

Układ oddechowy

(L, E)

I. Zagadnienia

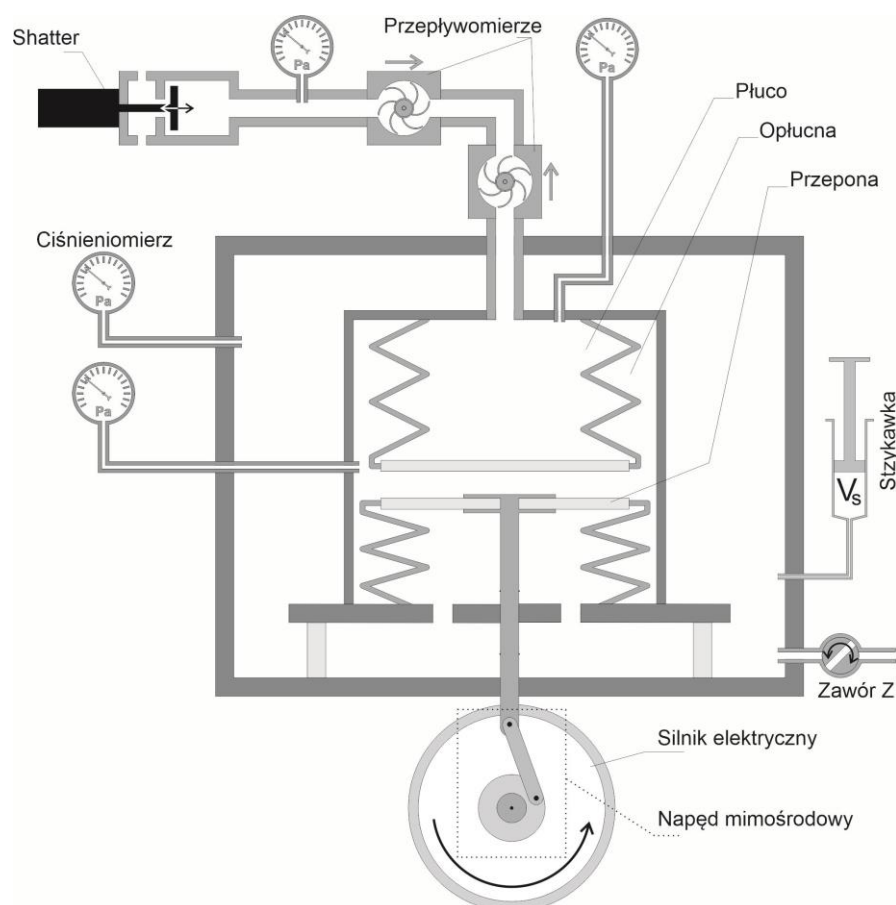
1. Mechanika procesu oddychania, wentylacja płuc.
2. Statyczne i dynamiczne parametry spirometryczne.
3. Prawa gazowe i przemiany gazu doskonałego.

II. Zadania

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

III. Wykonanie ćwiczenia

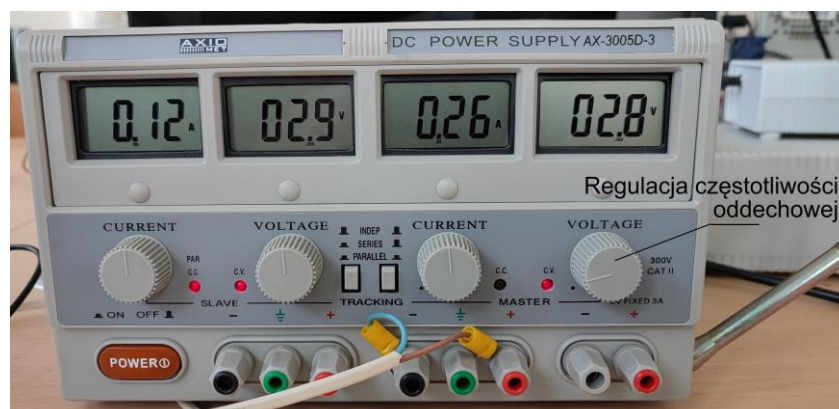
Badany model układu oddechowego (Rys. 1.) składa się z przezroczystego naczynia cylindrycznego (model klatki piersiowej), w którym znajdują się dwa gumowe mieszki. Górny pełni rolę płuca. Model klatki piersiowej od dołu zamknięty jest drugim mieszkem, który pełni rolę ruchomej przepony. Przepona przesuwana jest przy pomocy silnika elektrycznego z napędem mimośrodowym. Napęd mimośrodowy zamienia ruch obrotowy silnika w ruch posuwisto-zwrotny przepony i w ten sposób realizowany jest proces oddychania. Przestrzeń pomiędzy ścianami klatki piersiowej (cylindryczne naczynie), a mieszkem imitującym przeponę jest odizolowana i pełni w modelu rolę przestrzeni opłucnowej. Ruchy przepony w przestrzeni opłucnowej wywołują w niej zmiany ciśnienia, które z kolei powodują ruch modelu płuca. Ruch przepony w dół powoduje obniżenie ciśnienia w klatce piersiowej (opłucnej) i w konsekwencji w elastycznych płatach płucnych. W wyniku powstałej różnicy ciśnień następuje napływ powietrza atmosferycznego do płuc – wdech. Analogicznie, ruch przepony ku górze wywołuje przepływ powietrza z płuc do atmosfery - wydech. Drogę przepływu powietrza stanowi układ rurek z wbudowanymi przepływomierzami i sterowanym komputerowo zaworem mogącym zamykać okresowo swobodny wypływ powietrza z płuc – shatterem.



