkou parametru. Dále jsou doplněny přerušovanou čarou, která spojuje hodnotu s příslušnou osou:

- objemová osa pro FEV<sub>1</sub> a FVC
- průtoková osa pro PEF a FEF<sub>25-75</sub>
- časová osa u FEV<sub>1</sub>

Zobrazením parametrů přímo do grafického záznamu je pro uživatele dosaženo lepšího pochopení jednotlivých parametrů aplikovaných na vlastní měření. Každé měření se totiž v určité míře liší od ideálního fyziologického zobrazení popsaném v teoretickém úvodu (kapitola 3).

Křivka objem-čas se zobrazuje v intervalu od konce maximálního nádechu po konec maximálního usilovného výdechu. Je to tedy celý úsek stanovované usilovné vitální kapacity. Je však potřeba ještě provést menší korekci signálu. Při měření je dobrovolník instruován, aby se maximálně nadechl a poté provedl maximální usilovný výdech. Právě mezi těmito dvěma manévry většinou dochází k menší pauze, která se projeví kolísáním průtoku kolem nulové hodnoty. Aby křivka objem-čas měla náběh shodný se začátkem usilovného výdechu je potřeba odstranit část průtokového signálu kolísajícího kolem nulové hodnoty. Pro srovnání jsou zobrazeny dva záznamy před a po korekci (viz Obr. 6.14 níže).



Obr. 6.14: Křivka objem-čas před (vlevo) a po (vpravo) korekci.

Křivka průtok-objem se taktéž, jako v případě křivky objem-čas, zobrazuje v intervalu od konce maximálního nádechu po konec maximálního usilovného výdechu. Inspirační část křivky průtok-objem není v programu zahrnuta ze dvou důvodů. Jedním důvodem je přehlednost – uživatel by měřil a následně nahrával dvakrát více souborů. Druhým důvodem je fakt, že pro hodnocení základních plicních funkcí je expirační část křivky-průtok objem zcela postačující (z inspirační části křivky by se získal pouze jeden dechový parametr navíc). Pokud by se stanovovala i inspirační část křivky průtok-objem, potom by se jednalo o interval od konce maximálního výdechu po konec maximálního usilovného výdechu.

V programu je taktéž nastaveno vypsání chybových hlášek při nesprávných krocích ze strany uživatele, případně chybách v importovaných naměřených signálech. Pokud uživatel zvolí nahrání souboru s měřením a následně není žádný zvolen, je

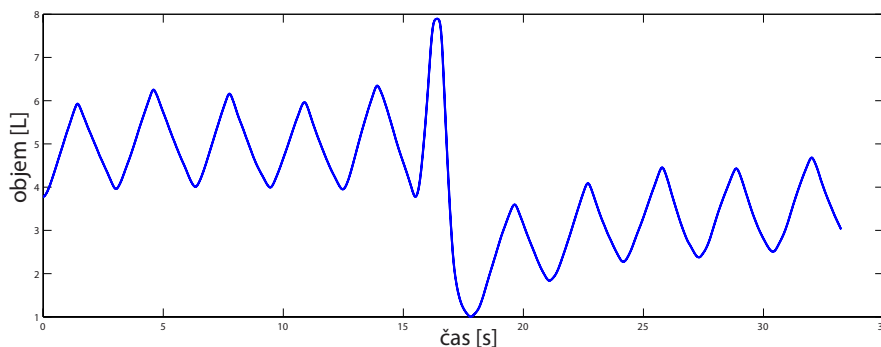
toto oznámeno varovným hlášením. Dále je vypsáno upozornění, pokud je zatrhnuta možnost vykreslení fyziologického, nebo obstrukčního signálu, ale příslušný soubor není nahrán. Z hlediska kontroly signálu a vypsání upozornění je toto provedeno ve dvou krocích. Nejprve je určeno, zda usilovný výdechový manévr byl proveden. Pokud totiž tento manévr není dostatečný a v absolutní hodnotě je srovnatelný s běžným dechovým cyklem, nedojde k výpočtu jednotlivých dechových parametrů a je vypsáno varovné hlášení upozorňující na nedostatečný usilovný výdech. Druhou kontrolou je délka usilovného výdechu. Aby bylo možné spočítat dva základní dynamické dechové parametry ( $FEV_1$  a  $FEV_1/FVC$ ) je nutný výdech, který trvá déle než 1 s. Jestliže měřená osoba neprovede dostatečně dlouhý usilovný výdech (standardně je potřeba výdech alespoň po dobu 2 s), je opět vypsána hláška o nedostatečně dlouhém usilovném výdechu.

## 7 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

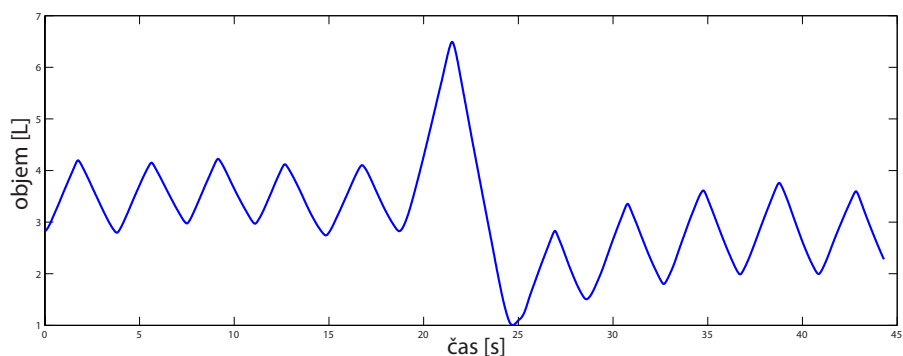
### 7.1 Spirogram, křivky objem-čas a průtok-objem

Měření bylo provedeno na 25 dobrovolnících. Všichni dobrovolníci byli nekuřáci a nebyli léčeni s plicními problémy. Aby byly absolutní hodnoty jednotlivých dechových parametrů srovnatelné, nebyly do měření zařazeny osoby, které provozovaly sport na profesionálnější úrovni, případně podstupovaly fyzicky náročnější tréninky a cvičení apod. Každé měření sestávalo ze dvou částí: fyziologický stav a stav simulované obstrukční poruchy. Pro oba stavy byly změřeny 3 technicky uspokojujivé pokusy. Z těchto tří pokusů byl pro stanovování dechových parametrů následně vybrán jeden, který splňoval kritéria zmíněná v sekci 3.2. Jmenovitě tedy: záznam bez nepravidelností (svědčící o kolísavém dechovém úsilí, případně kašli), hodnoty  $FEV_1$  lišící se maximálně o 100 mL.

Na Obr. 7.1 je zobrazen záznam fyziologického dýchání a Obr. 7.2 pak zobrazuje průběh dýchání s obstrukcí. Oba záznamy jsou bez následného usilovného maximálního nádechu. Na objemových osách pro oba spirometrické záznamy je patrné, že počáteční hodnota je nastavena na 1 L. Tato hodnota odpovídá průměrnému reziduálnímu objemu, který nelze spirometricky určit (viz Obr. 3.1).



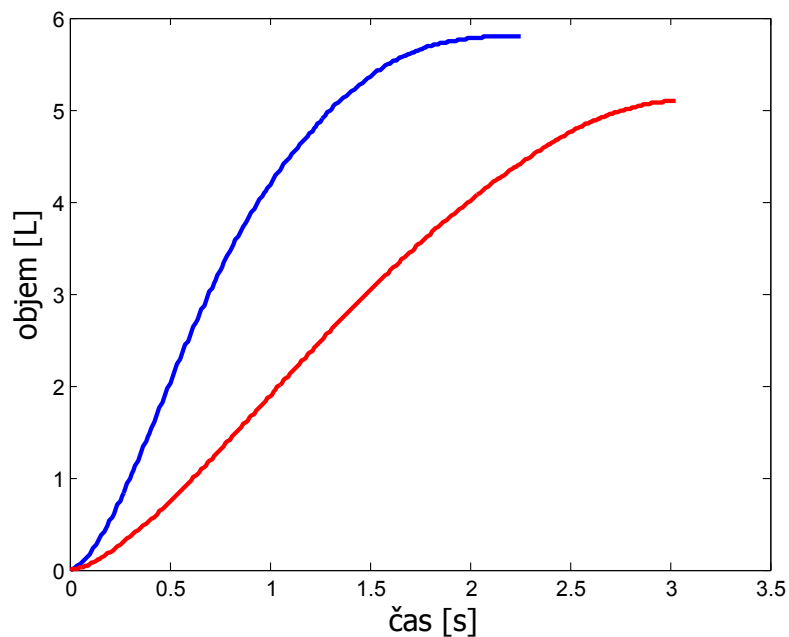
Obr. 7.1: Záznam fyziologické dýchání



Obr. 7.2: Záznam dýchání s obstrukcí

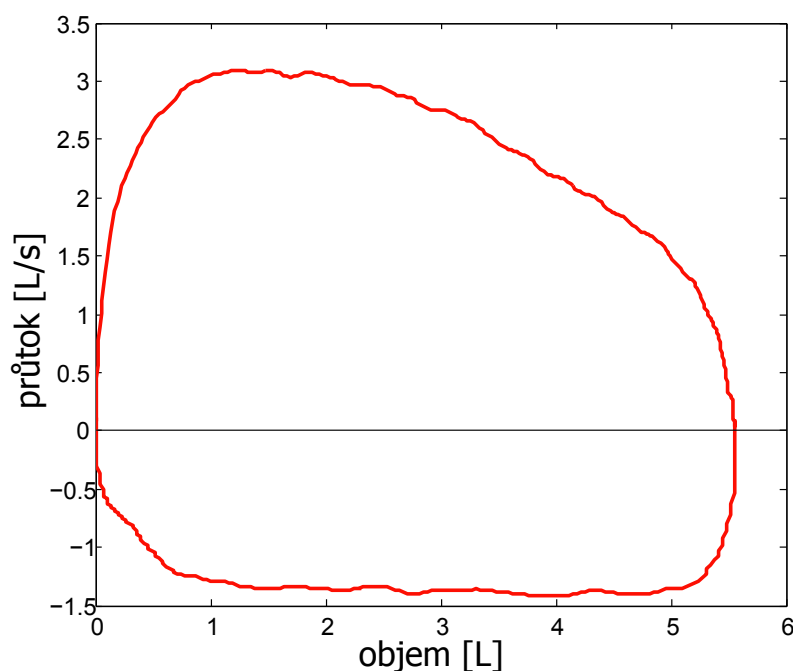
Z výše zobrazených obrázků je patrné, že u normálního dýchání je křivka u maximálního nádechu i maximálního usilovného výdechu strmější. Vzduch opouští plicní cesty skrze spirometr volně. U simulované obstrukce má křivka naopak pomalejší náběh a sestup, kdy měřená osoba musí překonat odpor v dýchací cestě tvořený nepřírozeným zúžením průsvitu v náustku spirometru.

