

Imię

Data

Nazwisko

Kierunek

Ćwiczenie B46**Spirometria: pomiary czynnościowe płuc****Tabela 1. Objętości płuc**

Parametr	N	Wynik(L)	Średnia z pomiarów (L)	Wynik po wysiłku (L)	Średnia z pomiarów (L)	Referencje (L)
Objętość oddechowa (TV)	1					0.3-0.5 + do 50% po wysiłku
	2					
	3					
Wdechowa objętość zapasowa (IRV)	1					1.9 (kobiety) 3.3 (mężczyźni)
	2					
	3					
Wydechowa objętość zapasowa (ERV)	1					0.7 (kobiety) 1.2 (mężczyźni)
	2					
	3					
Natężona objętość wydechowa w 1 sekundzie (FEV ₁)	1					4.6 ± 0.6
	2					
	3					

Tabela 2: Pojemności płuc

Mierzony parametr	N	Wynik (L)	Średnia z pomiarów (L)	Wynik po wysiłku (L)	Średnia z pomiarów (L)	Referencje (L)
pojemność wdechowa (IC)	1					2.4 (kobiety) 3.8 (mężczyźni)
	2					
	3					
Wymuszona pojemność życiowa (FVC)	1					5.1 ± 0.5 (mężczyźni) 3.5 ± 0.5 (kobiety)
	2					
	3					
$\frac{FEV_1}{FVC} \times 100\%$						>83%

Table 3: Oszacowane objętości i pojemności płuc

Nazwa wielkości	Zmierzona objętość (L)	Średnia objętość (L)	
Objętość zalegająca (RV)		1.7 ± 0.6 (mężczyźni) 1.3 ± 0.3 (kobiety)	Wartość wybrana:
Czynnościowa pojemność zalegająca (FRC)		3.3 ± 0.6 (mężczyźni) 2.5 ± 0.5 (kobiety)	
Całkowita pojemność płuc (TLC)		6.8 ± 0.7 (mężczyźni) 4.9 ± 0.5 (kobiety)	
Maksymalny przepływ:			
Maksymalna zmiana objętości:			

1. WSTĘP TEORETYCZNY

Oddychanie jest jedną z czynności układu oddechowego. Komórki budujące organizm potrzebują ciągłego dopływu tlenu do przeprowadzania niezbędnych do utrzymania życia procesów metabolicznych. Układ oddechowy współpracuje z układem krążenia w celu dostarczania tlenu, usuwania produktów przemiany materii oraz pomaga regulować pH krwi. Oddychanie to sekwencja zdarzeń umożliwiających wymianę tlenu i dwutlenku węgla między atmosferą a komórkami żywych organizmów. Cały proces można podzielić na oddychanie zewnętrzne (wymiana gazowa między płucami a krwią), oddychanie wewnętrzne (wymiana gazowa między krwią a komórkami tkanek) i metabolizm komórkowy (wykorzystanie tlenu przez komórki).

Płuca otoczone są woreczkiem opłucnowym. Warstwa tkanki pokrywająca płuca i zagłębiająca się w przestrzeń nazywana jest opłucną trzewną. Druga warstwa to opłucna ciemieniowa wyścielająca wnętrze klatki piersiowej (Figura 1). Przestrzeń między tymi warstwami, przestrzeń wewnątrzpłucnowa, zawiera niewielką ilość płynu, który chroni tkankę i zmniejsza tarcie generowane przez pocieranie warstw tkanki o siebie podczas pracy płuc.

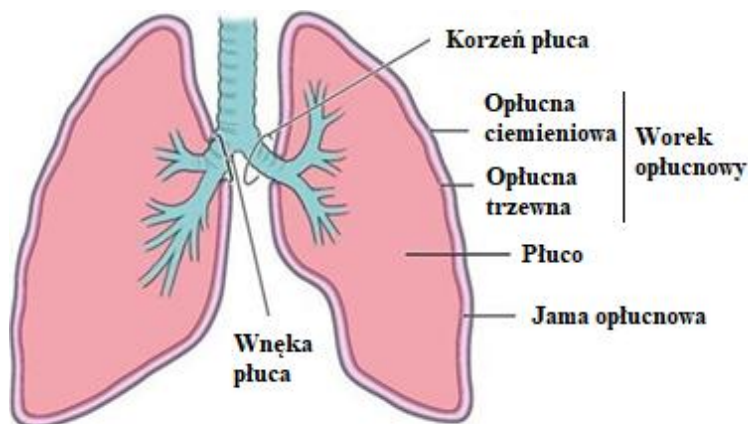


Figura 1. Jamy opłucnej (zaadaptowane z learnanatome.com)

