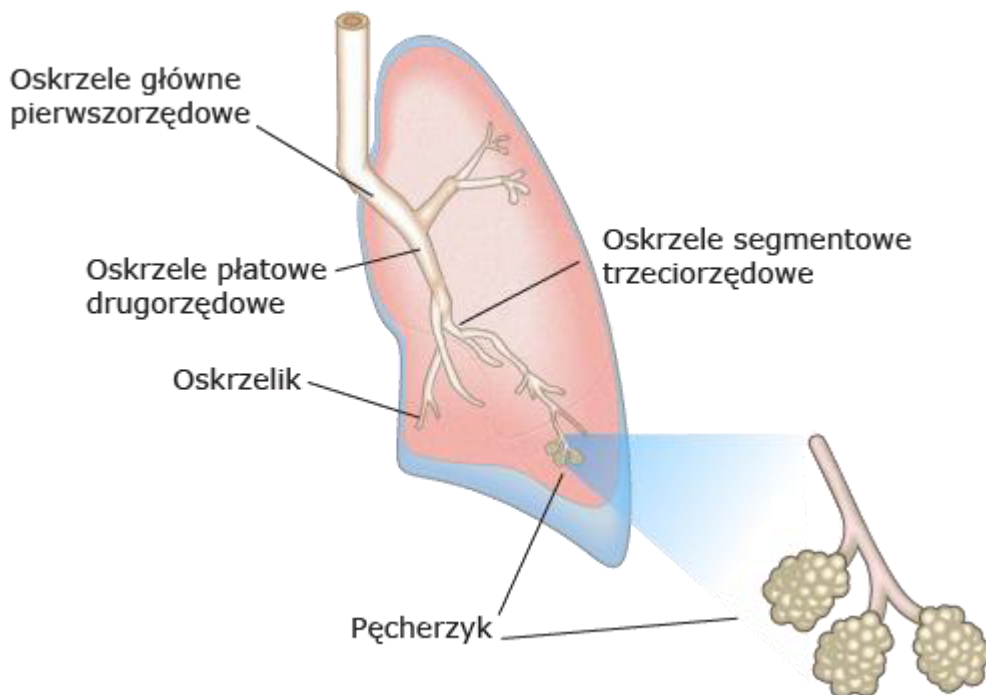


## Podstawy teoretyczne: Oddychanie

Komórki w twoim organizmie zużywają tlen i produkują dwutlenek węgla. Podstawowym źródłem tlenu dla zwierząt lądowych jest powietrze atmosferyczne, które przy ciśnieniu atmosferycznym na poziomie morza zwykle zawiera około 78% azotu, 21% tlenu i mniej niż 0,05% dwutlenku węgla oraz liczne inne pierwiastki i związki chemiczne w ilościach śladowych.

Wymiana gazowa zachodzi pomiędzy komórkami i krwią poprzez twoje płuca. Ruchy oddechowe pompują powietrze z otoczenia do płuc i z płuc na zewnątrz, gdzie dochodzi do bliskiego kontaktu pomiędzy powietrzem i krwią, co umożliwia wymianę pomiędzy nimi tlenu i dwutlenku węgla. Płuca kręgowców są „jednowejściowymi workami” co oznacza, że jest tylko jedna droga przepływu powietrza do i z płuc. Aby wypełnić te worki, oddychanie musi być zjawiskiem bardziej pływowym, falą cyklicznych przyływów i odpływów powietrza, w przeciwieństwie do zjawisk ciągłych.

Wewnętrzna struktura płuc zawiera ciąg rozgałęzionych rur, które niosą powietrze do pęcherzyków płucnych (Rysunek 1).