Průběh usilovného výdechu ilustruje taktéž křivka objem-čas. Během obstrukce dochází k mnohem pomalejšímu nárůstu vydechnutého vzduchu. Taktéž čas potřebný k výdechu se ztlačně prodlouží. Na Obr. 7.3 níže je pro srovnání zobrazena právě obstrukční křivka (červená barva).



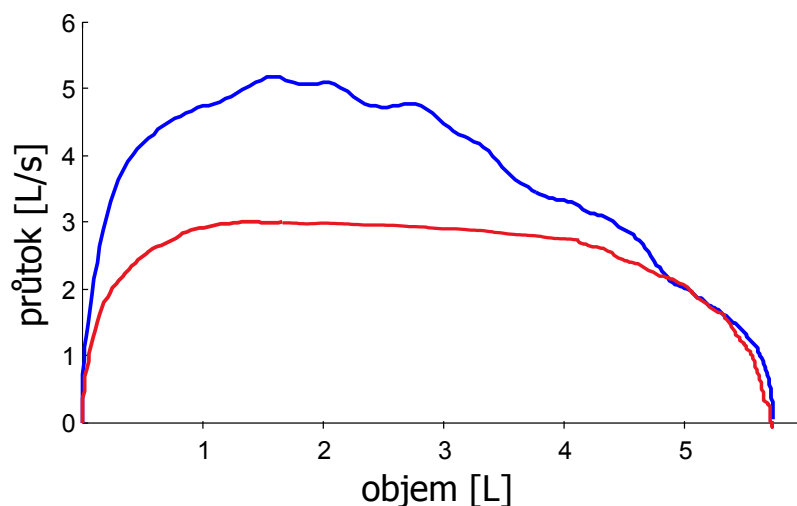
Obr. 7.3: Křivka objem-čas, srovnání obou měřených stavů.

Na následujícím Obr. 7.4 je zobrazena křivka průtok-objem (F-V) pro obstrukční dýchání. Na Obr. 7.5 je pak zobrazena ke srovnání expirační část F-V křivky pro fyziologický stav a obstrukční stav. Viditelné je oploštění křivky pro obstrukční stav, způsobený pomalejším průtokem přes překážku v spirometru. Tato změna koresponduje s teoretickým předpokladem nastíněným v kapitole 5 o ventilačních poruchách. Konkrétně jde o případ stálé extratorakální obstrukce (v tomto případě zúžení v náustku spirometru), viz Obr. 5.7. Dalším rozdílem, který však křivka F-V nedokáže postihnout, je mnohem delší čas potřebný k expiraci stejného objemu při obstrukci (obdobně u inspirace). Tuto časovou změnu naopak postihne spirogram (viz Obr. 7.1 a 7.2).



Obr. 7.4: F-V křivka pro dýchání s obstrukcí.





Obr. 7.5: Expirační část F-V křivky srovnávající fyziologický průběh (modře) a obstrukční průběh (červeně).

Pro každou měřenou osobu tedy získáme dva záznamy (fyziologický stav a stav obstrukční). Všechny tyto záznamy jsou uloženy pro následné programové zpracování.

## 7.2 Statistické zhodnocení

Statistická analýza bylo provedena v programu Statistica. Ze všech 25 měřených dobrovolníků bylo ke statistické analýze použito 22. U vyloučených dobrovolníků byl zjištěn nedostatečně dlouhý, nebo nedostatečně usilovný výdech a z toho důvodu nebylo možné určit dynamické parametry.

Nejprve byla data otestována na normalitu rozdělení. K tomu byl použit Kolmogorovův - Smirnovův test. U všech parametrů byla hodnota  $p > 0,2$ , tudíž byla vrácena hypotéza, že se rozložení liší od normálního. Vzhledem k tomu, že rozdělení dat je normální, mohl být zvolen parametrický test. Jednotlivé dechové parametry (statické i dynamické) byly srovnány pro oba stavy, tedy fyziologický i obstrukční. K tomuto srovnání byl použit párový t-test. Hodnota pro stanovení statisticky významné odlišnosti byla stanovena na hodnotu  $p = 0,05$ . Nulová hypotéza byla stanovena jako  $H_0: \mu_1 = \mu_2$ , tedy že střední hodnoty obou měřených stavů se neliší. Alternativní hypotéza je pak zapsána jako  $H_A: \mu_1 \neq \mu_2$ , že střední hodnoty obou stavů se liší.

Tabulky s hodnotami všech naměřených statických i dynamických dechových parametrů jsou uvedeny v příloze B. V této sekci jsou na další straně uvedeny tabulky s výslednými p-hodnotami.

Parametr	Průměr	Směrodatná odchylka	p-hodnota
f - fyzio	25,50090	5,74718	0,012208
f - obstr	23,40500	4,90211	
VT - fyzio	0,85409	0,48478	0,89565
VT - obstr	0,84500	0,39823	
MV - fyzio	21,18530	11,44751	0,20242
MV - obstr	19,10204	8,41571	
IRV - fyzio	2,21182	0,52272	0,57883
IRV - obstr	2,17046	0,60412	
IC - fyzio	3,06182	0,63193	0,70611
IC - obstr	3,03046	0,67156	
ERV - fyzio	3,12273	1,01711	0,00811
ERV - obstr	2,66864	0,92488	

Tab. 7.1: Tabulka p-hodnot pro statické dechové parametry.

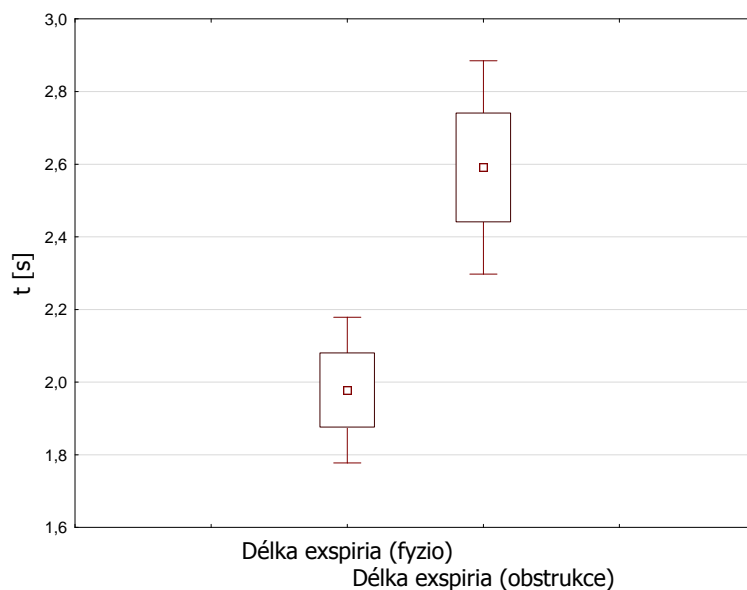
Parametr	Průměr	Směrodatná odchylka	p-hodnota
FVC - fyzio	6,18636	1,24526	0,00043
FVC - obstr	5,70000	1,18542	
FEV <sub>1</sub> - fyzio	5,11318	1,06105	0,000001
FEV <sub>1</sub> - obstr	3,06818	1,24471	
FEV <sub>1</sub> /FVC - fyzio	82,91182	8,97771	0,0000002
FEV <sub>1</sub> /FVC - obstr	54,80045	20,75463	
PEF - fyzio	9,49091	3,15717	0,000000001
PEF - obstr	4,26273	1,64263	
FEF <sub>25-75</sub> - fyzio	7,00000	2,06627	0,00000005
FEF <sub>25-75</sub> - obstr	3,84455	1,38174	

Tab. 7.2: Tabulka p-hodnot pro dynamické dechové parametry.

Po provedení párového t-testu pro jednotlivé dechové parametry byly zjištěny statisticky významné rozdíly u následujících z nich (vyznačeny v Tab. 7.1 a 7.2):

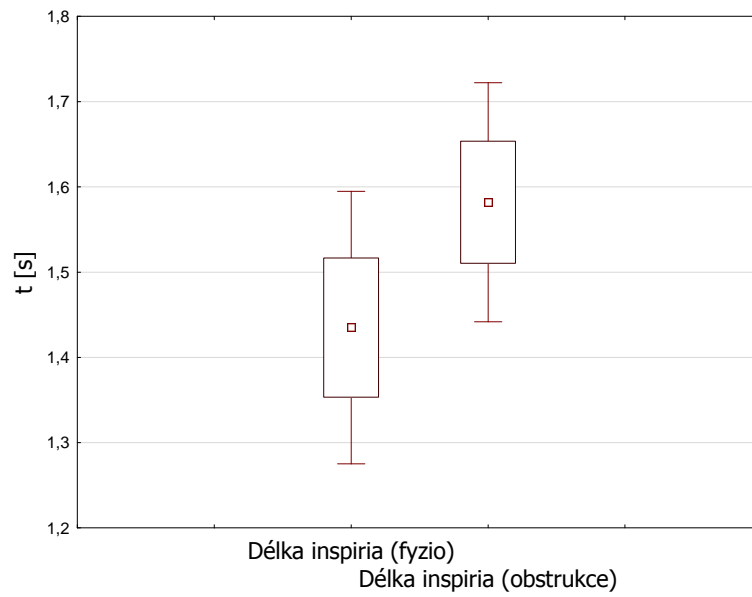
- Frekvence dýchání (f)
- Expirační rezervní objem (ERV)
- Usilovná vitální kapacita (FVC)
- Objem vydechnutý během 1 s (FEV<sub>1</sub>)
- Poměr objemu vydechnutého za 1 s a usilovné vitální kapacity (FEV<sub>1</sub>/FVC)
- Maximální expirační průtok (PEF)
- Průměrný průtok při 25 až 75 % vydechnuté FVC (FEF<sub>25-75</sub>)

Statisticky nejvýznamnější rozdíly byly pozorovány u všech dynamických parametrů. Oproti předpokladu došlo ke změně také u usilovné vitální kapacity. U většiny dobrovolníků byl totiž zaznamenán mírný pokles hodnoty usilovné vitální kapacity při obstrukci, což může být způsobeno nedostatečně dlouhým výdechem. Snížení FVC u obstrukčního stavu lze spojit se sníženým ERV. U měřených osob při obstrukčním stavu tedy nebyl problém s usilovným nádechem (parametry IRV a IC se neliší). Naopak výdechová část spojená s mnohem vyššími průtoky byla díky obstrukci výrazněji omezena až do míry, že nedocházelo k úplnému vyprázdnění plic jako u fyziologického stavu. Dokládá to tedy, že extratorakální obstrukce v dýchacích cestách omezuje výdechovou část dechového cyklu. Toto tvrzení zároveň podpírá výsledek srovnání délky usilovného výdechu pro oba stavy, viz Obr. 7.6 níže, kdy délka usilovného výdechu s obstrukcí je výrazně delší. Při předpokladu zachování stejného vydechutého objemu a nižšího průtoku skrze zúžený náustek musí dojít k prodloužení doby daného manévru. U zobrazených krabicových grafů znázorňují středové čtverce průměr, obdélníky označují průměr  $\pm$  SE (směrodatná chyba) a výběžky značí průměr  $\pm 1,96 \cdot$  SE.