Ruch powietrza do i z płuc jest spowodowany różnicami ciśnień (Figura 2). Pod koniec wydechu płuca mają tendencję do cofania się do wewnątrz, podczas gdy ściana klatki piersiowej ma tendencję do cofania się na zewnątrz, co prowadzi do ujemnego ciśnienia w przestrzeni między opłucną ciemieniową i trzewną. Ujemne ciśnienie wewnątrzpłucnowe (P_{Pl}) jest jednym z ważnych czynników utrzymujących drożność małych dróg oddechowych, które nie mają wsparcia chrzęstnego.

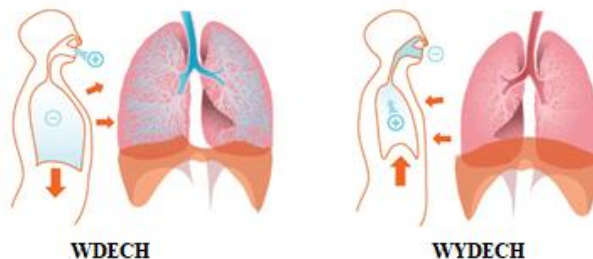


Figura 2. Skoordynowana praca płuc, klatki piersiowej i przepony podczas oddychania (zaadaptowane z OpenStax).

Rytmiczny skurcz mięśni wdechowych powoduje cykliczne zmiany wymiarów klatki piersiowej, a w konsekwencji porównywalne cykliczne wahania P_{Pl} . Podczas wdechu P_{Pl} spada z -5 do -8 cm H₂O, wymuszając spadek ciśnienia wewnątrzpęcherzykowego (P_{alv}) o jeden cm H₂O poniżej ciśnienia atmosferycznego (P_{atm}) - Figura 3a, w rezultacie czego powietrze przepływa do pęcherzyków płucnych. Spadek P_{Pl} zmniejsza również opór dróg oddechowych poprzez rozszerzenie małych dróg oddechowych, zwiększając przepływ powietrza. Podczas wydechu sekwencja jest odwrotna. Rozluźnienie mięśni zmniejsza wymiary klatki piersiowej, P_{Pl} wzrasta z -8 z powrotem do -5 cm H₂O, a P_{alv} wzrasta o 1 cm H₂O powyżej P_{atm} . W rezultacie powietrze wypływa na zewnątrz pęcherzyków płucnych zgodnie z gradientem ciśnienia -Figura 3b. Wydech jest zatem procesem biernym, który nie wymaga dalszego skurczu mięśni. Podczas oddychania, zarówno wdechu, jak i wydechu, ciśnienie

wewnątrz dróg oddechowych (P_{aw}) jest zawsze większe niż P_{pl} . Wyjaśnia to, dlaczego małe drogi oddechowe są zawsze otwarte, nawet pod koniec wydechu oddechowego.