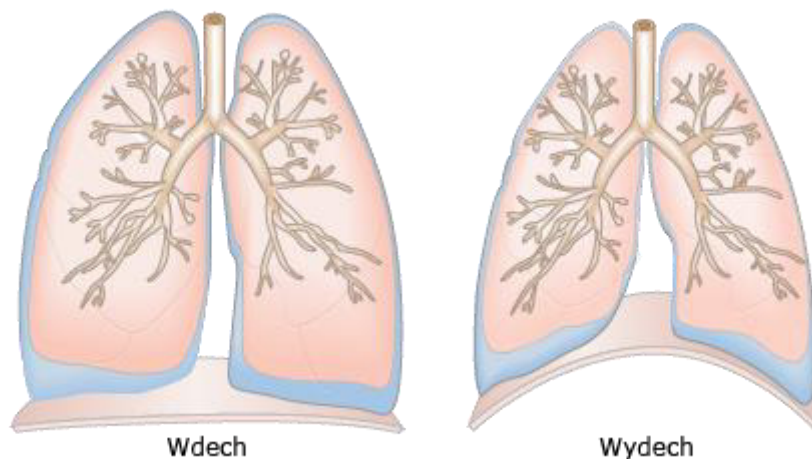


Rysunek 1. Układ oddechowy człowieka

Pęcherzyki, nazywane czasami woreczkami pęcherzykowymi, są małymi strukturami o cienkiej błonie, silnie unaczynionej, gdzie dochodzi do wymiany gazowej. W pęcherzykach i w całym naszym organizmie gazy dyfundują zgodnie z gradientem ciśnień parcyjnych, z obszarów o wyższym ciśnieniu, do obszarów o niższym ciśnieniu parcyjnym. Jest to zwykle wyrażane z punktu widzenia ciśnienia parcyjnego gazów ( $PO_2$ ,  $PCO_2$ ) tak, aby łatwo można było porównać koncentrację gazów w powietrzu atmosferycznym i rozpuszczonych w płynach w organizmie.

Porównanie to jest możliwe, ponieważ liczba cząsteczek gazu rozpuszczonych w płynie, jest wprost proporcjonalna do ciśnienia parcjalnego gazu. Określa to prawo Henry'ego,

Podstawą aktywności mięśniowej w spokojnym oddychaniu są rytmiczne skurcze przepony, płaskiego mięśnia tworzącego dwie kopuły, który oddziela klatkę piersiową od jamy brzusznej. Podczas spokojnego wdechu, skurcz przepony zwiększa objętość klatki piersiowej, jakkolwiek ciśnienie wewnątrzpiersiowe spada i powietrze przepływa do płuc z atmosfery na skutek różnicy ciśnień pomiędzy atmosferą, a wnętrzem pęcherzyków. W spokojnym oddychaniu wydech jest głównie zjawiskiem biernym. Przepona jest rozluźniona i cofające się struktury elastyczne płuc, podnoszą ciśnienie wewnątrzpiersiowe powyżej atmosferycznego. Podczas spokojnego oddychania dochodzi również, poprzez aktywność mięśni międzyżebrowych, do ruchu żeber, ale o małym zasięgu, w związku z tym w tych warunkach mają one stosunkowo niewielki wkład w oddychanie (Rysunek 2).



Rysunek 2. Ułożenie przepony i zmiany objętości płuc na końcu wdechu i wydechu.

Podczas pogłębionego (dynamicznego) oddychania ruch żeber jest oczywisty i zamknięta w przestrzeni klatki piersiowej objętość powietrza zmienia się w większym stopniu. Dodatkowo rekrutowane są inne mięśnie. Mięsień mostkowo-obojczykowo-sutkowy (*łac. musculus sternocleidomastoideus*), jeden z powierzchownych mięśni szyi, pełni rolę pomocniczego mięśnia wdechowego, unosząc mostek podczas dynamicznego wdechu. Podczas wydechu mięśnie brzucha podnoszą ciśnienie w jamie brzusznej i naciskają zrelaksowaną przeponę do góry, dostarczając potężnej siły wydechu.

