

Model układu oddechowego

(E)

I. Zagadnienia

1. Mechanika procesu oddychania, wentylacja płuc.
2. Statyczne i dynamiczne parametry spirometryczne.
3. Prawa gazowe i przemiany gazu doskonałego.

II. Zadania

1. Zapoznanie się z pracą modelu układu oddechowego
2. Pomiar statycznych i dynamicznym parametrów spirometrycznych modelu
3. Wyznaczenie średniej podatności płuc
4. Wyznaczenie objętości zalegającej płuc przy pomocy pletyzmografu
5. Badanie spirometryczne

III. Wykonanie ćwiczenia

Badany model układu oddychania (Rys. 1.) składa się z przezroczystego naczynia cylindrycznego (klatki piersiowej), w którym znajduje się elastyczny pojemnik w kształcie krążków imitujących płaty płucne. Naczynie to zamyka od dołu ruchoma przepona poruszana pneumatycznym siłownikiem. Komputerowe sterowanie siłownikiem odbywa się poprzez zamykanie i otwieranie zaworów regulujących przepływ powietrza zasysanego przez pompę. Ruch przepony w dół powoduje obniżenie ciśnienia w klatce piersiowej i w konsekwencji w elastycznych płatach płucnych. W wyniku powstałej różnicy ciśnień następuje przepływ powietrza atmosferycznego do płatów płucnych – wdech. Analogicznie, ruch przepony ku górze wywołuje przepływ powietrza z płuc do atmosfery - wydech. Drogę przepływów powietrza stanowi naczynie z wbudowanym przepływomierzem **P**, manometrem i sterowanym zaworem mogącym zamykać okresowo swobodny wypływ powietrza z płuc – szaterem (Rys. 1).

Klatka piersiowa znajduje się w kabine pletyzmograficznej. W zależności od potrzeb eksperymentu wewnątrz pletyzmografu może być połączone z otoczeniem zaworem **Z**. Zatem, jeśli zawór jest otwarty w pletyzmografie panuje ciśnienie atmosferyczne p_{atm} . Dodatkowo w skład układu wchodzi zasilacz, który wytwarza odpowiednie napięcia elektryczne zasilające mierniki aparatury oraz wytwarza odpowiednie impulsy sterujące.

W trakcie pracy modelu program rejestruje ciśnienia panujące w płucach (pęcherzyki płucne), opłucnej, ustach i kabine pletyzmograficznej oraz przepływ powietrza. Mierzone parametry przedstawiane są na wykresach: wykres górny przedstawia przepływ powietrza w funkcji czasu, wykres dolny ciśnienia (czerwony-płuca, granatowy-opłucna, zielony-pletzomograf, żółty-usta) w funkcji czasu. Istnieje możliwość wyboru prezentowanych krzywych na wykresie ciśnień poprzez zaznaczenie właściwych opcji (lewy dolny róg okna dialogowego programu **Ster_oddech**). Bez względu jednak na ilość wybranych krzywych program zapisuje do pliku wszystkie wyniki pomiarów, które zaimportowane do programu **Statistica** umieszczone są w tabeli w następującej kolejności:

Kolumna Var1- czas [s]

Kolumna Var2- ciśnienie w ustach [hPa]