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

Silnik napędzający przeponę zasilany jest zasilaczem wielofunkcyjnym. Częstotliwość oddechowa może być regulowana ustawieniami pokrętła odpowiedzialnego za regulację napięcia zasilającego na panelu zasilacza (Rys. 2.). Częstotliwość na poziomie 15 oddechów

na minutę można osiągnąć ustawiając napięcie zasilające na poziomie 2,8 V. Częstotliwości 12 oddechów na minutę odpowiada napięcie 2,2 V.



Rys. 2. Zasilacz zasilający silnik sterujący procesem oddychania.

Podczas pracy układu można rejestrować zmiany ciśnień w czterech miejscach modelu i zmiany przepływu powietrza w górnych drogach oddechowych. Komputer obsługujący stanowisko laboratoryjne poprzez układ pomiarowy podłączony do portu USB daje możliwość zapisu zmian badanych parametrów w czasie. W tym celu należy wykorzystać program *Ster_odech* znajdujący się na pulpicie. Sterowanie procesem oddychania i pomiary nie są synchronizowane w obecnej wersji modelu. W sytuacji, kiedy pojawia się potrzeba ustawienia konkretnej fazy oddechowej (wdech/wydech) należy wyłączyć zasilacz silnika napędzającego model i ustawić odpowiednią fazę oddechu kręcąc ręcznie osią silnika.

Klatka piersiowa znajduje się w kabinie pletyzmograficznej (prostokątny pojemnik). Wnętrze pletyzmografu może być połączone z otoczeniem przy pomocy zaworu **Z**. Jeśli zawór **Z** jest otwarty, to w pletyzmografie panuje ciśnienie atmosferyczne p_{atm} .

Praca modelu sterowana jest ręcznie przy pomocy silnika zasilanego zasilaczem wielofunkcyjnym a komputer gromadzi jedynie dane pomiarowe. W trakcie pracy modelu komputer rejestruje ciśnienia panujące w płucach (pęcherzyki płucne), opłucnej, ustach i kabinie pletyzmograficznej oraz przepływ powietrza do i z płuc. Mierzone parametry przedstawiane są na dwóch wykresach: wykres górny przedstawia przepływ powietrza w funkcji czasu, wykres dolny prezentuje zmiany ciśnień w czasie. Ciśnienia rejestrowane w punktach pomiarowych oznaczone są kolorami: czerwony - płuca, niebieski - opłucna, zielony - pletyzmograf, żółty - usta). Istnieje możliwość wyboru, które krzywe będą prezentowane na wykresie ciśnień poprzez zaznaczenie właściwych pól wyboru, ale program zapisuje do pliku zawsze kompletne wyniki pomiarów. Dane zapisujemy klawiszem **Zapisz pomiar** do pliku tekstowego zawierające siedem kolumn:

- Kolumna 1 (Var1) - czas [s]**
- Kolumna 2 (Var2) - ciśnienie w ustach [hPa]**
- Kolumna 3 (Var3) - ciśnienie w pęcherzykach płucnych [hPa]**
- Kolumna 4 (Var4) - ciśnienie w opłucnej [hPa]**
- Kolumna 5 (Var5) - ciśnienie w kabinie pletyzmografu [hPa]**
- Kolumna 6 (Var6) - przepływ w ustach [l/s]**
- Kolumna 7 (Var7) - znacznik zamknięcia shattera**

Uwaga!

- 1) Ciśnienia są mierzone względem ciśnienia atmosferycznego (p_{atm}). Ciśnienie atmosferyczne można odczytać z przenośnej stacji meteorologicznej.
- 2) Przyjęto, że kierunek przepływu powietrza do płuc (wdech) ma wartość ujemną a z płuc (wydech) dodatnią.

1) Przygotowanie do ćwiczenia

- Włączyć układ odpowiedzialny za wykonywanie pomiarów i zasilacz silnika.
- Uruchomić program **Ster_oddech**.
- Otworzyć zawór **Z** w modelu kabiny pletyznografu.
- Zaobserwować pracę układu, zlokalizować położenie manometrów, przepływomierza i shattera oraz miejsca odpowiednich pomiarów. Powyższe obserwacje przeprowadzić dla różnych częstotliwości oddechowej z włączonym i wyłączonym shatterem oraz przy otwartym i zamkniętym zaworze **Z**. Częstotliwość pracy modelu regulujemy pokrętką zasilacza silnika. Proszę nie przekraczać napięcia 5 V. Przyporządkować na wykresie miejsca poszczególnych faz pracy układu (wdech, wydech).

2) Pomiar i rejestracja ciśnień w płucach i opłucnej

- Upewnić się, czy zawór **Z** jest otwarty, a shatter wyłączony.
- Ustawić częstotliwość oddychania na 15 cykli na minutę (napięcie 2,8 V).
- Uruchomić pomiary klawiszem **Start**. Po zrealizowaniu przez model kilku cykli oddechowych zatrzymać pomiary klawiszem **Stop**.
- Zapisać rezultaty przy pomocy opcji **Zapisz pomiar**.
- Zaimportować wyniki do programu **Statistica** i wykonać wykres przedstawiający jednocześnie zmiany ciśnienia w płucach i opłucnej w czasie (dwie krzywe na jednym wykresie). Proszę przedstawić na wykresie około trzech cykli oddechowych. Proszę tak zdefiniować własności krzywych na wykresie, aby po wydruku można było je odróżnić, ale żeby wykres był równocześnie czytelny (zastosować linie różnego rodzaju np. przerywane, pogrubione, kropkowane itp., zamiast stosowania kolorów, wyłączyć markery punktów).
- Wykres należy opisać uwzględniając jednostki i aktualizując legendę, a następnie wkleić do sprawozdania. Proszę zadbać o to, żeby z wykresów usunąć niepotrzebne fitowania. Przebieg krzywych i wartości obserwowanych na wykresie ciśnień należy skomentować.