Ruchy oddechowe są specyficzne, ponieważ podlegają podwójnej kontroli ośrodkowego układu nerwowego. Mogą też być wykonywane w sposób świadomy, w ten sam sposób, jak ruchy ramion czy kończyn. Jednakże, jeśli w sposób świadomy nie skupiamy się na oddychaniu, rytmiczne skurcze mięśni pojawią się spontanicznie. Oddychanie spontaniczne jest kontrolowane przez ośrodek oddechowy, znajdujący się w pniu mózgu. Ośrodek oddechowy zapewnia sprawną wymianę gazową w płucach, odpowiadającą wymaganiom organizmu. W okresie zwiększonego popytu, tempo i głębokość oddechu zwiększa się, aby zapewnić większą ilość świeżego

powietrza dla płuc. Ośrodek oddechowy opuszki rdzenia posiada chemoreceptory, niezwykle wrażliwe na zmianę prężności ( $PCO_2$ ) i pH w płynie mózgowo-rdzeniowym. Chemoreceptory wrażliwe na zmiany ciśnienia parcjalnego ( $PO_2$ ) są zgrupowane w pobliżu rozwidlenia tętnicy szyjnej wspólnej (kłębki szyjne) i łuku aorty (kłębki aortalne).

Ośrodek oddechowy pnia mózgu i sercowo-naczyniowy znajdują się w rdzeniu przedłużonym w bezpośrednim sąsiedztwie i neurony wdechowe mają hamujący wpływ na neurony nerwu błędnego serca. Znajduje to odzwierciedlenie w tachykardii, która zazwyczaj towarzyszy fazie wdechu (niemiarowość zatokowa).

## Podstawy teoretyczne: Przepływ Powietrza i Objętość

Wymiana gazowa pomiędzy powietrzem i krwią zachodzi w pęcherzykach płucnych. Skuteczność wymiany gazowej zależy od wentylacji; cyklicznych ruchów oddechowych na przemian z wypełnianiem i opróżnianiem pęcherzyków płucnych (patrz Rysunek 1). Wdech zapewnia pęcherzykom dopływ świeżego powietrza, a wydech usuwa powietrze wydechowe, które posiada zmniejszoną ilość tlenu i zwiększoną zawartość dwutlenku węgla.

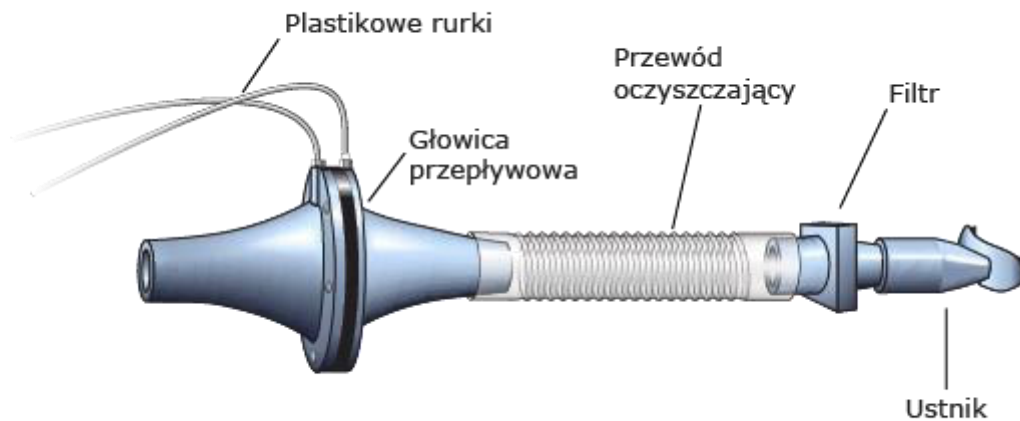
Spirometria staje się coraz istotniejsza z powodu wzrostu zachorowań na choroby układu oddechowego na całym świecie. Jest to metoda wybierana do szybkich i skutecznych podstawowych badań przesiewowych, stosowanych u pacjentów z podejrzeniem przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POCHP). POChP jest dwunastą z listy chorób stanowiących główną przyczynę śmierci na świecie, piątą w krajach zachodnich. Badania sugerują, że POChP do 2020 roku może stać się trzecim głównym zabójcą w światowym rankingu chorób. Większości przypadków POChP można całkowicie uniknąć; 85-90% przypadków spowodowane jest paleniem papierosów.

