



**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

F7

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra biomedicínské techniky**

Semestrální projekt I

Model respiračního systému jako fantom pro metodu nucených oscilací

Adéla Rojíčková

červen 2023

Poděkování / Prohlášení

Tady bude poděkování

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně s použitím uvedených pramenů a literatury.

Obsah /

1 Testy	1
2 Úvod	2
3 Přehled současného stavu	3
4 Cíle práce	5
5 Metody	6
5.1 Akustická oscilometrie	6
5.2 Kalibrace zařízení tremoFlo	6
5.3 Sestavení modelu	6
5.4 Průběh měření	7
6 Výsledky	8
7 Diskuze	9
8 Závěr	10
A Výsledky měření	11
B Zadání práce	13
Literatura	14

Tabulky /

A.1.	Tabulka varianta 1	11
A.2.	Tabulka varianta 2	11
A.3.	Tabulka varianta 3	11
A.4.	Tabulka varianta 4	11
A.5.	Tabulka varianta 5	11
A.6.	Tabulka varianta 6	12
A.7.	Tabulka varianta 7	12
A.8.	Tabulka varianta 8	12
A.9.	Tabulka varianta 9	12
A.10.	Tabulka varianta 10	12
A.11.	Tabulka varianta 11	12

Kapitola 1

Testy

Tahle část přijde smazat

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

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

Citace aby se objevily

[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7]

Kapitola 2

Úvod

Respirační systém, jakožto jeden z nejdůležitějších systémů člověka, je třeba kontrolovat, aby prováděl správnou funkci. Může docházet k různým onemocněním, které je třeba včas diagnostikovat. Metod pro měření respiračního systému je několik. Tento projekt se zabývá metodou nucených oscilací realizovanou pomocí přístroje TremoFlo C -100. TremoFlo C -100 je přístroj určený k analýze respiračního systému pomocí metody nucených oscilací, což je neinvazivní metoda. Cílem této práce je vytvořit model plic, který bude kompatibilní s přístrojem TremoFlo C-100 a bude možnost na něm provádět testovací měření. Oproti spirometrii je metoda nucených oscilací přístupnější, protože vyžaduje pouze minimální spolupráci pacienta, tudíž je vhodná jak pro děti, tak pro pacienty v oslabeném stavu pro které by bylo obtížné provést měření, při kterém je třeba vyvíjet větší úsilí. Vyšetření probíhá v klidu, kdy pacient spontánně dýchá přes jednorázový antibakteriální filtr do přístroje. Vyhodnocuje se odpor dýchacích cest a tuhost plic. Hlavní výhoda oproti klasické spirometrii je ta, že metoda nucených oscilací neměří plíce jako jeden globální systém, ale je možnost určit v jakých místech plic se daná patologie nachází. [8] Přístroj generuje oscilace při různých frekvencích a amplitudách. Tyto oscilace jsou převedeny pomocí trubice nebo speciálního přívodu do pacientova dýchacího systému. Následně se zaznamenává odezva respiračního systému na tyto oscilace. Výsledkem měření nucených oscilací je rezistence dýchacích cest, pružnost plic a další charakteristiky dýchání. Tato data mohou být následně využívána při diagnostice různých patologických stavů jako je např. CHOPN nebo astma.

Aby se tato metoda dala využívat je třeba znát výsledky jednotlivých parametrů jak pro zdravé plíce, tak pro různé patologické stavy se kterými se naměřené hodnoty mohou porovnat. Model plic pro tuto metodu zatím neexistuje a cílem této práce je ho zhotovit.

Kapitola 3

Přehled současného stavu

Respirační systém je jedním ze základních systémů lidského těla, který zajišťuje výměnu plynů mezi krví a okolním systémem, konkrétně úzce spolupracuje se srdcem a krví ve snaze extrahovat kyslík z vnějšího prostředí a zbavovat tělo nežádoucího oxidu uhličitého. [2] Stejně jako ostatní části lidského těla je třeba kontrolovat i respirační systém a jeho správnou funkci. K tomu slouží metody jako spirometrie nebo metoda řízených oscilací.