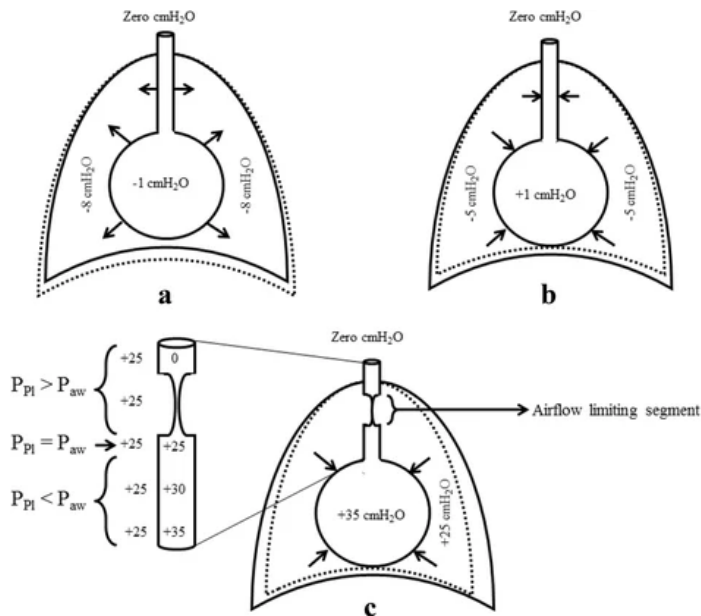


Figura 3. Ciśnienia wewnątrzpłucnowe (P_{pl}) i pęcherzykowe (P_{alv}) pod koniec wdechu (a), wydechu (b) i natężonego wydechu (c). Linia przerywana wskazuje zmianę wymiarów klatki piersiowej podczas a, b i c w porównaniu z poprzednią fazą cyklu oddechowego (zaadaptowane z Lutfi, M.F. The physiological basis and clinical significance of lung volume measurements. *Multidiscip Respir Med* 12, 3 (2017))

Wentylacja płuc może być badana poprzez rejestrowanie objętościowego ruchu powietrza do i z płuc, metodą zwaną spirometrią. Spirometr to urządzenie, które mierzy objętość powietrza przemieszczanego do i z płuc podczas oddychania i może być używane jako narzędzie diagnostyczne stanu zdrowia płuc. Figura 4 przedstawia spirogram wskazujący zmiany objętości płuc na różnych etapach oddychania.

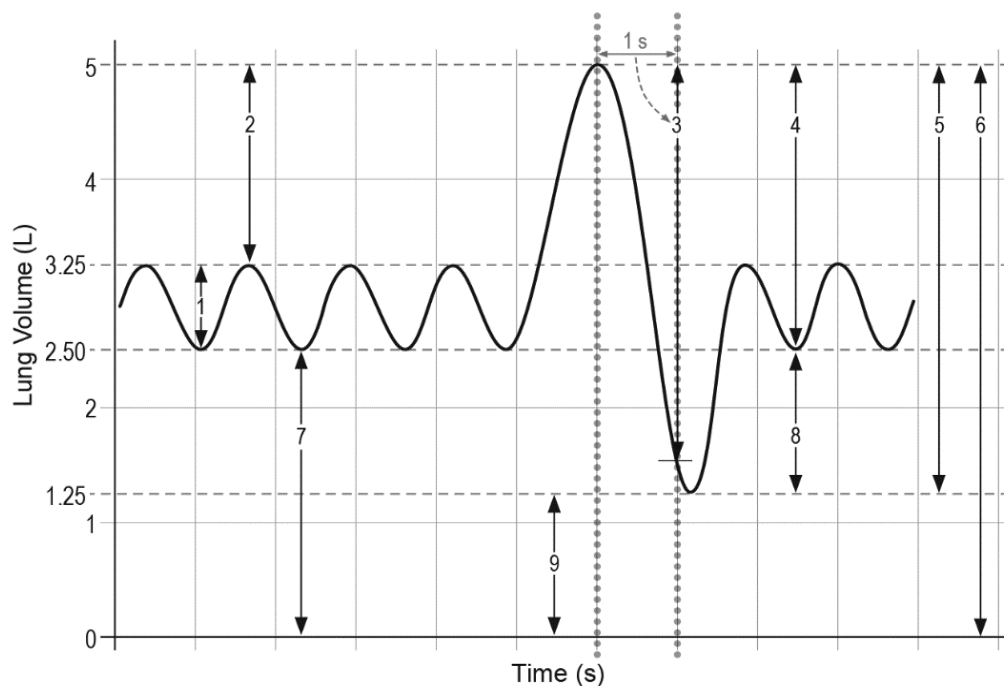


Figura 4: Spirogram (legenda w tabeli poniżej)