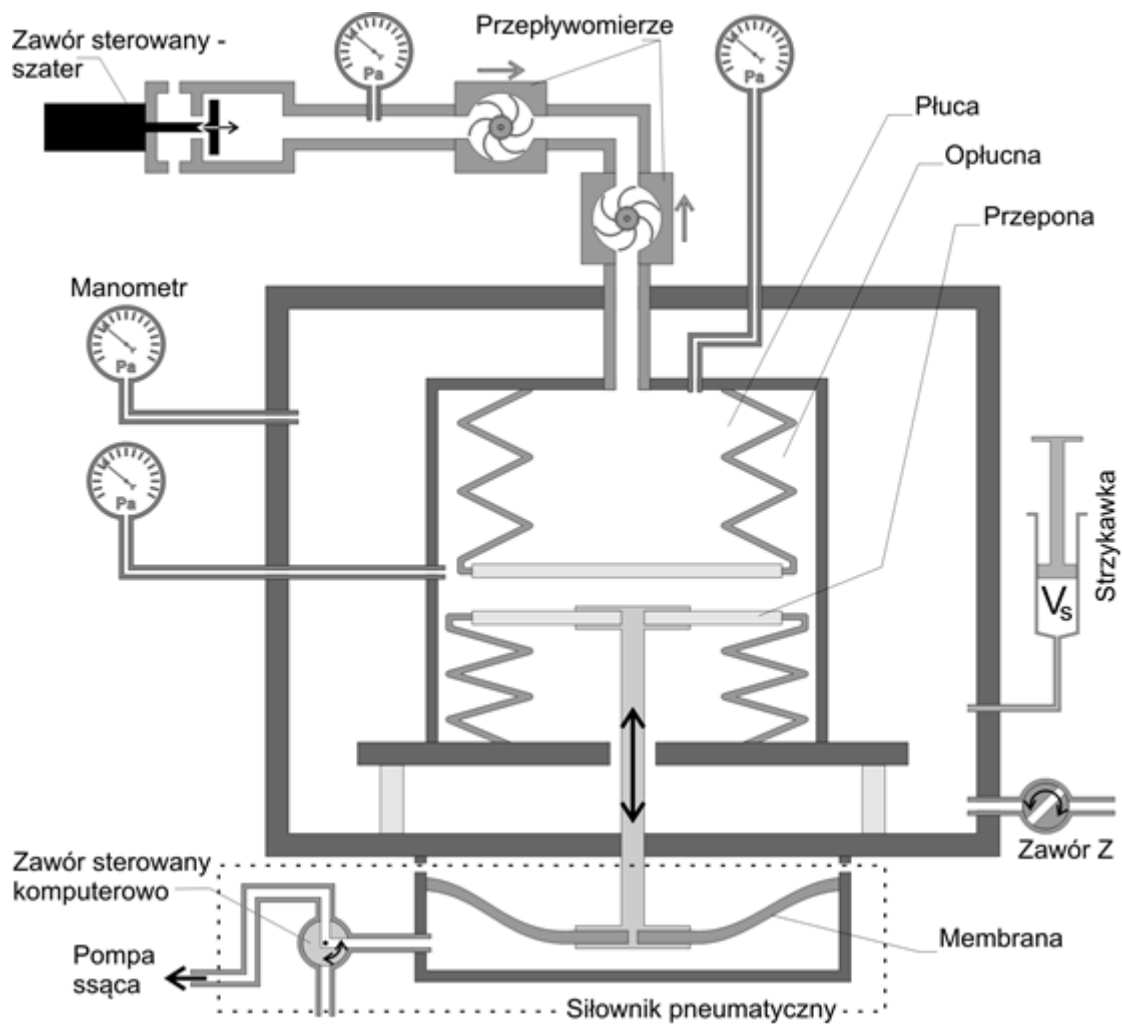
Kolumna Var3- ciśnienie w pęcherzykach płucnych [hPa]

Kolumna Var4- ciśnienie w opłucnej [hPa]

Kolumna Var5- ciśnienie w kabine pletyzmografu [hPa]

Kolumna Var6- przepływ w ustach [l/s]

Kolumna Var7- znacznik pracy szatera w opcji *Compliance*



Rys. 1. Schemat układu. Szczegółowy opis w tekście.

Uwaga! Wszystkie ciśnienia są mierzone względem ciśnienia atmosferycznego. Ciśnienie atmosferyczne należy odczytać z przenośnej stacji meteorologicznej znajdującej się na terenie Pracowni.

1) Przygotowanie do ćwiczenia

- Włączyć komputer i załogować się
- Włączyć zasilacz
- Uruchomić program *Ster_oddech*
- Otworzyć zawór Z
- Uruchomić model poprzez wybór opcji *Start* w programie *Ster_oddech*

Zaobserwować pracę układu, zlokalizować położenie manometrów, przepływomierza i szatera oraz miejsca odpowiednich pomiarów. Powyższe obserwacje przeprowadzić dla różnych czasów „wdechu” (w zakresie 1000 - 2000 ms) z włączonym i wyłączonym szaterem oraz przy otwartym i zamkniętym zaworze Z. Przyporządkować na wykresie miejsca poszczególnych faz pracy układu.

2) Pomiar ciśnień w płucach i opłucnej

Przy otwartym zaworze Z i wyłączonym szaterze (**OFF**)

- Wybrać 10 cykli oddechowych

W tym celu w oknie programu *Ster_oddech* należy zaznaczyć N i wpisać liczbę 10.

- Wybrać czasy trwania „wdechu” i „wydechu” 1500 ms

- Uruchomić model (*Start*)

Po wykonaniu zadanej liczby cykli układ zostanie zatrzymany automatycznie.

- Zapisać rezultaty

Po wybraniu opcji *Zapisz pomiar* w programie *Ster_oddech* pojawia się okno dialogowe, w którym należy wpisać nazwę pliku i wybrać miejsce, gdzie docelowo plik będzie zapisany (folder grupy na dysku U:).

- Wykonać wykresy przedstawiające ciśnienie w płucach i opłucnej za pomocą programu *Statistica* i umieścić je wraz z komentarzem w sprawozdaniu.

W celu wykonania wykresów należy zaimportować zapisane rezultaty do programu *Statistica*. Następnie sporządzić wykres, na którym znajdzie się krzywa przedstawiająca ciśnienie w pęcherzykach płucnych oraz w opłucnej w zależności od czasu. Operując osią czasu przedstawić maksymalnie 3 cykle oddechowe. Wykres należy opisać uwzględniając jednostki i uaktualniając legendę a następnie wkleić do sprawozdania. Przebieg krzywych na wykresie należy skomentować.