Wiele ważnych parametrów, związanych z funkcjonowaniem płuc, można określić stosując pomiary przepływu powietrza i odpowiadających im zmianom w objętości płuc. W przeszłości, pomiary wykonywano powszechnie przez oddychanie w spirometrze wodnym (dzwonowym), w którym poziom pływającego dzwonu w zbiorniku wskazywał zmiany objętości płuc. Przepływ ( $F$ ) obliczano ze spadku (tempa zmian) objętości,  $V$ :

Równanie 1

$$F = \frac{dV}{dt}$$

Łatwiejsze do przeprowadzania są pomiary przepływu powietrza, mierzone bezpośrednio, z zastosowaniem pneumatometru (z Greckiego „urządzenie mierzące prędkość oddechu”). Konfigurację dla pneumatometru, stosowanego w zestawie z urządzeniem PowerLab, przedstawiono na Rysunku 3.



Rysunek 3. Pneumatometr PowerLab.

Głowica przepływowa zawiera drobną siatkę. Powietrze przepływające przez siatkę powoduje powstanie niewielkiej różnicy ciśnień proporcjonalnej do natężenia przepływu. Dwa małe plastikowe przewody przenoszą powstałą różnicę ciśnień do przetwornika spirometru, gdzie następuje przetworzenie zmian ciśnienia na zmiany napięcia, które są rejestrowane przez urządzenie PowerLab i przedstawiane w LabTutor. Objętość  $V$  jest obliczana z całki przepływu:

Równanie 2

$$V = \int F dt$$

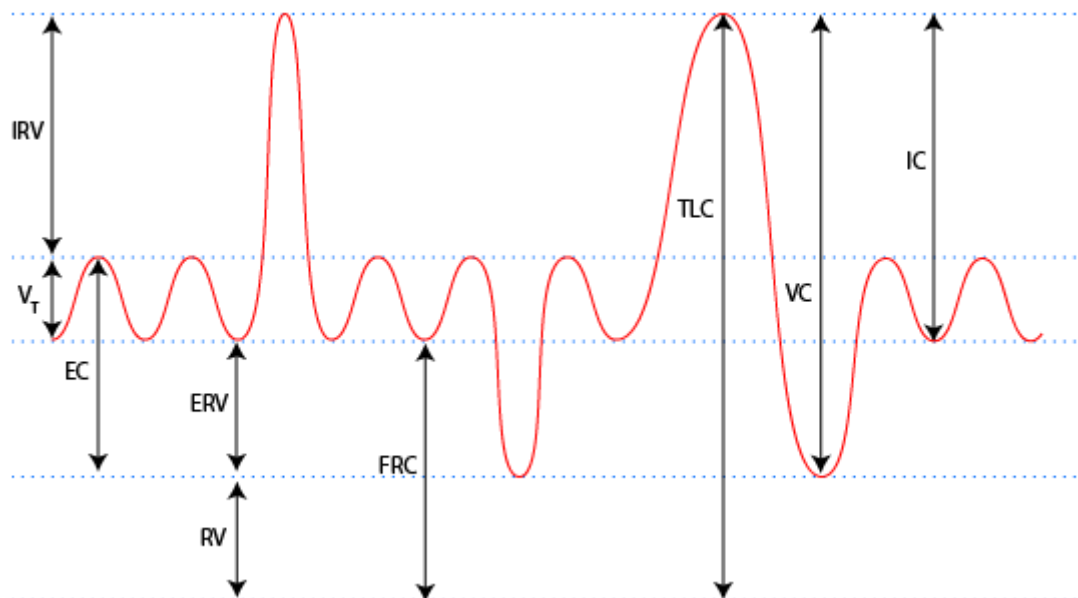
Całkowanie to stanowi sumowanie w czasie; sygnały objętości, które podczas eksperymentu są widoczne w Lab Tutorze, uzyskuje się przez dodanie kolejnych próbek wartości sygnału przepływu i odpowiednie skalowanie sumy. Każdorazowo przy rozpoczęciu rejestracji całka ustawiana jest na zero.