3) Wyznaczanie objętości pletyzmografu (V_p)

- Odczytać i zanotować wartość ciśnienia atmosferycznego (p_{atm}).
- Otworzyć zawór **Z** i wypełnić powietrzem dołączoną do pletyzmografu strzykawkę. Zanotować objętość powietrza w strzykawce V_s .

- Wyłączyć zasilacz i kręcąc ręcznie ośią silnika ustawić układ w pozycji maksymalnego wydechu (przepona przesunięta maksymalnie do góry).
- Zamknąć zawór **Z**.
- Włączyć opcję **VP START**. Opcja ta uruchamia pomiar ciśnienia w pletyzmografie.
- Wtłoczyć (szybko) zawartość strzykawki do pletyzmografu
- Wyłączyć pomiar (**VP STOP**).
- Odczytać z wykresu (krzywa zielona) największą wartość ciśnienia (p_1) osiągniętą w pletyzmografie podczas wtłaczania powietrza ze strzykawki.
- Wyznaczyć objętość pletyzmografu (V_p) w sytuacji, gdy objętość płuc jest najmniejsza (wydech). Korzystamy ze znajomości p_{atm} , p_1 oraz V_s oraz prawa Boyle'a-Mariotte'a:

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

Po przekształceniu otrzymujemy:

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

- Wyznaczyć objętość kabiny pletyzmografu w bezpośrednim pomiarze jej geometrii przy użyciu linijki. Proszę obliczyć błąd wyznaczonej w ten sposób objętości.
- Porównać i skomentować wyniki otrzymane przy pomocy obydwu powyższych metod.

4) Spirometria z wykorzystaniem modelu

a. Pomiar całkowitego przepływu powietrza w górnych drogach oddechowych

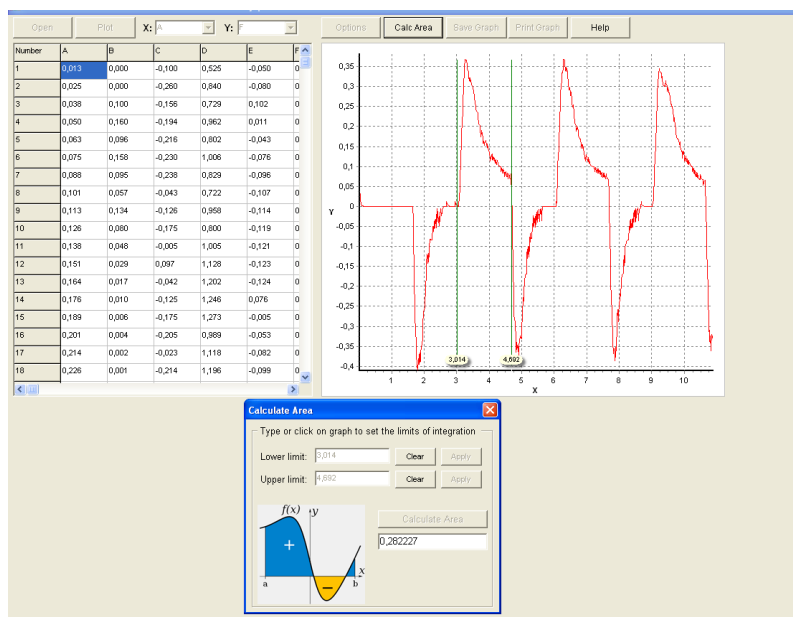
- Wykorzystując wyniki zapisane podczas wykonywania poprzedniego punktu stworzyć wykres przedstawiający przepływ powietrza w górnych drogach oddechowych. Proszę przedstawić na wykresie około trzech cykli oddechowych. Wykres wkleić do sprawozdania.
- Odczytać z wykresu maksymalną wartość przepływu w czasie „wdechu” i „wydechu”.

b. Spirometryczny pomiar pojemności życiowej płuc (VC_s)

Spirometria jest metodą pomiaru parametrów układu oddechowego, w tym pojemności życiowej (VC), na podstawie pomiarów czasowych zmian przepływu objętościowego w górnych drogach oddechowych. Spirometr jest w istocie przepływomierzem, a pomiar taki jest możliwy przy założeniu, że zmiany objętości płuc są równe ilości przepływającego przez spirometr powietrza. Aby z wykresu zmian czasowych przepływu objętościowego wyznaczyć objętość płynącego powietrza należy wykonać całkowanie, czyli obliczyć powierzchnię pomiędzy wykresem tych zmian, a osią czasu. Jeśli wykres znajduje się nad osią, to wyznaczona objętość będzie miała wartość dodatnią, a jeśli pod osią, to wartość ujemną. W przyjętej konwencji dodatnie wartości odpowiadają wydechowi, a ujemne – wdechowi.

W tym punkcie należy obliczyć oddzielnie objętości wdychaną i wydychaną w jednym cyklu (obszar pomiędzy krzywą na wykresie przepływu powietrza w ustach w funkcji czasu a osią czasu) i obliczyć ich wartość średnią. Proszę zwrócić uwagę, że w momencie kiedy zaczyna/kończy się wdech/wydech przepływ przyjmuje wartość 0! Aby obliczyć objętości wdychanego i wydychanego powietrza należy posłużyć się programem **Integrate** (Rys. 3). Program ten pozwala przeprowadzić całkowanie otrzymanych eksperymentalnie krzywych, co w przypadku wykresu zmian przepływu w czasie pozwala wyznaczyć objętość przepływającego powietrza pomiędzy ustalonymi chwilami czasu (granice całkowania). Aby tego dokonać należy:

- Zaimportować zapisany plik używając opcji **Open**.
- Narysować wykres całkowanej krzywej zmian przepływu objętościowego w czasie wybierając kolumny A oraz F odpowiednio jako X i Y.
- Wybrać opcję **Calc Area** i w pojawiającym się okienku dialogowym określić dolną i górną granicę całkowania (czyli **chwile czasu, pomiędzy którymi należy obliczać powierzchnię pod/nad wykresem**).
- Nacisnąć klawisz **Calculate Area**. Obliczona powierzchnia pod/nad wykresem jest równa objętości życiowej **VC_s** wyznaczonej odpowiednio dla wydechu i wdechu.
- Wyniki obliczeń umieszczamy w sprawozdaniu i komentujemy.