Spirometrie je diagnostická metoda pro měření ventilace respiračního systému. Je založena na měření tlaku na síťce uvnitř spirometru, který je úměrný objemu vzduchu. Základním fyzikálním principem je analogie Ohmova zákona, kdy ze známého průtoku vzduchu, tj obdoba proudu a známé překážky, tj obdobě odporu je vypočtena změna tlaku, tj obdoba napětí. Spirometr zaznamenává výsledek jako graf ukazující objem plic v závislosti na čase. [1] Spirometrie je určena pro měření statických a dynamických parametrů plic. Statický parametr je velikost alveolárního prostoru, která informuje o případných restričních poruchách, příkladem je dechový objem, inspirační rezervní objem nebo vitální kapacita. Dynamický parametr je průběh proudění vzduchu v dýchacích cestách, který informuje o obstrukčních poruchách. Příkladem je časová vitální kapacita, maximální výdechový proud vzduchu nebo maximální volní ventilace. [3] Spirometrie je v praxi velmi rozšířená diagnostická metoda i přes její základní nedostatek, kdy plice jsou měřeny jako jeden globální systém a tudíž spirometrie není schopna rozlišit ve které části plic se nachází potenciální patologie.

Metoda nucených oscilací je novější diagnostická metoda měření ventilace respiračního systému. Funguje na podobném principu jako ostatní konvenční metody měření funkce respiračního systému, s tím rozdílem, že proud vzduchu v tomhle případě blokuje překážka ve formě pohyblivé sítě. Pohybem překážky vznikají tlakové rázy o frekvenci v řádu desítek hertzů. Pro měření metodou FOT (forced oscillation technique) není třeba žádné speciální dýchání ze strany pacienta. Přístroj měří klasickou spiometrii a zároveň vysílá pulzy s nízkou amplitudou a proměnlivou frekvencí do respiračního systému a následně měří velikosti amplitud, které se vrátí zpátky do přístroje. [7]

Každá frekvence má jiný dosah do jiné hloubky plic, podle toho jaká amplituda oscilací se vrátí do přístroje, tak určí jaká je inertance neboli setrvačnost plic v daném místě.

Metoda řízených oscilací je schopna změřit poddajnost a inertanci v různých částech respiračního systému a následně diagnostikovat určité plicní patologie. Výhodou tohoto vyšetření je jeho neinvazivnost a nenáročná spolupráce pacienta, není třeba provádět nějaké speciální dýchání. Vynucené oscilace jsou superponovány přímo na normální dýchání.

Tato metoda vyšetření se stává populární během posledních deseti let. Během té doby bylo vyvinuto mnoho variant FOT s různými konfiguracemi měření, frekvencí oscilací a principy hodnocení.

Přístroj TremoFlo C-100 využívá novou metodu oscilometrie pro zjištění odporu v dýchacích cestách a tuhosti plic bez speciálního dýchání pacientů. Tato metoda patří

mezi nejpokročilejší metody nucených oscilací.. TremoFlo C-100 je zaměřen na měření plicních funkcí pomocí multifrekvenčních vln vysílaných do dechového oběhu pacienta. [4]

Přístroj slouží k zjištění odporu v dýchacích cestách, posouzení tuhosti plic a rozlišení postižení centrálních a periferních dýchacích cest. Je vhodný i pro nespolupracující pacienty a ty, pro které je provedení vyšetření klasické spirometrie náročné. Výsledky měření se zobrazují v softwaru vytvořeného přímo pro tento přístroj. [4]

Pro vyhodnocení jsou známá data pro zdravého pacienta a dále jsou známá data pro vybrané konkrétní nemoci a jiné patologické stavy. Po změření pacienta se jeho data srovnají s daty zdravého pacienta a podle odchylek v grafu se identifikují a analyzují potenciální patologie.