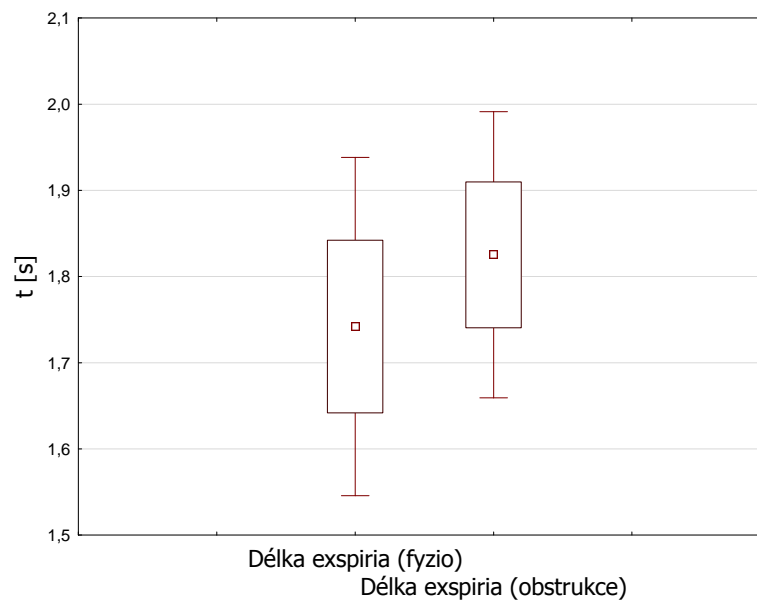


Obr. 7.6: Porovnání doby usilovného výdechu pro oba stavy.

U ostatních statických objemů nebyl pozorován rozdíl. U parametru frekvence dýchání však došlo u většiny osob při obstrukci k poklesu. To je také potvrzeno z výsledku statistického srovnání. Jelikož dýchání skrze užší náustek klade větší odpor, došlo k prodloužení času nádechu a výdechu (tím pádem i snížení frekvence dýchání). Grafické srovnání doby nádechu (Obr. 7.7) a výdechu (Obr. 7.8) pro fyziologický a obstrukční stav na krabicových grafech níže.



Obr. 7.7: Porovnání doby klidového nádechu pro oba stavy.



Obr. 7.8: Porovnání doby klidového výdechu pro oba stavy.

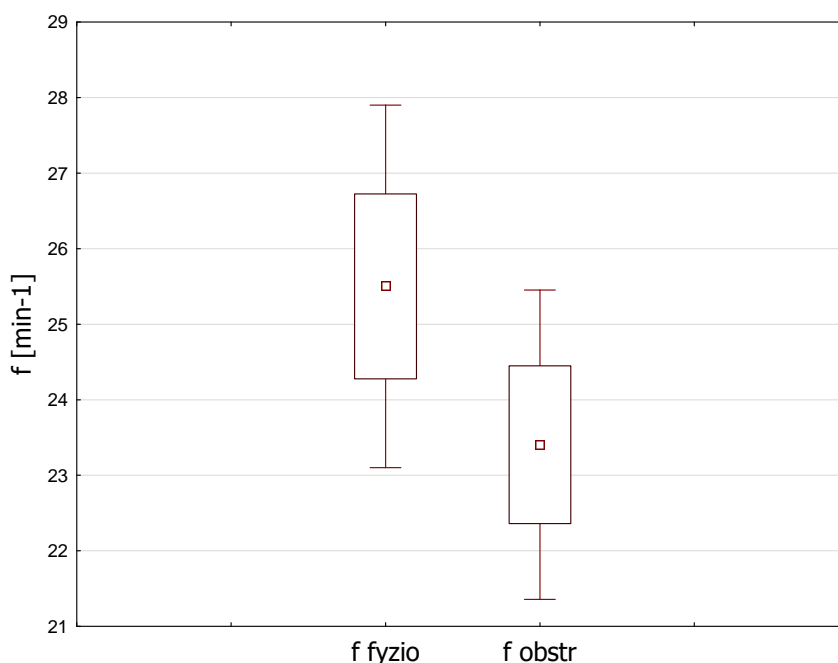
Zajímavé zároveň je, že s poklesem frekvence dýchání nedošlo taktéž k nárůstu dechového objemu, což by kompenzovalo menší přísun objemu vzduchu do těla. Minutová ventilace však neukazuje statisticky významný rozdíl v obou stavech. Pokud se podíváme na hodnoty jednotlivých měření osob zvlášť, zjistíme, že zhruba

u poloviny (konkrétně 12) osob došlo k nárůstu dechového objemu a u druhé poloviny dechový objem poklesl. Pokud se podíváme na průměrnou hodnotu obou stavů, vidíme, že fyziologický stav má hodnotu 21,12 L a obstrukční 19,10 L. Tato nejednotnost v interpretaci je dána velkým rozptylem hodnot (směrodatné odchylky jsou 11,49 a 8,42 L).

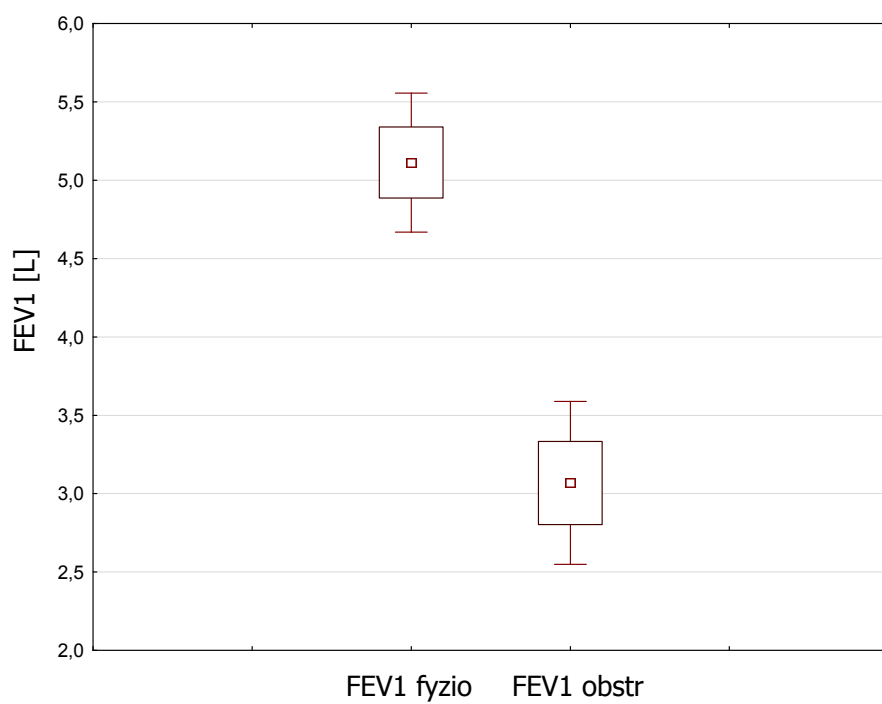
Požadavky těla na množství dodaného kyslíku zůstávají stejné, tudíž je předpoklad nárůstu hodnoty dechového objemu u obstrukčního stavu. Tím by bylo zaručeno, že po daný časový úsek je dodáno stejné množství kyslíku jako v případě fyziologického dýchání (a zároveň vydechnuto stejné množství  $\text{CO}_2$  jako u fyziologického stavu). Tohoto výsledku by zřejmě bylo dosaženo při dlouhodobějším měření skrze obstrukci, kdy by došlo k ustálení poměru ve smyslu adaptace na ztížené dýchání a nároku těla na přísun kyslíku.

Výsledky t-testů jsou zobrazeny dále formou krabicových grafů zvláště pro jednotlivé parametry.

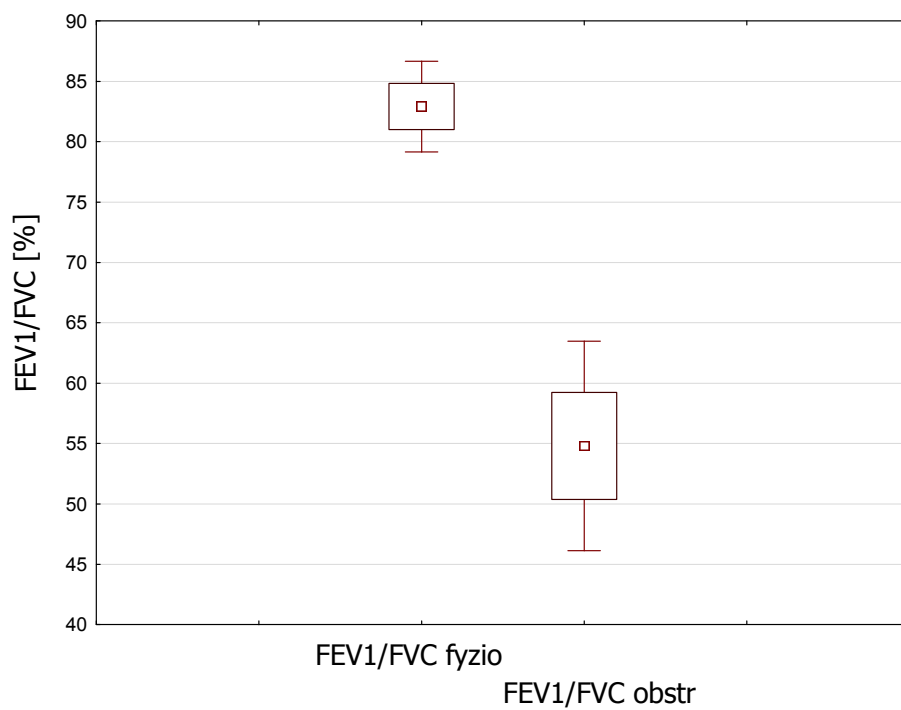
U všech měřených osob byly taktéž zaznamenány hodnoty tělesné váhy a výšky a z nich odvozen index BMI. Poté byla provedena korelace mezi těmito tělesnými parametry a hodnotami dechových parametrů, zejména FVC. Nebyla však zjištěna statisticky významná korelace.