Rys. 3. Okno dialogowe programu **Integrate**.

c. Pomiar pojemności życiowej modelu na podstawie pomiarów geometrycznych (**VC_g**)

Pomiary pojemności życiowej modelu można przeprowadzić również wykonując proste pomiary geometryczne elementów z jakich został on zbudowany. Pomiar skoku mechanizmu mimośrodowego i pomiar średniej średnicy mieszka, który pełni rolę płuca pozwalają na oszacowanie VC. Proszę wykonać stosowne pomiary i dokonać stosownych obliczeń w celu ponownego wyznaczenia VC. Stosowane wzory i wyniki umieszczamy w sprawozdaniu.

d. Pomiar pojemności życiowej z wykorzystaniem prawa Boyle’a-Mariotte’a (VC_{BM})

Zastosowanie pletyzmografu w badaniach układu oddechowego pozwala wykorzystywać równania gazu doskonałego do nieinwazyjnego wyznaczania pewnych parametrów opisujących ten układ. W niniejszym punkcie technikę tego rodzaju wykorzystamy do obliczenia pojemności życiowej modelową kolejną metodą. W celu przeprowadzenia pomiarów i obliczeń należy:

- Wyłączyć zasilacz i ustawić model płuca w pozycji maksymalnego wydechu. Kręcimy w tym celu osiłą silnika do momentu, aż przepona znajdzie się w górnym położeniu. Objętość modelu płuc jest wtedy najmniejsza.
- Otworzyć i zamknąć zawór Z w celu wyrównania ciśnienia w pletyzmografie z ciśnieniem atmosferycznym panującym w pracowni.
- Uruchomić program **Ster_oddech** i klawiszem **Start** rozpocząć rejestrację danych pomiarowych.
- Włączyć zasilanie silnika napędzającego ruch przepony.
- Po zrealizowaniu przez układ kilku cykli oddechowych zatrzymać pomiar klawiszem **Stop**.
- Zatrzymać pracę modelu.
- Zapisać dane pomiarowe, a następnie wykonać wykres zmian ciśnienia w kabine pletyzmografu w funkcji czasu i odczytać maksymalną wartość ciśnienia (p_{max}) jaką zaobserwowano w pierwszym cyklu oddechowym. Wartość ta odpowiada sytuacji, kiedy miał miejsce maksymalny wdech (maksymalna objętość płuc).
- Przed wykonaniem pierwszego wdechu ciśnienie w kabine pletyzmografu było równe atmosferycznemu (p_{atm}), a objętość płuc była minimalna.
- Po pierwszym wdechu objętość VC spod przepony została przepompowana do kabiny pletyzmografu, co spowodowało zwiększenie ciśnienia o p_{max} . Stąd dla pletyzmografu:

$$V_p \cdot p_{atm} = (V_p - VC) \cdot (p_{atm} + p_{max}) \quad (1)$$

Po przekształceniu otrzymujemy:

$$VC = \frac{V_p \cdot p_{max}}{p_{atm} + p_{max}} \quad (2)$$

- Tak wyznaczoną VC oznaczamy VC_{BM} i umieszczamy w sprawozdaniu wraz z obliczeniami, które doprowadziły do jej wyznaczenia.

e. Porównanie VC uzyskanych trzema metodami.

- Proszę porównać wyniki wyznaczenia VC uzyskane w punktach b, c i d, czyli VC_S , VC_G i VC_{BM} .
- Skomentować jakość uzyskanych wyników oraz wady i zalety zastosowanych metod.

5) Pomiar ciśnienia w płucach przy użyciu szatera

- Częstotliwość oddechowa powinna być ustawiona na 15 oddechów na minutę.
- Ustawić długość trwania wdechu i wydechu w programie na 2000 ms. Spowoduje to, że shatter będzie uruchamiany cyklicznie na dwusekundowe okresy, oddzielane dwusekundowymi okresami bezczynności shattera po jego zastosowaniu.
- Włączyć shatter przy pomocy opcji **Shatter ON**.
- Pomiar w programie należy uruchomić klawiszem **Start** w miarę możliwości na początku fazy wydechu. Okresowo słychać działanie shattera, więc można skorzystać z tego faktu i włączyć zasilacz silnika na początku cyklu, w którym shatter działa.
- Począć do momentu uzyskania na wykresie wytuacji, w której cykl włączenia shatera pokrywa jedną całą fazę wydechu.
- Zatrzymać pomiary klawiszem **Stop** i zapisać wyniki (**Zapisz pomiar**).
- Wykonać wykres przedstawiający równocześnie zmiany ciśnienia w płucach i ustach w zależności od czasu za pomocą programu **Statistica**. Na wykresie przedstawić w miarę możliwości cykl, w którym maksima ciśnienia w ustach spowodowane zamknięciem shattera pokrywają cały okres wydechu. Opisany i sformatowany wykres należy wkleić do sprawozdania. Skomentować otrzymane krzywe i reprezentowane przez nie wyniki w kontekście sposobu bezinwazyjnego pomiaru ciśnienia w płucach. Proszę tak zdefiniować własności krzywych na wykresie, aby po wydruku można było je odróżnić, ale żeby wykres był równocześnie czytelny (zastosować linie różnego rodzaju np. przerywane, pogrubione, kropkowane itp., zamiast stosowania kolorów, wyłączyć markery punktów).