Numer	Wielkość	Opis wielkości
1	TV: Objętość oddechowa	Objętość powietrza wprowadzanego do płuc i wypuszczanego z płuc podczas spokojnego, normalnego cyklu oddechowego; mierzona na początku testu.
2	IRV: Wdechowa objętość zapasowa	Objętość powietrza wdychana poza spokojnym, normalnym oddechem podczas wymuszonego wdechu.
3	FEV1: Natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa	Objętość powietrza wydychanego siłą w ciągu 1 sekundy; bezpośrednio po maksymalnym wymuszonym wdechu.
4	IC: pojemność wdechowa	Całkowita objętość powietrza wdychanego na początku wymuszonego cyklu oddechowego; maksymalny możliwy pobór powietrza.
5	FVC: Wymuszona pojemność życiowa	Całkowita objętość powietrza wydychanego z płuc z maksymalną możliwą siłą; maksymalny możliwy wydech powietrza.
6	TLC: Całkowita pojemność płuc	Maksymalna objętość powietrza w płucach przy szczytowym wymuszonym wdechu.
7	FRC: Czynnościowa pojemność zalegająca	Objętość powietrza, która pozostaje w płucach pod koniec spokojnego, normalnego wydechu.
8	ERV: Wydechowa objętość zapasowa	Objętość powietrza wydychanego poza spokojnym, normalnym oddechem podczas wymuszonego wydechu.
9	RV: Objętość zalegająca	Zawsze obecna objętość powietrza pozostająca w płucach pod koniec silnego wydechu.

Aby ułatwić opisywanie zdarzeń związanych z wentylacją płuc, powietrze w płucach zostało podzielone na **objętości** i **pojemności** (patrz tabela powyżej). Znaczenie każdej z tych objętości jest następujące: A) **Objętość oddechowa** to objętość powietrza wdychanego lub wydychanego z każdym normalnym oddechem; wynosi ona około 500 mililitrów u dorosłego mężczyzny; B) **Wdechowa objętość zapasowa** to dodatkowa objętość powietrza, która może być wdychana ponad normalną objętość oddechową, gdy osoba wykonuje wdech z pełną siłą; zwykle wynosi ona około 3000 mililitrów. C) **Wydechowa objętość zapasowa** to maksymalna dodatkowa objętość powietrza, która może zostać wydaloną przez silny wydech po zakończeniu normalnego wydechu oddechowego; zwykle wynosi ona około 1100 mililitrów; D) **Objętość zalegająca** to objętość powietrza pozostająca w płucach po wykonaniu najsilniejszego wydechu; objętość ta wynosi średnio około 1200 mililitrów. Opisując zdarzenia w cyklu płucnym, czasami pożądanym jest rozważenie dwóch lub więcej objętości razem. Takie kombinacje nazywane są **pojemnościami płucnymi**, które można opisać w następujący sposób: A) **Pojemność wdechowa** jest równa objętości oddechowej plus zapasowa objętość wdechowa. Jest to ilość powietrza (około 3500 mililitrów), którą osoba może wdychać, zaczynając od normalnego poziomu wydechu i rozszerzając płuca do maksymalnej ilości; B) **Czynnościowa pojemność zalegająca** jest równa wydechowej objętości zalegającej powiększonej o objętość zalegającą. Jest to ilość powietrza, która pozostaje w płucach pod koniec normalnego wydechu (około 2300 mililitrów); C) **Pojemność życiowa** jest równa wdechowej objętości zapasowej plus objętości oddechowej plus wydechowej objętości zapasowej. Jest to maksymalna ilość powietrza, jaką dana osoba może wydalić z płuc po ich maksymalnym napełnieniu, a następnie maksymalnym wydechu (około 4600 mililitrów); D) **Całkowita pojemność płuc** to maksymalna objętość, do której płuca mogą zostać rozprężone przy największym możliwym wysiłku (około 5800 mililitrów); jest ona równa pojemności życiowej powiększonej o objętość zalegającą. Pojemności płuc, które można obliczyć, obejmują pojemność życiową ($ERV+TV+IRV$), pojemność wdechową ($TV+IRV$), czynnościową pojemność zalegającą ($ERV+RV$) i całkowitą pojemność płuc ($RV+ERV+TV+IRV$). Wszystkie objętości i pojemności płuc

są o około 20 do 25 procent mniejsze u kobiet niż u mężczyzn i są większe u osób dużych i wysportowanych niż u osób małych i astenicznych.