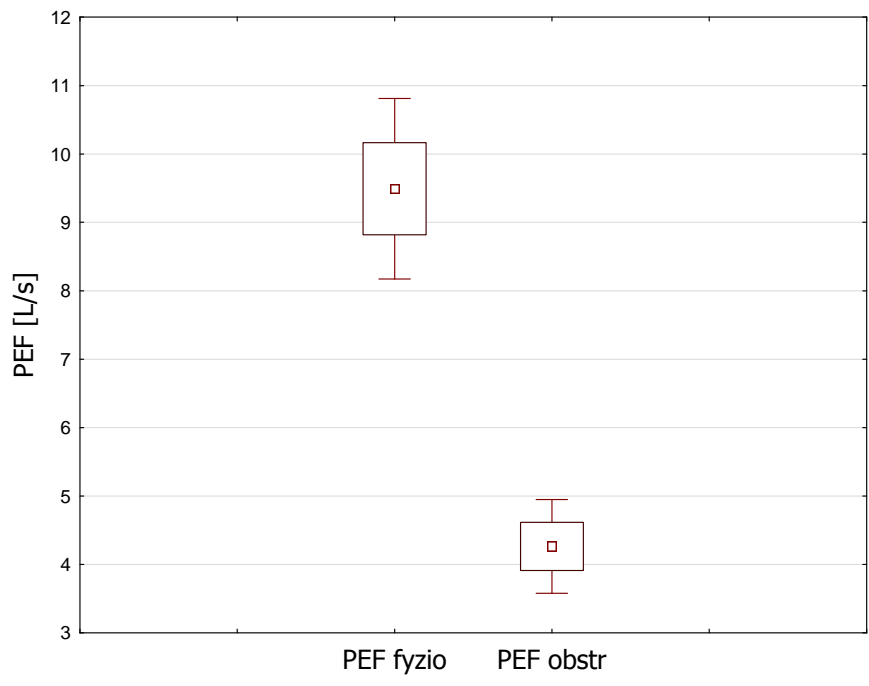
Obr. 7.9: Krabicový graf pro parametr frekvence.



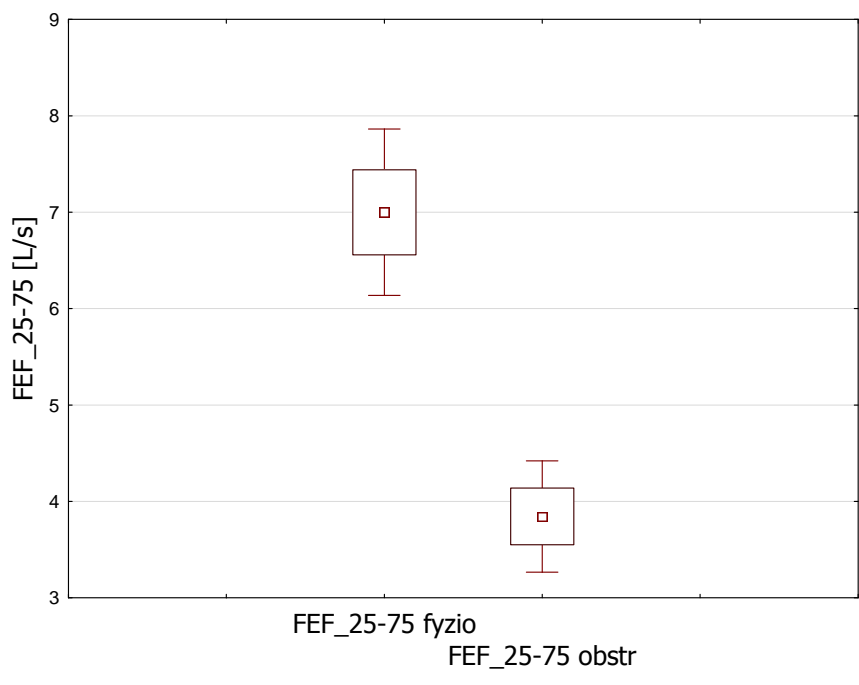
Obr. 7.10: Krabicový graf pro parametr  $FEV_1$ .



Obr. 7.11: Krabicový graf pro parametr  $FEV_1/FVC$ .



Obr. 7.12: Krabicový graf pro parametr PEF.



Obr. 7.13: Krabicový graf pro parametr FEF<sub>25-75</sub>.

## 8 ZÁVĚR

V této diplomové práci byl na základě získaných teoretických znalostí o respiraci a spirometrii navržen měřicí protokol dechových parametrů. Poté bylo provedeno samotné spirometrické měření na skupině dobrovolníků. Respirační parametry byly při měření sledovány pro normální fyziologický stav a pro stav simulované obstrukční poruchy. Pro automatickou analýzu signálů byl vytvořen program s grafickým uživatelským prostředím. V něm je možné nahrát a analyzovat spirometrické křivky. Na základě automaticky stanovených dechových parametrů bylo dále provedeno statistické srovnání dvou stavů – fyziologického a simulace obstrukční poruchy.

Během měření usilovných dechových parametrů bylo velmi důležité poučit osobu o jednotlivých dechových manévrech. Dosáhnutí maximálních nádechových a výdechových objemů bylo u některých dobrovolníků obtížné a měření muselo být vícekrát opakováno. Výsledné hodnoty mohlo ovlivnit pro některé osoby nepřírozené dýchání s nosním klipem. Pro zachování standardizace měření bylo použito nosního klipu jednoduchou možností jak zajistit průtok veškerého vzduchu z a do plic skrze náustek spirometru.

Výsledné spirogramy vykazují delší čas nutný pro usilovné dechové manévry u obstrukčního stavu. Zúžení průsvitu taktéž prodloužilo dobu nádechu i výdechu u klidového dechového cyklu. Z toho vyplývá snížení dechové frekvence oproti fyziologickému stavu. U křivky objem-čas je vizuálně patrný méně strmý nárůst obstrukčního průběhu, kdy pro vydechnutí stejného množství vzduchu bylo zapotřebí většího úsilí a delšího času. Z křivek průtok-objem je u obstrukčního stavu patrné oploštění, značící celkově nižší průtokové rychlosti.

Výsledky t-testů dále prokázaly statisticky významné rozdíly u všech hodnocených dynamických parametrů, kdy hodnoty dynamických parametrů byly významně vyšší u fyziologického stavu. Těmito parametry jsou usilovná vitální kapacita (FVC), objem vydechnutý během 1 s ( $FEV_1$ ), poměr  $FEV_1/FVC$ , maximální expirační průtok (PEF) a průměrný průtok při 25 - 75 % vydechnuté FVC ( $FEF_{25-75}$ ). Oproti teoretickému předpokladu, že množství vydechnutého vzduchu během usilovných manévru bude stejné, byla hodnota FVC u simulované obstrukce nižší. To může být dáno nedostatečným expiračním úsilím měřených osob, případně nedostatečnou délkou výdechu vedoucí k neúplnému vyprázdnění plic.

Výstupem práce je dále podklad pro laboratorní cvičení, obsahující protokol k samotnému cvičení a programovou aplikaci pro následnou analýzu naměřených dat.



## LITERATURA

- [1] WEST, J. B. *Respiratory physiology: the essentials*. 8th edition, Lippincott Williams & Wilkins, 2008. 186 s. ISBN 978-0-7817-7206-8.
- [2] CHAKRABARTY, A.S., CHAKRABARTY, K. *Fundamentals of Respiratory Physiology*. I.K. International Publishing House Pvt. Limited, 2007. 150 s. ISBN 9788188237708.
- [3] GUYTON, A. C., HALL, J. E. *Textbook of medical physiology*. 11th edition, Elsevier 2006. 1116 s. ISBN 0-8089-2317-X.
- [4] SILBERNAGL, S., DESPOPOULOS, A. *Color atlas of physiology*. 6th edition, Thieme 2012. 441 s. ISBN 978-3-13-545006-3.
- [5] JANČÍK, J.; ZÁVODNÁ, E.; NOVOTNÁ, M. *Fyziologie tělesné zátěže – vybrané kapitoly* [online]. 2006, [cit. 8.11.2013]. Dostupné z URL: <http://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js07/fyziio/texty/ch05s02.html>.
- [6] MARTINI, F. C., NATH, J. L., et al. *Fundamentals of anatomy & physiology*. 9th edition, Benjamin Cummings 2011. 1272 s. ISBN 978-0321709332.
- [7] HONZÍKOVÁ, N. *Biologie člověka*. Brno: CERM, 1995. 77 s. ISBN 80-85867-64-8.
- [8] NAVRÁTIL, L., et al. *Vnitřní lékařství*. Praha: Grada, 2008. 424 s. ISBN 978-80-247-2319-8.
- [9] PFLANZER, R. *BIOPAC SYSTEM, Inc. Biopac student lab: Laboratory manual*. 1. vyd. Goleta, CA, 2007.
- [10] HRAZDIRA, I.; MORNSTEIN, V. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, dotisk 2006. 396 s. ISBN 80-902896-1-4.
- [11] NAVRÁTIL, L.; ROSINA, J.; et al. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada, 2005. 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
- [12] ROZMAN, J. *Elektronické přístroje v lékařství*. Praha: ACADEMIA, 2006. 1. vydání, 408 s. ISBN 80-200-1308-3.
- [13] *Ganshorn* [online]. [cit. 10.03.2014]. Dostupné z URL: [www.ganshorn.co.uk/index.php?option=com\\_content&view=article&id=74&Itemid=232](http://www.ganshorn.co.uk/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=232).

- [14] *COPD education* [online]. 2004, [cit. 08.03.2014]. Dostupné z URL: <[copdeducation.org.uk/-Category-670/Diagnosis-/Spirometry](http://copdeducation.org.uk/-Category-670/Diagnosis-/Spirometry)>.
- [15] BUČKOVÁ, D. *Spirometrie* [online]. [cit. 11.11.2013]. Dostupné z URL: <[www.med.muni.cz/patfyz/powerpnt/Spirometrie.ppt](http://www.med.muni.cz/patfyz/powerpnt/Spirometrie.ppt)>.
- [16] *GOLD - Spirometry for health care providers* [online]. 2010, [cit. 21.10.2013]. Dostupné z URL: <[http://www.goldcopd.org/uploads/users/files/GOLD\\_Spirometry\\_2010.pdf](http://www.goldcopd.org/uploads/users/files/GOLD_Spirometry_2010.pdf)>.
- [17] SCHAD, O., HAUF, A. *Můj problém... astma*. 1. vyd. Praha: Olympia, 2008, 160 s. ISBN 978-80-7376-111-0.
- [18] *GINA - Pocket guide for asthma management and prevention* [online]. 2010, [cit. 12.12.2013]. Dostupné z URL: <[http://www.ginasthma.org/local/uploads/files/GINA\\_Pocket2013\\_May15.pdf](http://www.ginasthma.org/local/uploads/files/GINA_Pocket2013_May15.pdf)>.
- [19] MUSIL, J. *Léčba chronické obstrukční plicní nemoci*. 1. vyd. Praha: Grada, 1999, 190 s. ISBN 80-7169-385-5.
- [20] *Medical books online* [online]. 2010, [cit. 15.10.2013]. Dostupné z URL: <[http://www.cixip.com/Public/kindeditor/attached/image/20120917/20120917133451\\_64994.jpg](http://www.cixip.com/Public/kindeditor/attached/image/20120917/20120917133451_64994.jpg)>.
- [21] PALEČEK, F. *Patofyziologie dýchání*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2001, 123 s. ISBN 80-246-0231-8.
- [22] NEUMANNOVÁ, K., KOLEK, V. *Asthma bronchiale a chronická obstrukční plicní nemoc: možnosti komplexní léčby z pohledu fyzioterapeuta*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 2012, 170 s. ISBN 978-80-204-2617-8.
- [23] *Spirometry* [online]. 2010, [cit. 11.10.2013]. Dostupné z URL: <<http://www.spirometrie.info>>.