6) Wyznaczanie średniej podatności płuc (Compliance)

Termin „podatność” (*compliance*) opisuje sprężystość płuc. Jej miarą jest stosunek przyrostu objętości do wywołującego go wzrostu ciśnienia rozciągającego płuca ($\Delta V/\Delta p$).

- W celu wyznaczenia podatności modelu płuc wykorzystamy stworzony w poprzednim punkcie wykres.
- W programie **Statistica** odczytać współrzędne kolejnych maksimów odpowiadających kolejnym zamknięciom shattera w ramach jednego wydechu. Otrzymujemy w ten sposób kilka par liczb, z których pierwsza jest czasem wystąpienia maksimum, a druga ciśnieniem panującym w płucach (i równocześnie w ustach) w tej konkretnej chwili czasu. Wyniki zapisać w sprawozdaniu w dwóch kolumnach tabeli.
- Obliczyć zmiany ciśnienia (Δp) pomiędzy kolejnymi zamknięciami shattera. Do wyznaczenia podatności potrzebne będą jeszcze zmiany objętości płuc (ΔV) odpowiadające zaobserwowanym zmianom ciśnienia.
- W celu otrzymania zmian objętości płuc pomiędzy kolejnymi zamknięciami shattera należy dla tego samego „wydechu” obliczyć pola pod wykresem przepływu

(scałkować przepływ we właściwych przedziałach czasu). Używamy w tym celu program **Integrate** i postępujemy podobnie, jak w przypadku wyznaczania VC w punkcie 4 b. Granice całkowania wpisujemy ręcznie wykorzystując informację o czasie wystąpienia kolejnych maksimów ciśnienia zapisaną w tabeli.

- Dla kolejnych par zmian objętości i ciśnień obliczamy podatności cząstkowe. Obliczamy ich średnią. Wyniki umieszczamy w sprawozdaniu. **Niepewność** oszacowania podatności obliczamy jako różnicę pomiędzy minimalną i maksymalną otrzymaną wartością.

7) Samodzielne badanie spirometryczne studenta

a. Utworzenie karty i pliku klinicznego pacjenta (wywiad)

W celu przeprowadzenia badania należy uruchomić program **WinspiroPRO 1.3**. Nie należy uruchamiać go wielokrotnie! Następnie należy wybrać opcję **Pomiń rejestrację**. Korzystając z paska menu programu wybrać opcję **Pacjenci** i **Dodaj nowy lub edytuj**. Jeśli pacjent nie posiada jeszcze karty należy wybrać **Nowy**, co spowoduje pojawienie się okna dialogowego (Rys. 4). Konieczne jest uzupełnienie wszystkich pól oznaczonych gwiazdką. W celu wypełnienia pola **Identyfikator** należy kliknąć w pole **Numer automatyczny**, co automatycznie zdefiniuje identyfikator pacjenta jako kolejny numer porządkowy. Wybór płci polega na zaznaczeniu odpowiedniej ikony obok etykiety **Pochodz**.

Rys. 4. Okno dialogowe programu WinspiroPRO służące do wprowadzenia danych pacjenta.

W przypadku, gdy pacjent posiada już kartę, należy podświetlić na liście pacjentów jego nazwisko i wybrać opcję **Edytuj**. Dane pacjenta wyświetlą się w oknie dialogowym. Następnie, za pomocą przycisku **Idź do wizyty**, należy otworzyć **Plik kliniczny pacjenta** i uzupełnić brakujące dane.

b. Przygotowanie do przeprowadzenia testu

Włóż ustnik do otworu turbiny. Załóż klips na nos i upewnij się, że powietrze wydychane nie wydostaje się przez nos. Uchwyć spirometr tak, aby dłonie nie blokowały przepływu

powietrza przez turbinę i trzymaj go w taki sposób, aby ekran wyświetlacza znajdował się na wprost twarzy. Uważaj, aby podczas badania nie naciskać przycisków znajdujących się na klawiaturze spirometru. Umieść wolny koniec ustnika w ustach. Oddychaj tak, jak określono w opisie przebiegu poszczególnych testów.

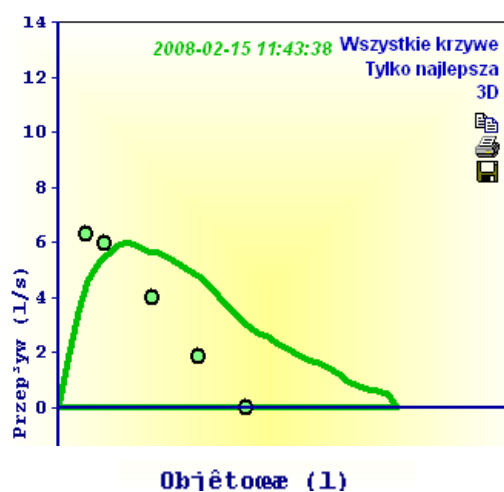
W trakcie przeprowadzenia testu czujnik przepływu jest aktywny. Spirometr emituje sygnał dźwiękowy, którego częstotliwość jest wprost proporcjonalna do szybkości przepływu powietrza. Test można ocenić jako prawidłowy, kiedy przy końcu wydechu sygnał dźwiękowy jest emitowany bardzo wolno lub zanika.