Zaburzenia wentylacji płuc możemy podzielić ze względu na mechanizm działania na obturacyjne i restrykcyjne. Choroby obturacyjne płuc charakteryzują się utrudnionym przepływem powietrza przez płuca, który spowodowany jest zwężeniem dróg oddechowych. Do chorób obturacyjnych zalicza się m.in. astmę, przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (POChP), mukowiscydozę i zapalenie oskrzeli. W chorobach restrykcyjnych dochodzi do upośledzenia rozprężania płuc – płuca nie wypełniają się prawidłowo powietrzem i zmniejsza się ich czynnościowa pojemność życiowa. Takie zaburzenia mogą być powodowane przez choroby śródmiąższowe płuc, gruźlicę lub włóknienie płuc.

Wykonanie pomiarów

Część 1. Test czynności płuc

1. Włącz zasilanie stołu (patrz deska rozdzielcza stołu – przy Twojej lewej nodze gdy siedzisz na wprost komputera) – przekręć czerwoną „gałkę” w kierunku strzałek (powinna wyskoczyć), przekręć kluczyk jak w samochodzie i puść. Włącz komputer.
2. Podłącz spirometr do urządzenia i uruchom program pomiarowy. Upewnij się, że jedynym wybranym pomiarem jest objętość płuc (L) ((**Lung Volume (L)**)), a następnie wybierz szablon wykresu.
3. Zwróć uwagę na lokalizację zielonej migającej diody LED w pobliżu ikony Bluetooth® na obudowie czujnika spirometru. Ta dioda LED działa jako wskaźnik w kolejnym kroku.
4. Podczas montażu spirometru należy zapoznać się z Figurą 5. Zlokalizuj trzy bolce na Tubie (1) i wyrównaj je z otworami wewnątrz Uchwytu spirometru (3), a następnie zatrzasknij Tubę na Uchwycie. Bezpiecznie dopasuj papierowy Ustnik (2) do zwężającego się końca Tuby.
5. **Pomiar wykonywany może być tylko w parach.** Jedna osoba będzie rejestratorem danych, podczas gdy druga będzie badanym, którego czynność płuc będzie mierzona.
Rejestrator danych i osoba badana muszą wspólnie przeczytać kroki 5-7 przed ich wykonaniem, aby uniknąć błędów spowodowanych opóźnieniami lub dodatkowymi oddechami. Przećwicz te trzy kroki bez oddychania przez filtr, aż oboje będą gotowi do zbierania danych.
6. Aby upewnić się, że cały oddech przepływa przez ustnik podczas zbierania danych, uczestnik musi wziąć pod uwagę następujące kwestie podczas kroku 6:
 - o Możesz mieć tendencję do poruszania się podczas głębokich oddechów, ale pamiętaj, że musisz pozostać nieruchomo podczas całego testu wydolności płuc.