## SEZNAM PŘÍLOH

A	Laboratorní cvičení	60
B	Hodnoty dechových parametrů	72
C	Popis souborů na přiloženém CD	76

## A LABORATORNÍ CVIČENÍ

Podklady k laboratornímu cvičení sestávají z protokolu a programu pro hodnocení naměřených signálů. Program (*Spirometrie.m*) je na přiloženém CD. Na následujících stranách je přiložen protokol k laboratornímu cvičení.



## Laboratorní cvičení

VUT v BRNĚ, FEKT, ÚBMI

---

# Spirometrie

---

V tomto cvičení si vyzkoušíte spirometrické vyšetření a zjistíte trénovanost svých plic. V druhé části si pak zkusíte ztížené dýchání s obstrukcí. Výstupem budou naměřené hodnoty vlastních plicních objemů a parametrů. Závěrem porovnáte stav fyziologického dýchání a dýchání s obstrukcí.

## 1 ÚKOL

1. Proved'te spirometrické vyšetření pro dva stavy:
  - Normální fyziologický stav
  - Stav simulované obstrukční poruchy
2. Pomocí programu Spirometrie proved'te analýzu naměřených spirogramů a křivek průtok-objem
3. Porovnejte hodnoty dechových parametrů pro oba naměřené stavy

## 2 POMŮCKY

Měřicí systém Biopac • kalibrační píst • spirometr s náustkem • nosní klip • krátká hadice, nebo zmuchlaný papír pro simulaci obstrukce • izolační páska

## 3 TEORETICKÝ ÚVOD

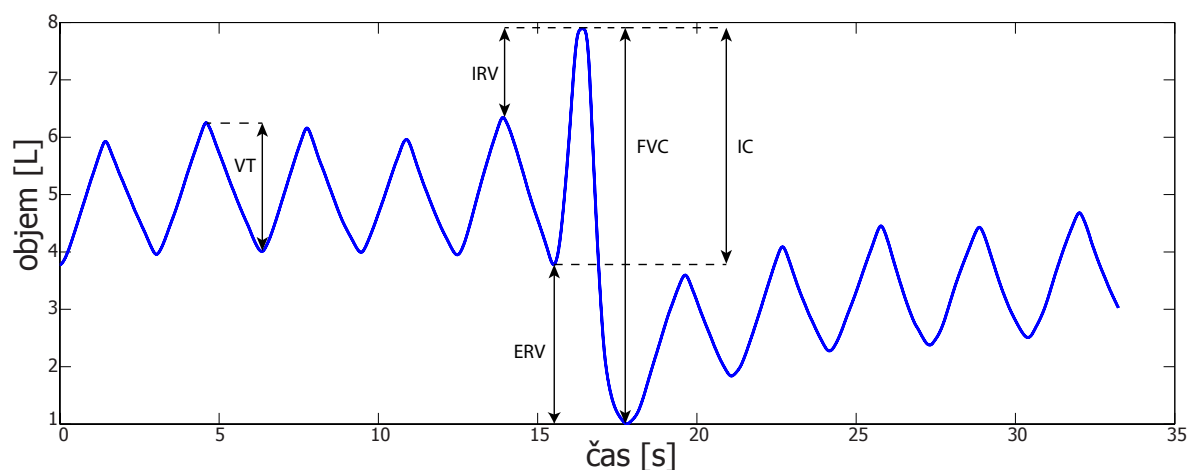
### 3.1 RESPIRACE

Dýchání je periodická změna nádechu (inspiria) a výdechu (expiria). Během tohoto procesu se skrze plíce vyměňují dechové plyny, zejména pak příjem  $O_2$  a výdej  $CO_2$ . Do plic se vzduch transportuje dýchacími cestami, které se postupně dělí od velké trachey, přes levou a pravou průdušku až po průdušinky, končící v plicních sklípcích (alveoly), kde dochází k prostupu plynů do krevního oběhu. Množství a objem vyměněného vzduchu závisí na trénovanosti osoby, s tím souvisí úroveň zapojení jednotlivých dýchacích svalů (zejména bránice a mezižeberní svaly) a také průchodnost dýchacích cest a samotné bariéry v alveolech.

### 3.2 SPIROMETRIE

Spirometrie je měřicí metoda, umožňující kvantifikovat plicní objemy. K vyšetření se používá zařízení zvané spirometr, který měří průtok vzduchu, a jehož integrací v čase získáme příslušné objemy. Spirometrické parametry lze rozdělit na statické (jednotlivé klidové dechové objemy) a dynamické (objemy a průtoky závislé na čase).

Při spontánním dýchání vydechneme zhruba 0,5 L vzduchu, což označujeme jako **dechový objem (VT)**. Objem, který lze nadechnout po normálním nádechu označujeme jako **inspirační rezervní objem (IRV)**. Analogicky, objem, který ještě lze vydechnout po normálním výdechu, se značí jako **expirační rezervní objem (ERV)**. V plicích však vždy zůstane určité množství vzduchu, které nelze vydechnout – **residuální objem (RV)**<sup>1</sup>. Součtem jednotlivých objemů pak získáme kapacity. **Inspirační kapacita (IC)** je součtem VT a IRV. Analogicky **expirační kapacita (EC)** je součtem VT a ERV. Znamou kapacitou, která se určuje u sportovců, je tzv. **vitální kapacita (VC)**, ( $VC=VT+IRV+ERV$ ). Pro zdravého člověka není znatelný rozdíl mezi hodnotou vitální kapacity (pomalý maximální výdech po maximálním nádechu) a **usilovné vitální kapacity - FVC** (usilovný maximální nádech po maximálním nádechu). Všechny objemy a kapacity jsou znázorněny na obrázku níže. Teoretické hodnoty, kterých by mělo být měřením dosaženo, zobrazuje Tab. 1.



Obrázek 1: Měření dechových objemů a kapacit.

Objemy, kapacity	Zkratka	Fyziologická hodnota (L)
Dechový objem	VT	0,5
Inspirační rezervní objem	IRV	3
Expirační rezervní objem	ERV	1,5
Inspirační kapacita	IC	3,5

Tabulka 1: Přehled fyziologických hodnot plicních objemů a kapacit.

Spirometrie zároveň pomáhá při diagnostice ventilačních poruch, kdy se využívá zobrazení závislosti průtoku na objemu při usilovných dechových manévrech.

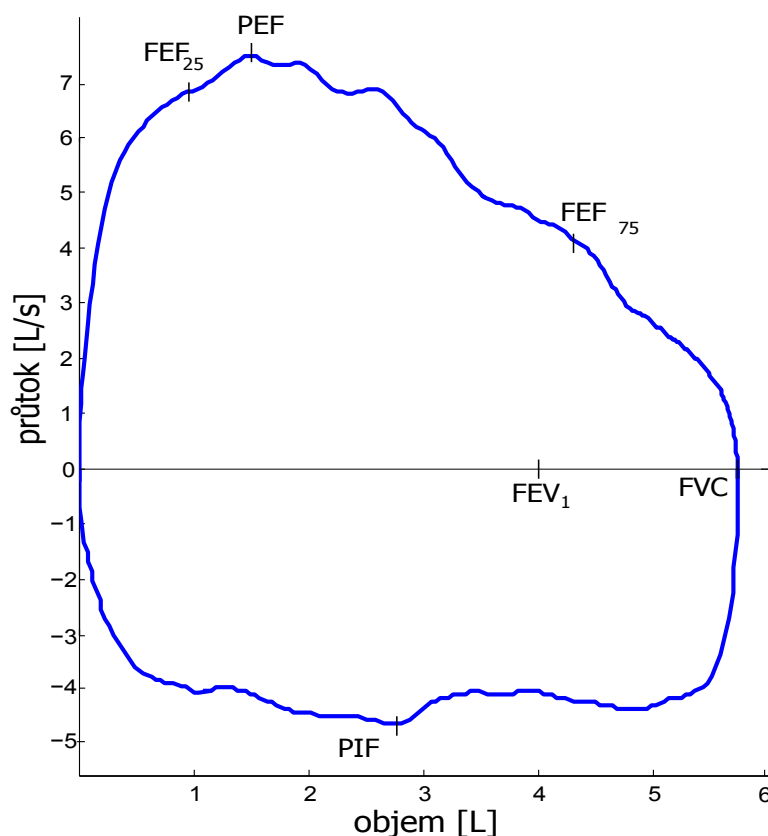
<sup>1</sup> RV nelze změřit spirometricky, k jeho určení se používá např. metoda ředění testovacího plynu.

### 3.3 VENTILAČNÍ PORUCHY

Ventilační poruchy dělíme na 3 základní typy:

- **Restrikční**, kdy dochází ke snížení plochy, přes kterou se vyměňují plyny v plicních alveolech. Restrikční onemocnění je nejčastěji způsobené např. zánětem, plicním tumorem nebo resekcí části plic. V důsledku nižší difúzní plochy klesají taktéž hodnoty plicních objemů, patrné zejména u vitální kapacity.
- **Obstrukční** porucha je typická zvýšením odporu dýchacích cest. Tato vyšší rezistence je zapříčiněna ucpáním dýchacích cest (např. ztluštěním sliznice, nebo tvorbou hlenu), nebo kompresí dýchacích cest z vnějšku (např. tumorem, kontrakcí hladké svaloviny). Důsledkem jsou nižší dynamické dechové parametry, většinou při zachování statických dechových objemů.
- **Smíšené**, kdy se projeví symptomy jak obstrukční, tak restrikční poruchy. Dochází ke snížení statických i dynamických dechových parametrů.