Uwaga! Opis skrótów nazw parametrów spirometrycznych znajduje się w Dodatku

c. Wykonanie testu FVC

W **Menu głównym** programu wybierz **Test** → **Spirometria** → **FVC** → **Pomiar**. Przed rozpoczęciem testu oddychaj swobodnie bez wysiłku przez około 20 sekund. Kiedy jesteś gotowy/a do rozpoczęcia testu włóż ustnik do ust i wykonaj wdech tak **wolno** i **głęboko** jak to tylko możliwe, następnie wykonaj pełny wydech tak **szybko** i **głęboko** jak to możliwe. Program sam rozpocznie i zakończy rejestrację danych. Test należy powtórzyć kilkakrotnie dla tego samego pacjenta. Program zapamięta wszystkie wyniki i zgodnie z obowiązującymi standardami ATS dokona wyboru najlepszego wyniku. Na wykresie (Rys. 5) wyświetlanym przez program spirometryczny umieszczone są przyciski, które umożliwiają wybór sposobu prezentacji wyników wszystkich przeprowadzonych testów (opcja **Wszystkie krzywe**) lub tylko najlepszego rezultatu (opcja **Tylko najlepsza**).

Wyniki testu umieszczone są dodatkowo w tabeli **Parametry** (Rys. 6). Najlepszy rezultat oznaczony jest kolorem zielonym. W tabeli znajdują się również normy spirometryczne dla danego pacjenta (kolumna **Nal.**). Stosunek procentowy najlepszego wyniku testu do rezultatu przyjętego za normę prezentowany jest w kolumnie **%Nal.** Parametry spirometryczne, określone przez program za najlepsze, należy przepisać do tabeli wyników w sprawozdaniu.



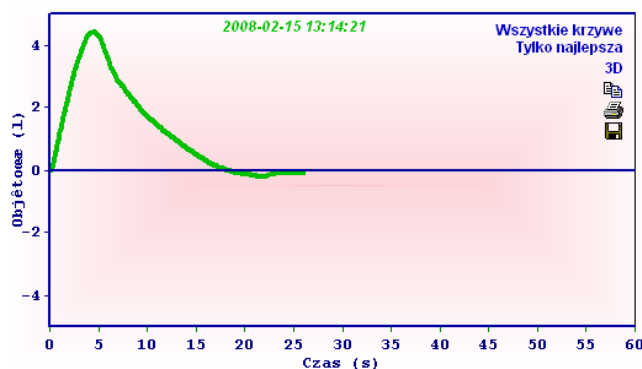
Rys. 5. Wykres nasilonego przepływu w funkcji wydychanego powietrza $P(V)$ wykreślany przez program spirometryczny. Linia ciągła oznacza rezultat uzyskany przez pacjenta, punkty natomiast określają wartość należną.

Parametry		PRZED	Nal.	%Nal.	RZED # 1	RZED # 2	RZED # 3	RZED # 4	RZED # 5	RZED # 6	RZED # 7	RZED # 8
FVC	l	6,04	3,34	180,8	3,05	5,1	3,6	4,18	4,94	3,93	5,27	6,04
FEV1	l	4,38	2,89	151,6	2,61	3,19	2,91	3,14	2,85	3,68	4,38	4,19
FEV1%	%	72,5	86,9	83,4	85,6	62,5	80,8	75,1	57,7	93,6	83,1	69,4
PEF	l/s	9,83	6,28	156,5	4,37	5,78	3,99	4,79	3,38	7,08	9,83	6,01
FEF2575	l/s	3,25	3,43	94,7	3,16	1,84	2,78	2,69	2,17	4,04	4,03	3,25
FET	s	4,62			2,78	11,52	2,06	4,3	9,88	1,4	3,26	4,62

Rys. 6. Tabela zawierająca wyniki wszystkich przeprowadzonych testów.

d. Wykonanie testu VC

Wybierz w **Menu głównym** programu **Test** → **Spirometria** → **VC** → **Pomiar**. Następnie trzymając odpowiednio ustnik w ustach, po usłyszeniu sygnału dźwiękowego wykonaj **wolno wdech i wydech** dbając, aby krzywa objętości po wydechu przecięła oś czasu (Rys. 7). Podobnie jak dla testu FVC, program sam rozpocznie i zakończy rejestrację danych oraz sporządzi wykres i wyświetli rezultat testu w tabeli. Badanie należy powtórzyć kilkakrotnie.



Rys. 7. Wykres $V(t)$ otrzymany podczas testu VC.

IV. Sprawozdanie

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

- 1) Wykres przedstawiający ciśnienie w płucach i opłucnej wraz z komentarzem.
- 2) Wyniki obliczeń objętości pletyzmografu.
- 3) Wykres przedstawiający przepływ powietrza w płucach przy wdechu i wydechu. Maksymalną wartość przepływu powietrza w drogach oddechowych modelu.
- 4) Wyniki obliczeń objętości życiowej przeprowadzonych trzema metodami, ich porównanie. Komentarz na temat zastosowanych metod.

- 5) Wykres przedstawiający ciśnienie w płucach i ustach wraz z komentarzem na temat praktycznego zastosowania szatera w pomiarach diagnostycznych.
- 6) Wyniki obliczeń podatności modelu płuc.
- 7) Wyniki pomiarów FVC wybranego studenta.
- 8) Wyniki pomiarów VC wybranego studenta.

V. Instrukcje obsługi

Instrukcja programu **Statistica**.