3) Spirometria

a. Pomiar całkowitego przepływu powietrza w górnych drogach oddechowych

Podczas realizacji punktu 2 zapisane zostały również rezultaty przepływu w ustach w zależności od czasu.

- Wykonać wykres przedstawiający przepływ powietrza w ustach.

Operując osią czasu przedstawić maksymalnie 3 cykle oddechowe. Wykres należy opisać uwzględniając jednostki.

- Odczytać z wykresu maksymalną wartość przepływu w czasie „wdechu” i „wydechu”

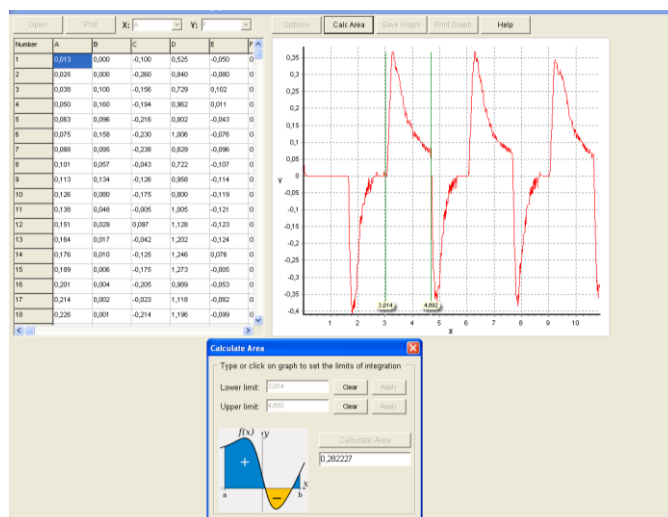
b. Obliczanie pojemności życiowej płuc VC

Pojemność życiowa płuc VC jest to różnica objętości płuc po głębokim wdechu i maksymalnym wydechu (Rys. D1).

Obliczyć oddzielnie objętość wdychaną i wydychaną w jednym cyklu (obszar pod krzywą na wykresie przepływu powietrza w ustach w funkcji czasu) i obliczyć ich wartość średnią. Ta modyfikacja wynika z faktu, że model nie posiada mięśni oddechowych.

Korzystając z programu *Integrate* (Rys. 2):

- Zaimportować zapisany plik używając opcji *Open*.
- Wykonać wykres wybierając kolumnę A i F jako odpowiednio, X i Y.
- Określić dolną i górną granicę całkowania korzystając z opcji *Calc Area*.
- Nacisnąć *Calculate Area*.



Rys.2. Okno dialogowe programu *Integrate*.

- Wynik opatrzone komentarzem umieszczamy w sprawozdaniu.

Uwaga! Przyjęto, że kierunek przepływu powietrza do płuc (wdech) ma wartość ujemną a z płuc (wydech) dodatnią.

4) Pomiar ciśnienia w płucach przy użyciu szatera (diagnostyka)

- Ustalić liczbę cykli oddechowych (N = 10)
- Czasy trwania „wdechu” i „wydechu”: 1500 ms
- Włączyć szater (ON)

- Uruchomić model (*Start*)

Po wykonaniu zadanej liczby cykli układ zostanie zatrzymany automatycznie.

- Zapisać wyniki (*Zapisz pomiar*)

- Wykonać wykresy przedstawiające ciśnienie w płucach i ustach w zależności od czasu za pomocą programu *Statistica*.

Operując osią czasu przedstawić maksymalnie 3 cykle oddechowe. Wykres należy opisać uwzględniając jednostki i uaktualniając legendę a następnie wkleić do sprawozdania. Przebieg krzywych i reprezentowanych przez nie wyniki skomentować w kontekście sposobu wykonywania diagnostyki klinicznej.

5) Pletyzmografia

a. Wyznaczanie objętości powietrza znajdującego się w kabinie pletyzmografu

Do komory pletyzmograficznej dołączona jest strzykawka (Rys. 1).

- Otworzyć zawór Z i wypełnić powietrzem dołączoną do pletyzmografu strzykawkę o znanej objętości V_S (wartość V_S zanotować).

- Odczytać i zanotować wartość ciśnienia atmosferycznego (barometr znajdujący się w Pracowni)

- Zamknąć zawór Z

- Włączyć opcję **VP START**

Wybór opcji **VP** powoduje pomiar ciśnienia w pletyzmografie przy wyłączonej pompie, czyli przy urządzeniu pozostającym w spoczynku.

- Wtłoczyć (szybko) zawartość strzykawki do pletyzmografu

- Wyłączyć pomiar (**VP STOP**)

- Odczytać z wykresu (krzywa zielona) największą wartość ciśnienia w pletyzmografie.