K základnímu rozlišení ventilačních poruch se v klinické praxi postup, kdy je potřeba zatížit respirační systém a provést usilovné dechové manévry. Tyto usilovné dechové manévry se skládají z maximálního usilovného výdechu a maximálního usilovného nádechu. Pokud si vyneseme závislost průtoku na objemu z těchto dvou manévry, získáme tzv. **křivku průtok-objem**. Nad osou je výdech, pod osou pak nádech. Pozn.: Z důvodu obtížného provedení zároveň usilovného výdechu a nádechu během jednoho měření, se v tomto cvičení prakticky zaměříme pouze na výdechovou část (tedy maximální usilovný výdech).



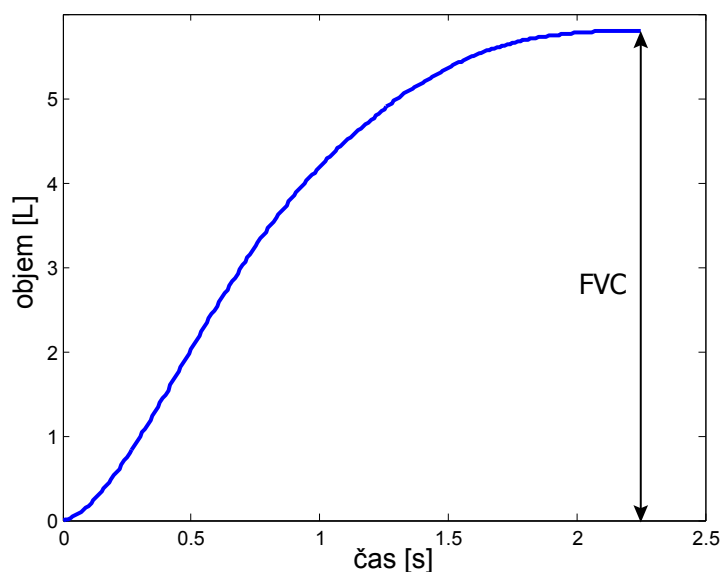
Obrázek 2: Křivka průtok-objem.

Nejdůležitější parametry, které lze použít při diagnostice, jsou usilovně vydechnutý objem při první sekundě ( $FEV_1$ ) a celkový vydechnutý objem, tzv. funkční vitální kapacita ( $FVC$ ). Z poměru těchto dvou parametrů  $FEV_1/FVC$  (Tiffeneau index) lze určit stupeň ventilační poruchy. Doplňující parametry jsou pak průtoky, zvláště pro manévr výdechu a nádechu. Maximální průtok,  $PEF$  pro výdech a  $PIF$  pro nádech. Dále  $FEF_{25-75}$  což je průměrný průtok při 25-75 % vydechnuté  $FVC$ . Taktéž dynamické parametry jsou odvislé od věku a výšky člověka, v tabulce níže jsou údaje pro osobu 25 let, 185 cm. Zde je odkaz<sup>2</sup> na kalkulačtor fyziologických hodnot dynamických dechových parametrů pro různý věk a výšku osoby.

Parametr	Muži	Ženy
FVC	5,7 (L)	4,7 (L)
$FEV_1$	4,7 (L)	3,9 (L)
$FEV_1/FVC$	82,9 (%)	85,5 (%)
PEF	10,4 (L/s)	8,0 (L/s)
$FEF_{25-75}$	4,8 (L/s)	4,0 (L/s)

Tabulka 2: Přehled dynamických dechových parametrů (věk 25 let, výška 180 cm).

Další možností jak zobrazit průběh usilovného výdechu a porovnat jej s obstrukčním stavem je tzv. křivka objem-čas, viz Obr. 3. Z této křivky lze vyčíst průběh vydechnutého objemu v čase, ze strmosti křivky a času dosažení plateau fáze lze opět porovnat oba stavy.

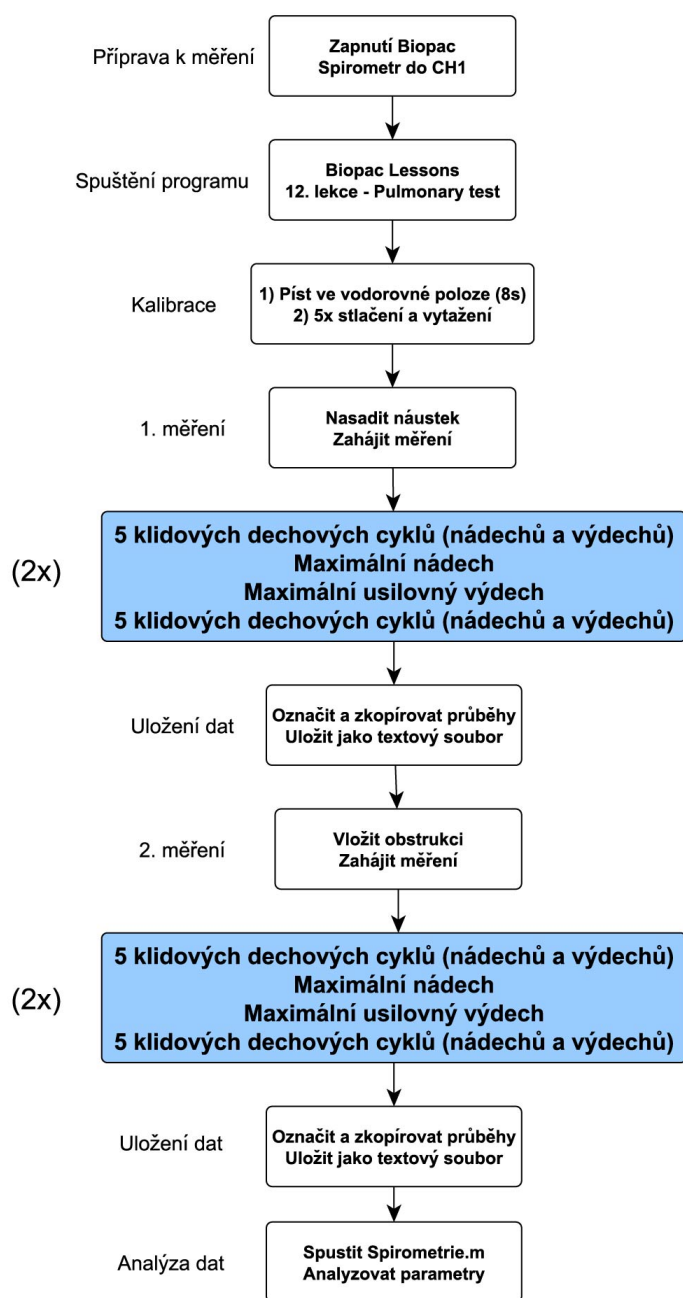


Obrázek 3: Křivka objem-čas.

<sup>2</sup><http://www.biostat.jhsph.edu/courses/bio622/misc/calculate.htm>

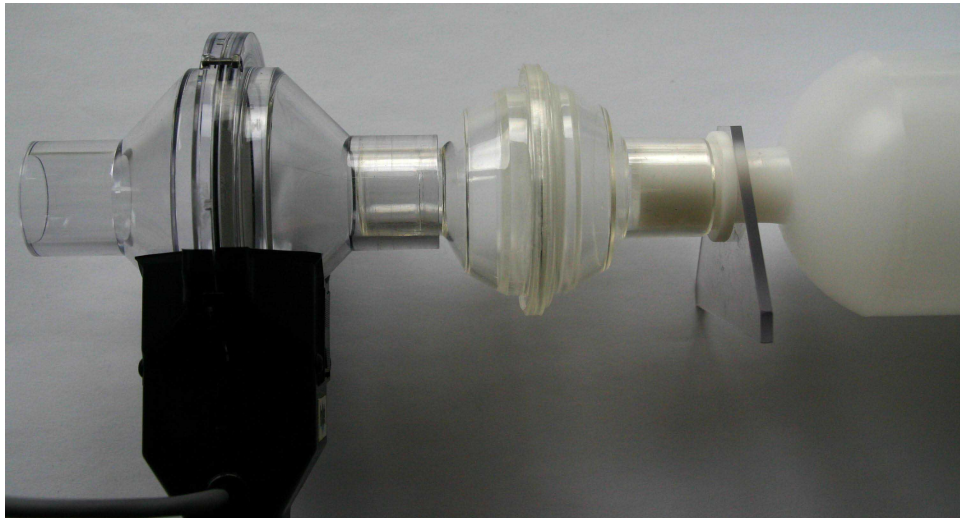


## 4 POSTUP MĚŘENÍ



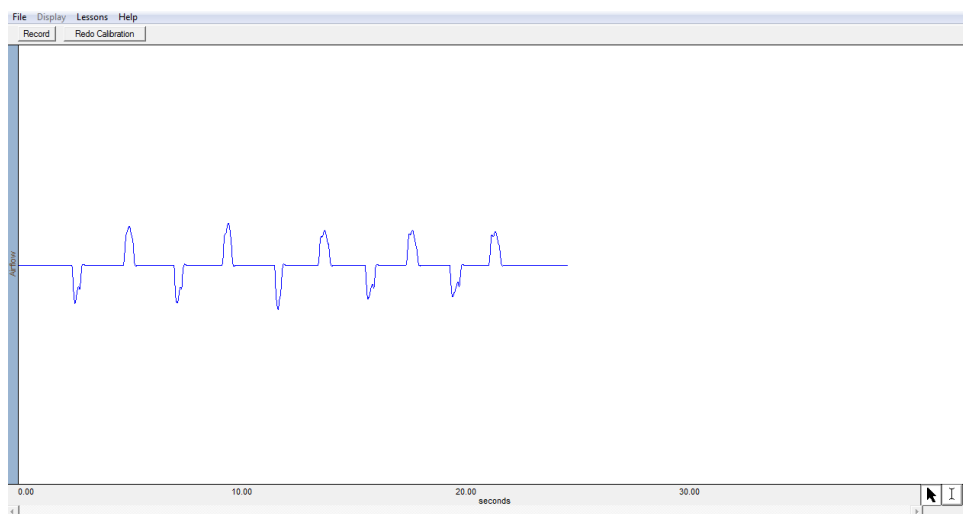
Obrázek 4: Postup měření schematicky.

Zapněte měřicí systém Biopac. Do prvního kanálu (CH1) zapojte spirometr SS1LA. Poté spusťte program Biopac Lessons a zvolte **L12-Lung-1**. Nejprve pojmenujte složku pro Vaše měření. V dalším kroku bude potřeba provést kalibraci spirometru pomocí pístu. Pro nasazení pístu je nutné ze spirometru oddělat modrou redukci. Samotný píst nasad'te pomocí další redukce, viz Obr. 5 níže. Píst je potřeba nasadit na stranu spirometru označenou **INLET**!



Obrázek 5: Nasazení pístu pro kalibraci.