Dodatek

Pomiary spirometryczne

Badanie spirometryczne należy do podstawowych badań diagnostycznych układu oddechowego, które służy do oceny wydolności oddechowej człowieka. Ma określić pojemność płuc oraz szybkość przepływu powietrza przez poszczególne odcinki dróg oddechowych podczas wdechu i wydechu. Daje zatem informacje o sprawności wentylacyjnej układu oddechowego. Dzięki temu można określić drożność drzewa oskrzelowego, z orientacyjną lokalizacją miejsca zaburzenia oraz pośrednio nadreaktywność oskrzeli. Wskazaniami do wykonania badania spirometrycznego są choroby układu oddechowego oraz operacje na miąższu płucnym. Spirometria jest również niezbędna do monitorowania procesu leczenia chorób płuc. Wykonanie próby u ludzi zdrowych bywa również użyteczne w ocenie ich predyspozycji do pracy w określonych zawodach lub do uprawiania pewnych sportów.

Badanie polega na pomiarze objętości powietrza wpływającego i wypływającego z układu oddechowego podczas oddychania (cyklu oddechowego). W czasie badania pacjent oddycha poprzez ustnik połączony z aparatem spirometrycznym. Często pacjentowi zakłada się zacisk na nos, który zapewnia, że powietrze oddechowe w całości przechodzi przez ustnik.

Zazwyczaj stosuje się dwa rodzaje testów spirometrycznych: statyczne - objętości oraz dynamiczne - badanie przepływ-objętość. Rezultaty porównuje się z wartościami należnymi, które są uzależnione głównie od wieku, płci i wzrostu badanego oraz od faktu czy jest aktywnym palaczem, byłym palaczem czy osobą niepalącą.

W Polsce dla uzyskanych w testach parametrów stosuje się angielskie skróty ich pełnych nazw. Poniżej przedstawiono opis najbardziej przydatnych parametrów uzyskiwanych w trakcie badania spirometrycznego.

VC (vital capacity - pojemność życiowa) - największa różnica objętości płuc między wdechem i wydechem (*Rys. D1*). W celu jej uzyskania pacjent po kilku spokojnych oddechach wykonuje głęboki, jednostajny wdech, a następnie jednostajny wydech do czasu osiągnięcia plateau wydechowego. Podczas wykonywania tej czynności istotne jest dokładne opróżnienie płuc niezależnie od czasu potrzebnego pacjentowi na zrealizowanie tego procesu. Pomiar VC jest często pomijany, bowiem wymaga dodatkowego badania a zwykle można go zastąpić wskaźnikiem FVC. Wartość diagnostyczna obu parametrów jest podobna.

FVC (forced vital capacity - nasiloną pojemność życiowa) - pojemność życiowa mierzona podczas nasilonego wydechu (*Rys. D1*). Za normę przyjmuje się wartości powyżej 80% wartości należnej. W celu uzyskania tego parametru polecamy pacjentowi wykonanie najgłębszego wdechu, a po nim maksymalnie nasilonego (możliwie najszybszego) wydechu aż do całkowitego opróżnienia płuc. Nasilony wydech powinien być wykonany w możliwie

najkrótszym czasie. U osób zdrowych różnice pomiędzy VC i FVC są niewielkie, zwykle FVC jest nieco niższe od VC. Różnica ta jest znacząca u osób z obturacją dróg oddechowych.

FEV1 (Forced Expiratory Volume during the first second of expiration – nasiloną objętość wydechową pierwszosekundową) - objętość powietrza wydychana w ciągu pierwszej sekundy nasilonego wydechu. Wskaźnik ten jest miarą szybkości opróżniania płuc i służy do oceny drożności dróg oddechowych. Ulega zmniejszeniu w chorobach, w przebiegu których dochodzi do zwężenia oskrzeli. Odzwierciedla on stan zarówno dużych jak i małych oskrzeli. Za normę przyjmuje się wartości powyżej 80% wartości należnej.

FEV1%VC (tzw. wskaźnik Tiffeneau) - stosunek FEV1 do VC. Często, podczas badania spirometrycznego, w celu uproszczenia procedury, wykonuje się zwykle tylko manewr nasilonego wydechu. W jego trakcie zmierzone zostaje FVC i FEV1. Z parametrów tych wyliczany jest **wskaźnik FEV1%FVC** nazywany **wskaźnikiem pseudo-Tiffeneau**. Używa się go częściej i zamiennie w stosunku do FEV1%VC. Należy jednak pamiętać, że nawet u osób zdrowych VC jest nieco większe od FVC. U pacjentów ze zmianami obturacyjnymi ta różnica może być jeszcze większa. W efekcie może to prowadzić do zawyżenia wskaźnika Tiffeneau i błędnej diagnozy. Wskaźnik Tiffeneau nie ulega zmianie przy restrykcji, natomiast jest obniżony przy obturacji płuc. Im większe upośledzenie drożności oskrzeli tym jest on niższy. U człowieka zdrowego jego wartość waha się zależnie od wieku w granicach 85% - 65%. Za średnią normę przyjmuje się wartość 70%.

PEF - (Peak Expiratory Flow - szczytowy przepływ wydechowy) oznacza maksymalną szybkość powietrza osiągniętą podczas nasilonego wydechu. Parametr ten dobrze koreluje z FEV1 w astmie oskrzelowej. Korelacja nie występuje natomiast w przebiegu przewlekłej obturacyjnej choroby płuc, w której wskaźnik PEF nie ma wartości diagnostycznej.

FET - (Forced Expiratory Time) oznacza czas trwania nasilonego wydechu.