Trudność pomiaru objętości jest spowodowana różnicą temperatury powietrza między przetwornikiem spirometru (temperatura otoczenia) i powietrza wydychanego z płuc (temperatura ciała). Objętość gazu zwiększa się wraz z ogrzewaniem, dlatego wydychana z płuc objętość powietrza będzie nieco większa niż objętość powietrza wdychanego. Aby zmniejszyć to przesunięcie, przepływ musi być oddzielnie całkowany w trakcie wdechu i wydechu, objętość wdechowa jest korygowana przez współczynnik związany z czynnikiem BTPS (temperatura ciała, ciśnienie atmosferyczne, nasycenie parą wodną). Oprogramowanie LabTutor koryguje to automatycznie.

## Objętości i pojemności płuc

Spirometria pozwala na wizualizację, pomiar i obliczenie wielu parametrów oddechowych płuc (Rysunek 4, poniżej). Oddychanie składa się z powtarzających się cykli wdechowych i wydechowych. Podczas cyklu oddechowego, określona objętość powietrza napływa do płuc, jak również jest z nich usuwana. Jest to objętość oddechowa ( $V_T$ ). Podczas spokojnego oddychania tempo oddychania (ilość oddechów / minutę lub BPM) wynosi około 15 cykli oddechowych na minutę. W zależności od poziomu aktywności wartości te ulegają zmianie. Iloczyn BPM i  $V_T$  stanowi minutową wentylację płuc (MV lub VE), jest to ilość wydychanego powietrza w czasie jednej minuty. Parametr ten również zmienia się w zależności od poziomu aktywności.

Zauważ, że w spirometrii pomiar objętości powietrza pozostającego w płucach po pełnym wydechu, tzw. objętości zalegającej (RV), nie jest możliwy, ponieważ osoba badana nie jest w stanie tego powietrza wydmuchać. W tabeli poniżej przedstawiono parametry objętości i pojemności płuc.



Rysunek 4. Objętości i pojemności płuc.

Określenia, które powinieneś znać zanim przystąpisz do ćwiczeń w laboratorium.

Określenie	Skrót / Symbol	Jednostka
Częstość oddychania	RR	oddech/min (BPM)
Minutowa wentylacja płuc	$V_E = RR \times V_T$	L/min
<b>Objętości płuc</b>		
Objętość oddechowa	$V_T$	L
Objętość zapasowa wdechowa	IRV	L
Objętość zapasowa wydechowa	ERV	L
Objętość zalegająca	RV (oczekiwana)	L
<b>Pojemności płuc</b>		
Pojemność wdechowa	$IC = V_T + IRV$	L
Pojemność wydechowa	$EC = V_T + ERV$	L
Pojemność życiowa	$VC = IRV + V_T + ERV$	L
Czynnościowa pojemność zalegająca	$FRC = ERV + RV$	L
Całkowita pojemność płuc	$TLC = VC + RV$	L
<b>Testy funkcjonalne płuc</b>		
Szczytowy przepływ wdechowy	PIF	L/min
Szczytowy przepływ wydechowy	PEF	L/min
Natężona pojemność życiowa	FVC	L
Pierwszosekundowa natężona obj. wyd	$FEV_1$	L
% FVC wydychanej w czasie 1 sekundy	$FEV_1 / FVC \times 100$	