Kapitola 4

Cíle práce

Cílem tohoto projektu je vytvořit dýchající model respiračního systému, který bude sloužit jako fantom pro měření respiračních parametrů a bude kompatibilní s přístrojem TremoFlo C-100. Dílčí cíle byly: sestavit model plic pomocí skleněné nádoby, plastových trubek a průtočných odporů. Cílem bylo zjistit vliv velikosti nádoby (poddajnosti modelu), délky trubice a velikost průtočných odporů na změnu naměřených parametrů.

Kapitola 5

Metody

5.1 Akustická oscilometrie

Invazivní metody měření respiračního systému se v současné době nevyužívají. Častěji se využívají metody neinvazivní jako např. spirometrie nebo akustická oscilometrie. Spirometrie je asi nejčastěji využívaná metoda pro analýzu dýchacího systému, avšak k jejímu provedení je třeba spolupráce pacienta, který musí provádět hluboké nádechy a výdechy. Akustická oscilometrie (dále AOS) má oproti spirometrii výhodu v tom, že vyžaduje pouze minimální spolupráci pacienta ve smyslu klidného spontánního dýchání. Je založená na základě měření impedance dýchacích cest. Výsledkem měření je kombinace hodnot rezistance a reaktance. Souhrnně tyto dvě hodnoty můžeme nazvat impedancí.

AOS je měřena pomocí přístroje tremoFlo C-100. Tento přístroj vytváří pohybem síta akustické vlnění. Tyto vysílané vlny jsou posunuty a deformovány, kvůli odporu dýchacích cest. Respiračním systémem projde oscilační akustická vlna, která je počítačově zpracovaná díky snímacím senzorům, které je převádí na elektrické impulzy. Všechny zaznamenané hodnoty zpracuje software tremoFlo, jenž nakonec vypočítá veličinu impedance respiračního systému Z_{rs} .

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

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

5.2 Kalibrace zařízení tremoFlo

Přístroj, kterým bylo měření prováděno se jmenuje TremoFlo C-100 (THORASYS Thoracic Medical Systems Inc., Kanada) a vyžaduje kalibraci před každým použitím. Kalibrace se provádí pomocí kalibrační zátěže, která je součástí balení. Kalibrační zátěž má je označena konkrétním kódem, který se opíše do systému, následně se nasadí na přenosný díl a spustí se kalibrace. Pro spolehlivé a přesné měření musí být přesnost v rozmezí 10% nebo 0,1 cmH₂O.s/l. Pokud je tato podmínka splněna může se provést měření. [8]

5.3 Sestavení modelu

Respirační systém se skládá se z pravé a levé plíce a průdušnic. Model respiračního systému byl sestaven pomocí mechanických analogií, skleněné nádoby, plastové trubice

a průtočného rezistoru.. Byly použity dvě velikosti nádob 54l a 35l, tři délky hadice (kolik cm), jeden díl, dva díly a tři díly a tři různé odpory 5, 20 a 50(čeho). TremoFlo C-100 je přístroj, který superponuje oscilace na spontánní dýchání člověka, tudíž model plic musí simulovat dýchání. Toto bylo vyřešeno mechanicky stříkačkou, která byla nastavena na 1L, tudíž při každém stlačení vpustila do systému 1L vzduchu. Postupně pomocí těchto součástek byly sestaveny všechny kombinace respiračního systému a změřena odezva přístroje TremoFlo C -100.