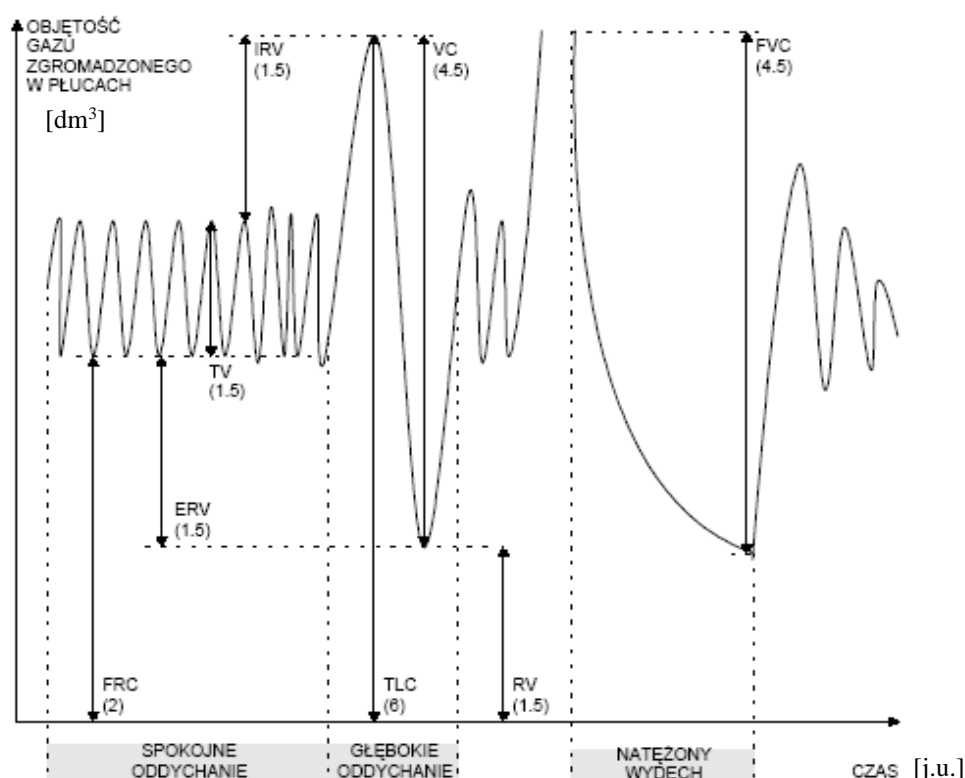
FEF25 - (Forced Expiratory Flow at 25% of FVC) - maksymalny przepływ wydechowy w chwili, gdy wydmuchnięto 25% FVC. Parametr odzwierciedla szybkość przepływu powietrza w początkowej fazie wydechu.

FEF50 - (Forced Expiratory Flow at 50% of FVC) - maksymalny przepływ wydechowy w chwili, gdy wydmuchnięto 50% FVC. Parametr odzwierciedla szybkość przepływu powietrza w środkowej fazie wydechu i informuje o drożności drobnych oskrzeli, czyli o średnicy poniżej 2 mm. Jeżeli u osoby palącej, wartości FEV1 i FEV1%FVC są prawidłowe a wartość FEF50 jest mniejsza od 60% wartości należnej, to oznacza to nieprawidłowy wynik testu drobnych oskrzeli. Zaburzenia w prawidłowym funkcjonowaniu drobnych oskrzeli mogą nawet z kilkuletnim wyprzedzeniem zapowiadać wystąpienie obturacji w drogach oddechowych. Umożliwia to wcześniejsze włączenie profilaktyki antynikotynowej.

FEF75 - (Forced Expiratory Flow at 75% of FVC) - maksymalny przepływ wydechowy w chwili, gdy wydmuchnięto 75% FVC. Parametr opisuje szybkość przepływu powietrza w końcowej fazie wydechu i odzwierciedla drożność największych dróg oddechowych.

FEF2575 – (average flow 25%-75% of FVC) - średni przepływ w środku nasilonego wydechu. Jest to średnia arytmetyczna z przepływów FEF25, FEF50 i FEF75, czyli z przepływów, gdy odpowiednio, 75%, 50% i 25% FVC pozostaje jeszcze do wydmuchnięcia.

Pomiary parametrów FEF nazywane są testami drobnych oskrzeli. Powtarzalność pomiarów tych parametrów jest bardzo mała. Dlatego ich interpretacja powinna być ostrożna. Wskaźniki te są szczególnie przydatne wówczas, gdy przy pozytywnym wywiadzie w kierunku chorób obturacyjnych wymienione wcześniej pozostałe parametry są w normie.



Rys. D1. Objętość gazu zgromadzonego w płucach w zależności od czasu dla różnych sposobów oddychania. Oznaczenia użyte na rysunku omówione są w Tabeli 1.

Tabela 1 Opis oznaczeń użytych na Rys. D1. Ostatnia kolumna pokazuje typowe wartości dla poszczególnych parametrów.

TV	Objętość oddechowa. Objętość powietrza wdychana (lub wydychana) przy jednym wdechu (lub wydechu)	0.4.dm ³
IRV	Zapasowa objętość wdychowa. Największa objętość powietrza, które może być wciągnięte do płuc poczynając od szczytu spokojnego wdechu.	3.6 dm ³

ERV	Zapasowa objętość wydechowa. Największa objętość powietrza, które może być wydychane z płuc poczynając od szczytu spokojnego wydechu.	1.2 dm ³
VC (FCV)	Pojemność życiowa. Maksymalna objętość powietrza, które może być wydychane z płuc po głębokim wdechu.	4.8 dm ³
FRC	Czynnościowa pojemność zalegająca. Objętość powietrza znajdującego się w płucach w chwili zakończenia spokojnego wydechu.	2.4 dm ³
RV	Objętość zalegająca. Objętość gazu pozostająca w płucach po głębokim wydechu.	1.2 dm ³
TLC	Całkowita pojemność płuc. Całkowita objętość powietrza znajdującego się w płucach w chwili ukończenia najgłębszego wdechu.	6.0 dm ³