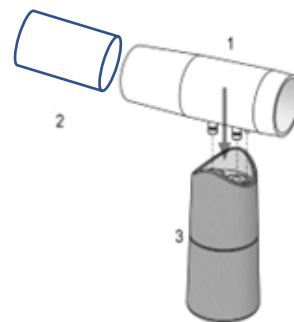


Figura 5. Spirometr: 1) Tuba; 2) Ustnik; 3) Uchwyt

- Pojedynczy oddech składa się z wdechu, po którym następuje wydech. Podczas zbierania danych oddychaj wyłącznie przez usta i postępuj zgodnie z instrukcjami partnera dotyczącymi oddychania. Test składa się z 4 normalnych oddechów, po których następuje 1 wymuszony oddech, zakończony 2 normalnymi oddechami. Twój partner będzie liczył oddechy za Ciebie.
 - Należy unikać oddychania przez filtr do momentu rozpoczęcia zbierania danych. Chwyć uchwyt spirometru i umieść otwór ustnika w ustach. Delikatnie ugryź rurkę ustnika przednimi zębami i utwórz szczelne uszczelnienie wokół ustnika ustami. Umieść język przy dolnych zębach i pod rurką filtra. Trzymaj czujnik pionowo, jak pokazano na Figurze 6, przez cały czas zbierania danych.
 - Zaciśnij nos i stój nieruchomo. Nie patrz na dane podczas ich rejestrowania. Po zaciśnięciu nosa wstrzymaj oddech, aż partner powie Ci, abyś zaczął oddychać.
7. Gdy badany będzie gotowy, rejestrator danych wykona następujące czynności:
- a. Powiedz badanemu, aby wstrzymał oddech, umieścił zęby i usta na filtrze, zaciśnął nos, stał nieruchomo i zrelaksował się.
 - b. Rozpocznij zbieranie danych zanim badany zacznie oddychać i obserwuj diodę LED. Poczekaj, aż dioda LED zacznie migać na czerwono. Gdy dioda LED zacznie migać na zielono (około 5-10 sekund), przejdź do kroku (c) – badany zaczyna pomiar.
 - c. Użyj następujących komend, aby werbalnie prowadzić badanego przez pomiar i pomóc mu liczyć oddechy: "A) Weź 4 normalne oddechy: 1..., 2..., 3..., 4...; B) wdychaj tak głęboko, jak to możliwe...; C) wydychaj głęboko, szybko, z maksymalnym wysiłkiem...; D) weź 2 normalne oddechy: 1... 2....



Figura 6. Prawidłowe wykorzystanie spirometru

***UWAGA:** Obserwuj unoszenie się i opadanie klatki piersiowej badanego dla każdego oddechu przy normalnym tempie oddychania; użyj tego działania, aby pomóc policzyć oddechy podczas testu.*

8. Zatrzymaj zbieranie danych. Wykres powinien wyglądać podobnie do rysunku 4; jest w porządku, jeśli ostatnie dwa oddechy regeneracyjne są niższe niż pierwsze cztery oddechy. W razie potrzeby powtórz test. Przechowuj spirometr w czystej torbie zamykanej na zamek błyskawiczny, aż będzie gotowy do następnej próby.
9. We wszystkich trzech częściach tego badania zostanie wykonanych kilka pomiarów. W przypadku wszystkich pomiarów należy podać wartość bezwzględną z dokładnością do dziesiątego miejsca.
10. Otwórz menu **Graph Tools**  i zmień **Move mode**  na **Select mode** .
11. Narysuj ramkę, aby wybrać dane dotyczące objętości dla czterech normalnych oddechów do dwóch ostatnich oddechów. **Scale**  the selection.
12. Odnies się do Figury 4, aby zlokalizować następujące regiony; jednak nie używaj dwóch ostatnich oddechów do analizy, ponieważ oddechy regeneracyjne mogą wypaczyć wyniki. Użyj skrótów, aby oznaczyć każdy pomiar na wykresie 1: objętość oddechowa (TV); wdechowa objętość zapasowa (IRV); wydechowa objętość zapasowa (ERV); wymuszona objętość wydechowa w 1 sekundzie (FEV1); pojemność wdechowa (IC); wymuszona pojemność życiowa (FVC).
13. Objętość płuc: Dodaj narzędzie Współrzędne i przesun je do wartości szczytowej TV dowolnego pojedynczego łagodnego oddechu przed wymuszonym wdechem. Kliknij dymek współrzędnych, aby wyświetlić i wybrać narzędzie delta . Przesun nowe pole współrzędnych do sąsiedniego koryta po prawej stronie. Obszar między szczytem a dołkiem powinien być teraz zacieniony, a wartość Δy powinna odpowiadać wartości TV; zapisz wynik w Tabeli 1.