5.4 Průběh měření

Měření bylo prováděno v laboratoři pomocí přístroje tremoFlo C-100 od firmy THORASYS. K měření byl třeba počítač s nainstalovaným softwarem pro tento přístroj. Na software tremoFlo je třeba mít licenci tudíž měření bylo možné provádět pouze na konkrétním počítači, kde je licence nainstalována. Nejprve se přístroj i počítač zapojil do elektrické sítě a zapnul. Přístroj tremoFlo c-100 se pomocí kabelu propojil s počítačem. Jakmile software naběhl bylo potřeba provést kalibraci pomocí kalibrační zátěže, popis kalibrace je v podkapitole kalibrace zařízení TremoFlo). Software nemá testovací režim, tudíž před měřením je třeba vytvořit kartu fiktivního pacienta. Do ní je třeba vyplnit jméno, příjmení a věk pacienta. Po sestavení první kombinace modelu a vytvoření fiktivního pacienta se může přejít k měření. Každé měření probíhalo 16s během kterých byla mechanicky stlačována stříčka, která do systému vháněla vzduch. Po 16s přístroj data uložil a měření se opakovalo 3x kvůli snížení chyb a následnému průměrování. Po 3 měřeních jedné kombinace se jeden článek modelu, průtočný odpor, délka plastové trubice nebo velikost skleněné nádoby vyměnila a měření se opakovalo. Tímhle způsobem se vystřídaly všechny kombinace. Všechny data byla uložena v systému a na konci se z nich vygenerovala tabulka

Kapitola 6

Výsledky

Měření probíhalo na 19 různých kombinacích modelu respiračního systému. Každé měření bylo prováděno 3x, aby se výsledek následně zprůměroval. Hodnoty u zdravé populace podle oficiálních stránek PulmoScan jsou uvedeny v tabulce XXX



Kapitola 7

Diskuze



Kapitola 8

Závěr

Příloha A

Výsledky měření

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	3,16	-0,02	5,43	18,69	0,58	0,98
2	2,64	0,41	n/a	18,69	0,73	0,97
3	2,34	0,35	n/a	18,69	0,73	0,98

Tabulka A.1. Díly: 3, odpor: 20, nádoba: 54

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	2,37	0,31	n/a	18,69	0,72	0,98
2	3,1	0,01	n/a	18,69	0,51	0,99
3	3,1	0,08	n/a	18,69	0,47	0,99

Tabulka A.2. Díly: 3, odpor: 5, nádoba: 54

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	2,47	0,06	n/a	18,69	0,23	1
2	2,44	0,03	n/a	18,69	0,22	1
3	2,45	0,06	n/a	18,69	0,24	1

Tabulka A.3. Díly: 3, odpor: 50, nádoba: 54

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	2,47	0,1	n/a	18,69	0,27	1
2	2,42	0	n/a	18,69	0,24	1
3	2,44	0,1	n/a	18,69	0,22	1

Tabulka A.4. Díly: 2, odpor: 50, nádoba: 54

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	3,24	0,04	n/a	18,69	0,53	0,99
2	3,15	0,02	n/a	18,69	0,57	0,98
3	3,17	0,06	n/a	18,69	0,54	0,99

Tabulka A.5. Díly: 1, odpor: 20, nádoba: 54

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	2,27	0,26	n/a	18,69	0,74	0,98
2	2,46	0,16	n/a	18,69	0,71	0,98
3	2,77	0,2	n/a	18,69	0,71	0,97

Tabulka A.6. Díly: 1, odpor: 5, nádoba: 54

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	3,11	-0,01	12,18	18,69	0,51	0,98
2	3,27	-0,11	7,93	18,69	0,45	0,97
3	3,11	-0,03	6,57	18,69	0,52	0,97

Tabulka A.7. Díly: 2, odpor: 20, nádoba: 54

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	3,64	0,01	n/a	18,69	0,63	0,98
2	3,75	-0,16	7,5	18,69	0,59	0,97
3	3,59	0,08	n/a	18,69	0,58	0,97

Tabulka A.8. Díly: 2, odpor: 20, nádoba: 35

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	2,94	0,04	n/a	18,69	0,32	1
2	2,93	0,03	n/a	18,69	0,31	1
3	2,88	0,12	n/a	18,69	0,27	1