Stiskněte tlačítko **Calibrate** v levém horním rohu. V prvním kroku kalibrace držte píst ve vodorovné pozici po dobu 8 s. Po skončení naběhne dialogové okno s popisem druhého kroku kalibrace. Nejdříve vytáhněte píst do maximální polohy. Stiskněte tlačítko **Yes** a proved'te plynulé a úplné stlačení pístu, následované plynulým a úplným vytažením pístu. Toto zopakujte celkem 5krát. Kalibraci ukončíte stiskem tlačítka **END calibration**. Výsledná kalibrační křivka by měla mít průběh jako na následujícím obrázku.



Obrázek 6: Kalibrační křivka.

Kalibrační píst vyměňte za náustek a nyní je spirometr připraven k měření (viz Obr. 7). Náustek je, stejně jako v případě pístu, potřeba nasadit na stranu označenou **INLET!** Je vhodné použít při měření **nosní klip**, který zabrání úniku vzduchu skrze nos při dechových manévrech.

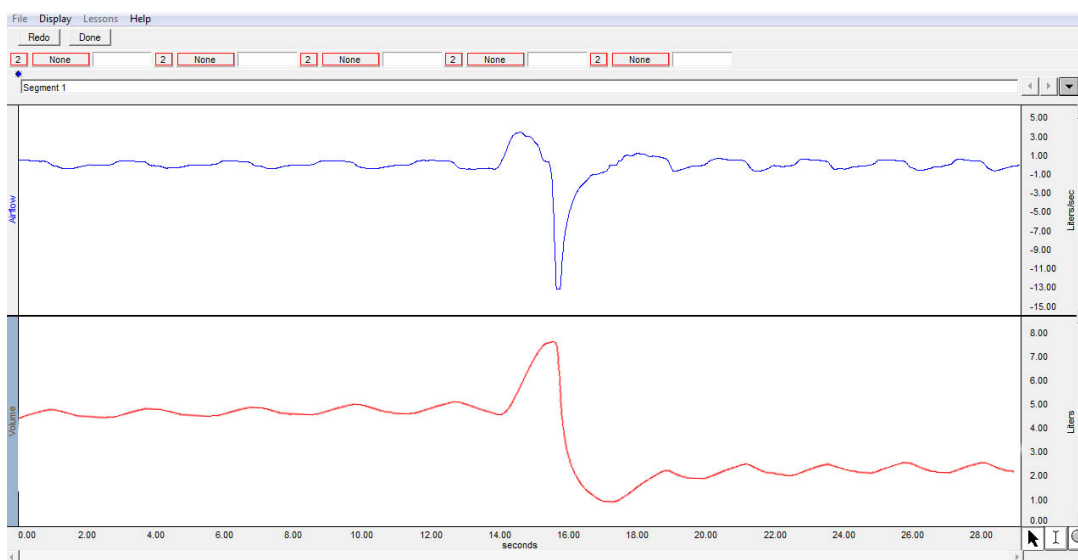


Obrázek 7: Nasazený náustek.

Pro správný záznam je potřeba spustit měření před začátkem nádechu a ukončit po dokončení posledního výdechu. Záznam spustíte tlačítkem **RECORD**. Sekvence dechových manévrů je následující:

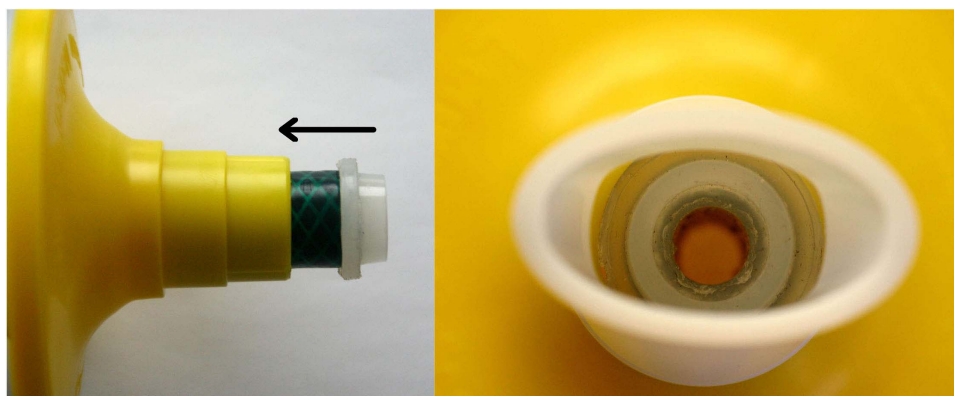
1. 5 klidových dechových cyklů (nádechů a výdechů)
2. Maximální nádech
3. Maximální usilovný výdech
4. 5 klidových dechových cyklů (nádechů a výdechů)

Měření ukončíte stiskem tlačítka **Stop**. V dialogovém okně zvolte možnost **Analyze current data**. Zobrazí se vám průběhy průtoku a objemu v závislosti na čase. Záznamy by měly odpovídat průběhům na následujícím obrázku.



Obrázek 8: Ukázka průběhu pro průtok a objem.

Pokud se měření nezdařilo, stiskněte **Redo** pro zopakování měření. Občas může u objemové křivky dojít k mírnému driftu nulové izolinie, tento problém je ošetřen při následné analýze dat v programu Spirometrie. Při správně naměřené sekvenci dechových manévrů stiskněte tlačítko **Done**. Klikněte na tlačítko  $\square$  v pravém dolním rohu a myší zvýrazněte celý záznam. Poté klikněte na **Edit -> Data Window -> Copy Wave Data**. Otevřete poznámkový blok a do něj nakopírujte data (měly by se vám zobrazit 3 sloupce dat – Airflow, Volume, Sec). Soubor si uložte jako textový soubor (.txt). Správně by se měření mělo minimálně dvakrát zopakovat, aby se dosáhlo reprodukovatelných výsledků (pro někoho může být dýchání skrze náustek nepřírozené a nedosáhne maximálních objemů napoprvé). Celý postup nyní budete opakovat pro simulaci obstrukce. Nový záznam spustíte přes **Lessons -> L12-Lung-1**. Kalibrace v tomto případě již není nutná. Vložte do náustku krátkou hadici (případně zmuchlaný papír), aby došlo k zúžení průsvitu, viz Obr. 9. Obstrukci bude nejspíše nutné uchytit kouskem **izolační pásky**, aby nedocházelo k pohybu během nádechů.

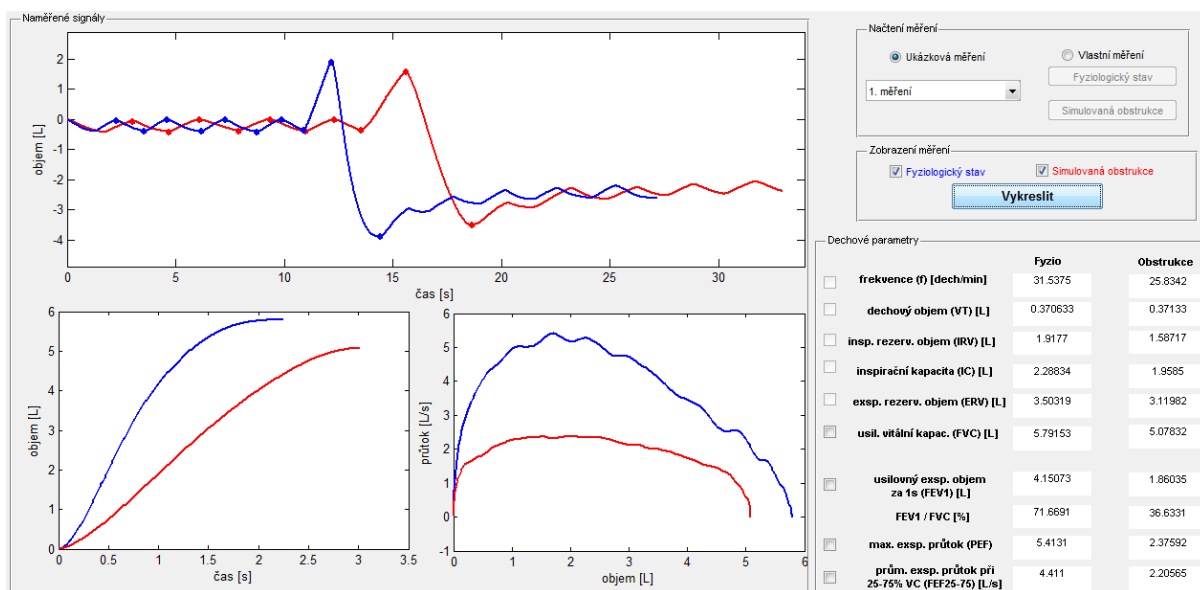


Obrázek 9: Zúžení průsvitu náustku.

Poté spusťte nový záznam a proved'te stejnou sekvenci dechových manévrů jako v první části bez zúžení. Všechny dechové manévry s obstrukcí jsou obtížnější a trvají déle, je však třeba **pocitivě nadechnout a vydechnout do maxima**. Opět si uložte výsledky do textového souboru. Před dalším použitím obstrukce je vhodné ji omýt v tekoucí vodě.

## 5 ANALÝZA SIGNÁLŮ

Po spuštění skriptu Spirometrie.m naběhne programové okno, viz Obr. 10.



Obrázek 10: Programové okno.

Je zde možnost nahrát vlastní naměřený signál, případně využít již naměřených a uložených signálů (celkem 10 měření). Nahrání vlastních souborů pro první měření (fyziologické) i druhé měření (obstrukční) se provádí příslušnými tlačítky v pravém horním rohu. Poté si v zatrhávacím poli níže vyberete, zda chcete zobrazit pouze jedno z měření, či obě zároveň a stisknete tlačítko **Vykreslit**.

Vlevo se poté zobrazí záznam spiogramu a pod ním křivka objem-čas a průtok-objem. Fyziologický průběh je zobrazen modrou barvou, obstrukční průběh je znázorněn červenou barvou. **Tečky** v záznamu spiogramu znázorňují detekovaná **maxima a minima** v signálu, z kterých se následně vypočítávají jednotlivé dechové parametry.<sup>3</sup>

V pravé dolní části programu se zároveň zobrazí změřené jednotlivé dechové parametry zvláště pro fyziologický stav a stav simulované obstrukční poruchy. Zatrhávacími políčky je možné zobrazit v grafu jednotlivé parametry. Pro přehlednost je žádoucí zobrazovat parametry při zapnutém pouze jednom průběhu (fyziologický stav, nebo obstrukční).

<sup>3</sup>Při velkém dechovém úsilí může dojít k překročení dynamického rozsahu snímače a křivka průtok-objem se bude jevit z vrchní části oříznutá, což také ovlivní velikost dynamických parametrů.

## 6 ZPRACOVÁNÍ

Do následujících dvou tabulek doplňte hodnoty parametrů z Vašeho měření.