14. Użyj narzędzi **Coordinates** i **Delta** aby znaleźć IRV i ERV a następnie zapisz uzyskane wielkości w Tabeli 1.
15. Aby określić natężoną objętość wydechową w ciągu 1 sekundy (FEV1), należy dodać narzędzie **Coordinates**  do szczytowej objętości wymuszonego wdechu. Jeśli ta sama wartość szczytowa występuje w wielu punktach w czasie, należy wybrać wartość, która wystąpiła ostatnio, lub najdalej po prawej stronie. Aktywuj przycisk **Delta** i przesunij nowe pole współrzędnych, aby wybrać dokładnie 1,000 sekundy danych na prawo od wartości szczytowej. Gdy wartość Δx jest równa dokładnie 1,000 sekundy, zapisz wartość Δy jako FEV1 w Tabeli 1.
16. Powtórz kroki od 5 do 15 dla łącznie trzech przebiegów. Użyj opcji znacznika wyboru w legendzie wykresu, aby wyświetlić jeden przebieg na raz ☒.
17. Oblicz średnie wartości dla każdego pomiaru i zapisz wyniki w tabeli 1..
18. Pojemność płuc: Użyj narzędzi SPARKvue do określenia pojemności wdechowej (IC) i natężonej pojemności życiowej (FVC) dla wszystkich trzech serii i wprowadź wyniki do Tabeli 2.
19. Oblicz średnie wartości dla każdego pomiaru i zapisz wyniki w Tabeli 2.
20. Użyj średnich wartości, aby obliczyć średnią procentową wymuszoną objętość wydechową wydalaną w ciągu jednej sekundy (stosunek FEV1/FVC) dla średniej osoby badanej i zapisz ją w Tabeli 2.
21. Szacowana objętość i pojemność płuc: Średnia objętość zalegająca (RV) dla dorosłych mężczyzn wynosi 1,2 l, a dla dorosłych kobiet 1,1 l. Wprowadź wartość, której badany będzie używał do obliczeń w Tabeli 3 ("Wybrana wartość").
22. Użyj średnich, aby obliczyć szacunkową funkcjonalną pojemność resztkową pacjenta (FRC = ERV + RV) i szacowanej całkowitej pojemności płuc (TLC = FVC + RV). Wprowadź wyniki do Tabeli 3.
23. **Badany powinien znaleźć odpowiednie miejsce do wykonywania ćwiczeń aerobowych (takich jak bieganie w miejscu/skakanie na skakance/robienie pajacyków) przez 3 minuty.**
24. Natychmiast po 3 minutach ćwiczeń badany powinien wygodnie stanąć i powtórzyć test płucny.
25. Zrób analizę wyników dla pomiarów wykonanych po ćwiczeniach aerobowych.

Część 2. Maksymalne natężenie przepływu

1. Przejrzyj dane z tabeli 1, aby zidentyfikować pojedynczy przebieg, którego wartości są najbardziej zbliżone do średniej. Wyświetl tylko ten przebieg.
2. Wybierz **Total Flow (L)** na osi y, a w menu po prawej stronie, wybierz **Max Flow Rate (L/s)**.
3. Użyj narzędzia **Coordinates** aby zidentyfikować najwyższe maksymalne natężenie przepływu powietrza podczas testu czynności płuc i zapisz wartość w Tabeli 3; uwzględnij jednostki.
4. Przesunij narzędzie **Coordinates** aby znaleźć drugie najwyższe maksymalne natężenie przepływu powietrza dla przebiegu i zapisz wartość w Tabeli 3; podaj jednostki.

Część 3. Spirometryczna krzywa przepływ-objętość

1. Do analizy danych użyj pomiaru z części 2. Na osi y zamień **Max Flow Rate (L/s)** na **Flow Rate (L/s)** (Figura 7).
2. Oś **Time (s)** zamień na **Lung Volume (L)**.
3. Przeskaluj wykres, aby zmaksymalizować obie osie, a następnie wykres osi y (przełączyć z odblokowanej  na zablokowaną .

4. Ręcznie dostosuj skalę osi x, aby uzyskać zakres od 0 do 6,0 L (lub wyższy w razie potrzeby), jak pokazano na Figurze 7.
- a. Kliknij i przytrzymaj obszar, który nie zawiera punktów danych wewnątrz wykresu. Przesuń wykres w prawo, aż oś x osiągnie objętość dokładnie 0 L.
- b. Najedź kursorem na prawą stronę wartości osi x. Kliknij i przytrzymaj, a następnie przeciągnij, aż na końcu pojawi się wartość 6,0 L.