Tabulka A.9. Díly: 2, odpor: 50, nádoba: 35

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	2,19	0,04	n/a	18,69	0,75	0,97
2	2,39	-0,05	5,54	18,69	0,76	0,97
3	2,25	0	n/a	18,69	0,75	0,97

Tabulka A.10. Díly: 2, odpor: 5, nádoba: 35

Měření	R_5 [cm · H ₂ O · s/L]	X_5 [cm · H ₂ O · s/L]	F_{res} [Hz]	Reference	V_T [L]	COH_5
1	3,81	-0,18	9,8	18,69	0,6	0,97
2	3,96	-0,17	6,7	18,69	0,61	0,97
3	3,65	0,08	n/a	18,69	0,64	0,97

Tabulka A.11. Díly: 2, odpor: 20, nádoba: 35

Příloha B

Zadání práce



ZADÁNÍ SEMESTRÁLNÍHO PROJEKTU I

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rojčíková** Jméno: **Adéla** Osobní číslo: **499916**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**
Studijní program: **Biomedicínská technika**

II. ÚDAJE K SEMESTRÁLNÍMU PROJEKTU

Název semestrálního projektu:

Model respiračního systému jako fantom pro metodu nucených oscilací

Název semestrálního projektu anglicky:

A model of the respiratory system as a phantom for the forced oscillation method

Pokyny pro vypracování:

Vytvořte dýchací model respiračního systému sloužící jako fantom pro měření respiračních parametrů metodou nucených oscilací. Propojte model s přístrojem TremoFlo C-100 a ověřte jeho funkčnost. Zjistěte vliv změny průtočného odporu a poddajnosti modelu na naměřené parametry.

Seznam doporučené literatury:

- [1] E. Oostveen et al., The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments, European Respiratory Journal, ročník 22, 2003
- [2] Bill Brashier, Sundeep Salvi, Measuring lung function using sound waves: role of the forced oscillation technique and impulse oscillometry system, breathe, ročník 11, 2015
- [3] Urs Frey, Forced oscillation technique in infants and young children, Paediatric Respiratory Reviews, ročník 6, číslo 4, 2005

Jméno a příjmení vedoucí(ho) semestrálního projektu:

Ing. Václav Ort

Jméno a příjmení konzultanta(ky) semestrálního projektu:

Ing. Šimon Walzel

Datum zadání semestrálního projektu: **27.02.2023**

Platnost zadání semestrálního projektu: **27.01.2024**

doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D.
vedoucí katedry

děkan

Literatura

- [1] Oostveen, E., MacLeod, D., Lorino, H., Farre, R., Hantos, Z., Desager, K., & Marchal, F.: *The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments*. In *European Respiratory Journal (Roc. 22, Issue 6, s. 1026—1041)*. *European Respiratory Society (ERS)*. [online]. 2003 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14680096/>
- [2] MEFANET, síť lékařských fakult ČR a SR: *Spirometrie* [online]. [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Spirometrie>
- [3] *Simple effort-free lung function assessment*. *PulmoScan*. [online]. [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://pulmoscan.cognitalabs.com/>
- [4] Vit Nasinec, V.: *Tremoflo C-100 , Oscilometrie (AOS)*. *tremoFlo C-100, oscilometrie (AOS) / MR Diagnostic* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.mr-diagnostic.cz/tremoflo>
- [5] *Síť lékařských fakult ČR a SR.: Spirometrie, Plicní Objemy* [online]. [cit. 2023-06-10]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Spirometrie,_plicní_objemy
- [6] *Funkce respiračního systému* [online]. Masarykova univerzita [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: https://www.med.muni.cz/patfyz/pdf/new/Dychaci_systemPP2005.pdf
- [7] *Spirometrie: Polikliniky Medicon: Spirometrie — Polikliniky MEDICON* [online]. [cit. 2023-06-10]. Dostupné z: <https://www.mediconas.cz/cs/spirometrie>
- [8] VLČEK, Tomáš. *Akustická oscilometrie*. Kladno, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Jakub Ráfl, Ph.D.