Na podstawie pomiaru ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia w kabinie pletyzmograficznej oraz dodatkowej, znanej objętości V_S wprowadzanej do pletyzmografu, korzystając z prawa Boyle'a-Mariotte'a (1) wyznaczyć V_P - objętość powietrza w kabinie pletyzmografu w sytuacji, gdy objętość płuc jest najmniejsza (wydech):

$$p_{atm}(V_p + V_S) = (p_1 + p_{atm})V_p \quad (1)$$

Po przekształceniu otrzymujemy:

$$V_p = \frac{p_{atm}}{p_1} V_S \quad (2)$$

gdzie: p_{atm} - ciśnienie atmosferyczne

p_1 - przyrost ciśnienia w zamkniętej kabinie pletyzmograficznej po wtłoczeniu zawartości strzykawki,

V_p - objętość powietrza w kabinie pletyzmograficznej przy minimalnej objętości modelu płuc (wydech)

V_s - objętość powietrza w strzykawce

b. Wyznaczanie całkowitej (TLC) pojemności płuc

Całkowita pojemność płuc (TLC) to suma życiowej pojemności płuc (VC) i objętości zalegającej (RV).

W celu wykonania przez model głębokiego „wdechu” należy zmodyfikować czas jego trwania.

- Ustalić z asystentem czas trwania „wdechu” (zakres zmian 2000-2500 ms) i wpisać go w okno **Wdech TLC**

- Otworzyć zawór Z

- Zamknąć zawór Z

- Włączyć przycisk **TLC**

Wybór opcji **TLC** uruchomi jeden cykl oddechowy; nastąpi głęboki wdech a wydech zostanie zablokowany. W trakcie cyklu oddechowego rejestrowane jest ciśnienie w płucach i w kabinie pletyzmografu.

Stosując prawo Boyle’a-Mariotte’a dla powietrza w płucach przy zablokowanym „wydechu”, czyli w chwili, gdy zamknięte w nich powietrze ulegnie sprężeniu dzięki pracy „mięśni oddechowych” zmniejszając jego objętości o V (3) oraz z prawa Boyle’a-Mariotte’a dla powietrza w pletyzmografie w tej samej chwili (4) można wyznaczyć TLC:

$$p_{atm}TLC = (p_2 + p_{atm})(TLC - V) \quad (3)$$

$$p_{atm}V_p = (p_3 + p_{atm})(V_p - VC + V) \quad (4)$$

Przekształcając równania (3) i (4) otrzymujemy odpowiednio:

$$TLC = \frac{(p_2 + p_{atm})V}{p_2} \quad (5)$$

$$V = VC - \frac{p_3 V_P}{p_3 + p_{atm}} \quad (6)$$

Zatem

$$TLC = \frac{p_2 + p_{atm}}{p_2} \left(VC - \frac{p_3 V_P}{p_3 + p_{atm}} \right) \quad (7)$$

gdzie: p_2 - przyrost ciśnienia w płucach po głębokim wdechu przy zamkniętych ustach i przy maksymalnie napiętych mięśniach oddechowych (zablokowany wydech),

p_3 - wartość ciśnienia w kabinie pletyzmograficznej po głębokim wdechu przy zamkniętych ustach i przy maksymalnie napiętych mięśniach oddechowych (zablokowany wydech),

TLC - całkowita pojemność płuc

c. Wyznaczanie objętości zalegającej płuc (RV)

Objętość zalegająca płuc (RV) to różnica pomiędzy całkowitą pojemnością (TLC) a pojemnością życiową płuc (VC). Jest to objętość gazu, która pozostaje w płucach po wykonaniu wydechowego wydechu:

$$RV = TLC - VC \quad (11)$$

Obliczyć stosunek procentowy VC i TLC (VC/TLC). Wyniki otrzymane metodą pletyzmograficzną należy umieścić w sprawozdaniu i skomentować w kontekście wartości fizjologicznych.

IV. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno być przygotowane w oparciu o szablon (*Układ oddechowy.dotx*) i powinno zawierać:

- 1) Wykres przedstawiający ciśnienie w płucach i opłucnej wraz z komentarzem
- 2) Maksymalną wartość przepływu powietrza w drogach oddechowych modelu
- 3) Wykres przedstawiający przepływ powietrza w płucach przy wdechu i wydechu wraz z obliczeniami dotyczącymi objętości wdychanej i wydychanej w jednym cyklu

- 4) Wykres przedstawiający ciśnienie w płucach i ustach wraz z komentarzem na temat praktycznego zastosowania szatera w pomiarach diagnostycznych
- 5) Wyniki otrzymane metodą pletyzmograficzną wraz z komentarzem.

VI. Instrukcje obsługi

Instrukcja programu *Statistica*.