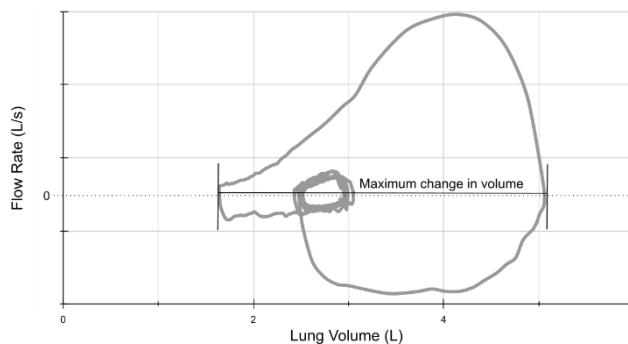
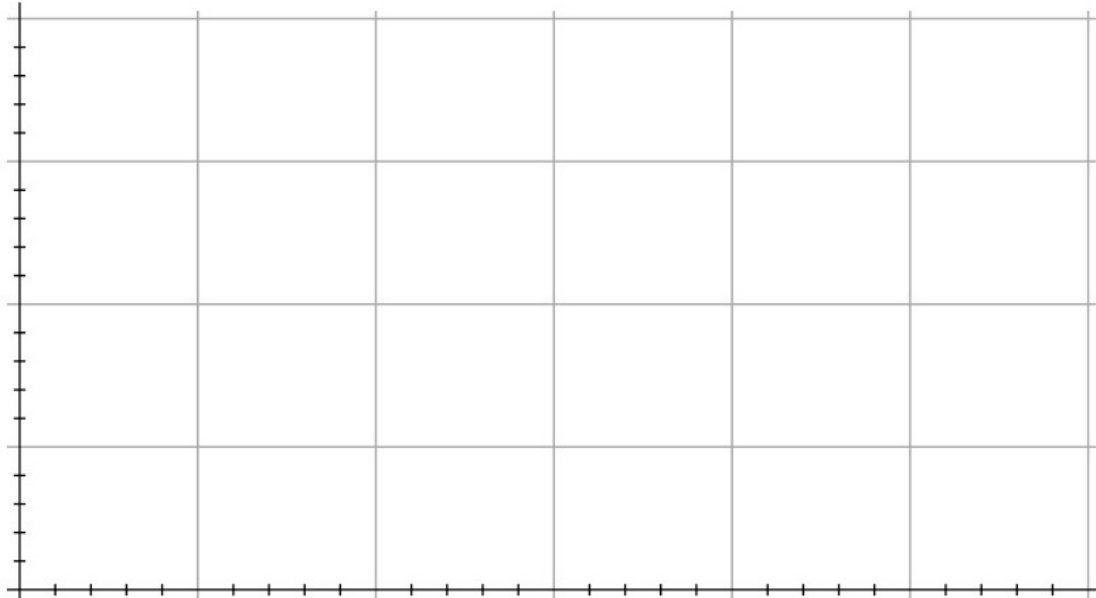


Figura 7: Krzywa przepływ-objętość

5. Użyj narzędzi **Coordinates** i **Delta**, aby określić maksymalną zmianę objętości w najszerszej części krzywej. Powinno to być miejsce między dwoma najbardziej zewnętrznymi punktami pętli, które przecinają oś y przy 0 L/s (patrz Rysunek 7). Zanotuj otrzymaną wartość uwzględniając jednostki.
6. Użyj narzędzia **Coordinates**, aby zidentyfikować maksymalną i minimalną wartość w pętli dla przepływu (Flow Rate). Zanotuj wyniki uwzględniając jednostki.

UWAGA: Zapisz ujemne wartości osi y zgodnie z wyświetlanymi danymi.

7. Przeanalizuj kształt otrzymanej krzywej przepływ-objętość mając na uwadze poniższe:
 - wykres zdrowej osoby: na dolnej stronie wykresu półokrąg (wdech), na górnej trójkąt (wydech)
 - pacjenta z POChP (obturacyjny zapalenie dróg oddechowych) - wklęsnięcie górnego trójkąta (wydech), wdech normalnie
 - pacjent ze zwłóknieniem (restrykcyjny) - kształt krzywej podobny do normy, ale zmniejszony z niskimi prędkościami przepływu powietrza i niskimi objętościami



8. Maksymalna zmiana objętości na krzywej przepływ-objętość:.....