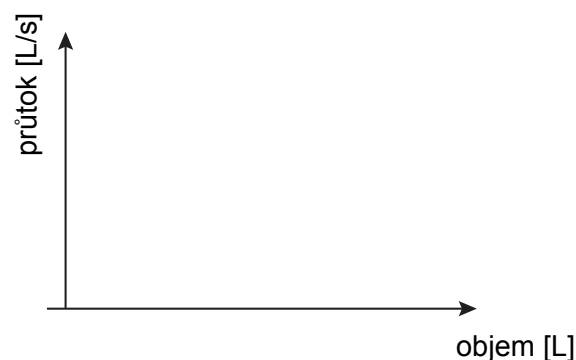
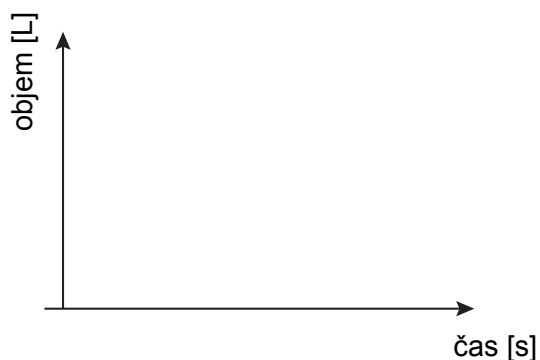
	Fyziologický stav	Obstrukční stav
<b>FEV<sub>1</sub></b>		
<b>FEV<sub>1</sub>/FVC</b>		
<b>PEF</b>		
<b>FEF<sub>25-75</sub></b>		

Tabulka 3: Dynamické dechové parametry.

	Fyziologický stav	Obstrukční stav
<b>Dechový objem (VT)</b>		
<b>Dechová frekvence (f)</b>		
<b>Inspirační rezervní objem (IRV)</b>		
<b>Inspirační kapacita (IC)</b>		
<b>Expirační rezervní objem (ERV)</b>		
<b>Usilovná vitální kapacita (FVC)</b>		

Tabulka 4: Statické dechové parametry.

1. Jak se liší Vaše dechové parametry od průměrných?
2. Co může být příčinou odchylky od normálu? Zvažte Vaše sportovní návyky.
3. Nakreslete průběh Vaší křivky objem-čas a průtok-objem pro oba stavy. Popište rozdíly.



4. Porovnejte taktéž dobu potřebnou k provedení dechových manévrů pro oba stavy.
  
5. Jak by vypadala křivka objem-čas a průtok-objem pro obstrukci o menším/větším průměru než s jakou bylo provedeno měření?
  
6. Jaké výsledky byste čekali při měření po určité fyzické zátěži?

## B HODNOTY DECHOVÝCH PARAMETRŮ

Tabulky s naměřenými hodnotami dechových parametrů.

Měřená osoba	f [min <sup>-1</sup> ]	VT [L]	MV [L/min]	IRV [L]	IC [L]	ERV [L]
1	32,35	0,43	13,91	2,23	2,65	3,44
2	30,73	1,18	36,26	2,28	3,47	2,89
3	22,44	1,64	36,80	2,26	3,89	3,05
4	19,62	0,65	12,75	2,29	2,94	3,75
5	22,74	2,12	48,21	1,68	3,79	2,61
6	29,07	1,31	38,08	2,62	3,93	1,89
7	20,82	0,41	8,54	2,57	2,99	4,74
8	21,1	0,84	17,72	1,27	2,11	0,93
9	38,61	0,53	20,46	1,39	1,91	2,15
10	25,21	0,68	17,14	2,12	2,79	4,98
11	24,14	0,59	14,24	2,73	3,31	3,22
12	28,95	0,37	10,71	2,13	2,5	3,15
13	20,24	1,44	29,15	2,82	4,25	3,64
14	33,20	0,80	26,56	2,49	3,29	2,34
15	24,90	1,42	35,36	1,70	3,11	2,41
16	17,40	0,90	15,66	2,48	3,38	4,36
17	33,24	0,58	19,28	3,00	3,58	1,78
18	17,83	1,11	19,79	0,93	2,03	2,24
19	18,31	0,29	5,31	2,22	2,51	3,51
20	26,22	0,40	10,49	2,36	2,75	4,20
21	26,94	0,44	11,85	2,47	2,90	3,88
22	26,96	0,66	17,79	2,62	3,28	3,54

Tab. B.1: Statické dechové parametry pro fyziologický stav.



Měřená osoba	f [min <sup>-1</sup> ]	VT [L]	MV [L/min]	IRV [L]	IC [L]	ERV [L]
1	24,22	0,49	11,87	2,07	2,55	3,02
2	25,42	1,52	38,64	2,24	3,76	1,98
3	25,51	1,09	27,81	2,27	3,36	3,08
4	19,42	0,71	13,79	2,48	3,19	2,93
5	17,59	1,65	29,02	1,79	3,43	2,05
6	23,72	0,90	21,35	2,98	3,88	0,46
7	15,61	1,39	21,70	2,47	3,85	2,25
8	18,00	0,94	16,92	1,46	2,39	1,46
9	31,71	0,58	18,39	1,07	1,65	1,29
10	30,50	0,74	22,57	1,97	2,71	4,21
11	23,19	0,76	17,62	2,21	2,98	3,20
12	25,83	0,35	9,04	2,16	2,50	2,98
13	26,16	1,12	29,30	3,01	4,13	4,20
14	29,70	0,36	10,69	2,56	2,92	2,50
15	22,04	1,46	32,18	1,46	3,30	1,83
16	18,27	0,85	15,53	3,27	4,12	3,07
17	31,41	0,74	23,24	2,10	2,84	2,59
18	17,44	1,08	18,84	0,81	1,89	2,18
19	16,46	0,43	7,08	1,95	2,38	3,03
20	22,68	0,38	8,62	2,46	2,84	3,65
21	25,86	0,40	10,34	2,75	3,14	3,40
22	24,17	0,65	15,71	2,21	2,86	3,35

Tab. B.2: Statické dechové parametry pro obstrukční stav.

Měřená osoba	FVC [L]	FEV <sub>1</sub> [L]	FEV <sub>1</sub> /FVC [%]	PEF [L/s]	FEF <sub>25-75</sub> [L/s]
1	6,10	4,20	68,88	5,36	4,52
2	6,36	5,10	80,29	6,35	6,07
3	6,94	5,65	81,46	7,50	7,08
4	6,69	5,95	88,93	11,83	8,38
5	6,40	5,80	90,60	7,38	7,01
6	5,82	4,75	81,65	7,45	6,50
7	7,73	6,73	87,13	10,36	9,65
8	3,04	2,28	74,75	3,85	3,00
9	4,06	3,91	96,09	7,48	5,36
10	7,77	6,09	78,34	9,81	8,39
11	6,53	5,66	86,56	12,69	6,85
12	5,66	4,72	83,44	7,76	6,13
13	7,89	5,80	73,50	13,72	7,98
14	5,63	4,41	78,34	8,14	6,62
15	5,52	3,35	60,72	4,16	3,66
16	7,74	5,94	76,71	11,36	7,86
17	5,36	5,36	99,88	13,21	13,08
18	4,27	4,04	94,48	8,63	6,19
19	6,02	5,14	85,38	12,27	6,73
20	6,96	5,94	85,42	13,10	7,53
21	6,78	5,94	87,56	13,22	7,94
22	6,83	5,73	83,95	13,17	7,50

Tab. B.3: Dynamické dechové parametry pro fyziologický stav.

Měřená osoba	FVC [L]	FEV <sub>1</sub> [L]	FEV <sub>1</sub> /FVC [%]	PEF [L/s]	FEF <sub>25-75</sub> [L/s]
1	5,57	2,57	46,14	3,10	2,70
2	5,74	3,22	56,08	4,10	3,91
3	6,44	3,21	49,94	3,78	3,35
4	6,12	5,14	84,00	8,02	6,35
5	5,48	1,64	29,84	1,92	1,84
6	4,34	2,03	46,65	2,45	2,11
7	6,10	2,13	34,90	3,49	3,28
8	3,85	1,70	44,22	2,64	2,48
9	2,94	2,18	74,25	2,66	2,19
10	6,93	1,31	18,85	3,89	3,54
11	6,18	5,42	87,68	7,42	6,87
12	5,49	2,48	45,27	3,75	3,46
13	8,33	4,29	51,42	5,22	4,92
14	5,42	4,66	86,10	5,51	5,24
15	5,13	1,48	28,93	1,99	1,89
16	7,18	1,89	26,25	4,28	4,09
17	5,43	4,67	85,98	6,79	5,37
18	4,08	3,14	76,92	4,06	3,61
19	5,41	2,93	54,12	3,86	3,80
20	6,49	4,08	62,85	4,87	4,57
21	6,54	3,49	53,43	5,40	4,78
22	6,21	3,84	61,79	4,58	4,23

Tab. B.4: Dynamické dechové parametry pro obstrukční stav.

## C POPIS SOUBORŮ NA PŘILOŽENÉM CD

Soubory na přiloženém CD jsou uloženy v následující adresářové struktuře.

- Složka **Textové zpracování**
  - DP\_Vyskovsky.pdf – PDF verze diplomové práce.
  - Protokol.pdf – PDF verze protokolu ke cvičení.
  - Protokol.docx – DOC verze protokolu ke cvičení.
- Složka **Programové zpracování**
  - Spirometrie.m – Spouštěcí skript programu pro prostředí Matlab.
  - Spirometrie.fig – GUI rozložení programu.
  - analyza.m – Skript pro vyvolání jednotlivých funkcí pro analýzu signálu.
  - dynam\_parametry.m – Skript pro výpočet dynamických parametrů.
  - frekv\_vt.m – Skript pro výpočet frekvence dýchání a dechového objemu.
  - kapacita\_objemy.m – Skript pro výpočet dechových kapacit a objemů.
  - korekce.m – Skript pro korekci signálu na drift.
  - max\_min\_nul.m – Skript pro vyvolání maxsign.m, minsign.m a nul\_body.m.
  - maxsign.m – Skript pro detekci maxim v signálu.
  - minsign.m – Skript pro detekci minim v signálu.
  - nul\_body.m – Skript pro detekci nulových bodů v signálu.
  - objem\_body.m – Skript pro určení hodnot maxim a minim v objemovém signálu, pomocí hodnot z max\_min\_nul.m.
  - prutok\_objem.m – Skript pro určení úseku v signálu průtoku a objemu obsahující maximální usilovný výdech.
  - zacatek\_exspira.m – Skript pro odstranění dechové pauzy v signálu průtoku a objemu před začátkem usilovného výdechu.
  - 01-10\_norm.txt – Uložená měření (1-10) pro fyziologický stav.
  - 01-10\_obstr.txt – Uložená měření (1-10) pro obstrukční stav.
- Složka **Měření**
  - 01-22 - Uložená měření