

## **OODYCHANIE**

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.

Układ oddechowy człowieka składa się z dróg doprowadzających powietrze i właściwego narządu wymiany gazowej czyli płuc. Oddychanie dzieli się na zewnętrzne i wewnętrzne.

**Oddychanie zewnętrzne** składa się z czterech etapów. Są to:

1. Wentylacja płuc
2. Dyfuzja gazów: powietrze pęcherzykowe - krew
3. Transport gazów przez krew
4. Dyfuzja gazów: krew-komórki

**Oddychanie wewnętrzne** (komórkowe) zachodzi w mitochondriach i polega na utlenianiu związków organicznych w celu uzyskania energii.

## **WENTYLACJA PŁUC**

**Efektywność wymiany gazowej w płucach** zależy od wentylacji. Jest ona skutkiem cyklicznych ruchów oddechowych, które naprzemiennie napompowują i opróżniają płuca. Na skutek wdechu do pęcherzyków płucnych dostaje się świeże powietrze atmosferyczne. Wydech usuwa z płuc powietrze o obniżonym stężeniu  $O_2$  i podwyższonym stężeniu  $CO_2$ . Skurcz i rozkurcz mięśni oddechowych zmienia objętość klatki piersiowej i ciśnienie w jej obrębie. Zmiany te umożliwiają przepływ powietrza podczas wdechu i wydechu. Ruch powietrza w układzie oddechowym następuje zgodnie z gradientem ciśnienia. Ani różnica w objętości, ani w oporach oddechowych nie wpływa bezpośrednio na przepływ powietrza.

### **Wdech**

Wdech jest procesem aktywnym, wymagającym skurczu mięśni. Podczas spokojnego wdechu kurczą się główne mięśnie wdechowe: mięśnie przepony, międzyżebrowe zewnętrzne i mięśnie pochyłe. Dodatkowe mięśnie wdechowe, których skurcz umożliwia pogłębienie oddechów to m.in. mięsień mostkowo-obojętkowo-sutkowy, czworoboczny, piersiowy mniejszy, zębaty przedni, dźwigacz łopatki i równoległoboczny.

### **Wydech**

W spokojnym oddychaniu wydech jest głównie zjawiskiem biernym. Przy nasilonym wydechu kurczą się mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne i mięśnie przedniej ściany jamy brzusznej (mięśnie proste i skośne brzucha).

## **OBJĘTOŚCI I POJEMNOŚCI ODDECHOWE (Rycina 1)**

### **Statyczne parametry płuc**

Podczas spokojnego oddychania wdychamy i wydychamy pewną, określoną ilość powietrza, tzw. objętość oddechową. Zajmuje ona tylko niewielką część całkowitej pojemności płuc, stąd zawsze można wziąć głębszy wdech i zrobić głębszy wydech. Jednakże nawet po najgłębszym wydechu w płucach pozostaje pewna ilość powietrza. W skład całkowitej pojemności płuc wchodzi cztery objętości:

### **Zapasowa objętość wdechowa (IRV)**

Jest to ilość powietrza, jaka może być wciągnięta do płuc podczas maksymalnego wdechu wykonanego po spokojnym wdechu. Wynosi ona około 3 L.

### **Objętość oddechowa (VT)**

Jest to ilość powietrza, jaka jest wdychana i wydychana podczas spokojnego oddychania. Przeciętnie dorosły człowiek wykonuje 10-16 oddechów na minutę, a objętość oddechowa wynosi ~0,5 L.

### Zapasowa objętość wydechowa (ERV)

Jest to ilość powietrza, jaką można usunąć z płuc podczas maksymalnego wydechu, licząc od spokojnego wydechu. Wynosi ona ~1,5 L.

### Objętość zalegająca (RV)

Jest to ilość powietrza, jaka pozostaje w płucach po wykonaniu maksymalnego wydechu. Wynosi ona ~1,2L.

Poszczególne objętości płuc można połączyć funkcjonalnie i w ten sposób uzyskać **pojemności płuc**. Pojęcia "objętość" i "pojemność" nie są równoznaczne.

### Pojemność wdechowa (IC)

Jest to ilość powietrza, jaką można wciągnąć do płuc podczas maksymalnego wdechu, wykonanego po spokojnym wydechu. Jest to suma IRV i VT.

### Pojemność wydechowa (EC)

Jest to ilość powietrza, jaką można usunąć z płuc podczas maksymalnego wydechu, wykonanego po spokojnym wdechu. Jest to suma VT i ERV.

### Pojemność zalegająca czynnościowa (FRC).

Jest to ilość powietrza, jaka pozostaje w płucach po normalnym wydechu. Jest to suma ERV i RV.

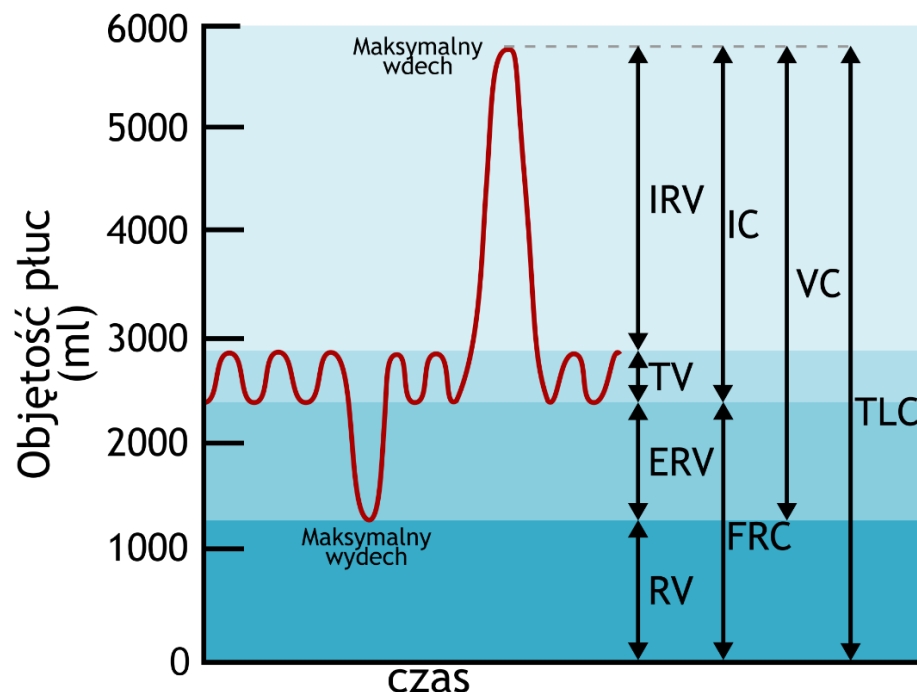
### Pojemność życiowa (VC)

Jest to ilość powietrza, jaką można usunąć z płuc podczas maksymalnego wydechu, wykonanego po maksymalnym wdechu. Jest to suma IRV, VT i ERV.

### Całkowita pojemność płuc (TLC)

Jest to ilość powietrza, jaka znajduje się w płucach na szczycie maksymalnego wdechu. Jest to suma wszystkich objętości: IRV, VT, ERV i RV.

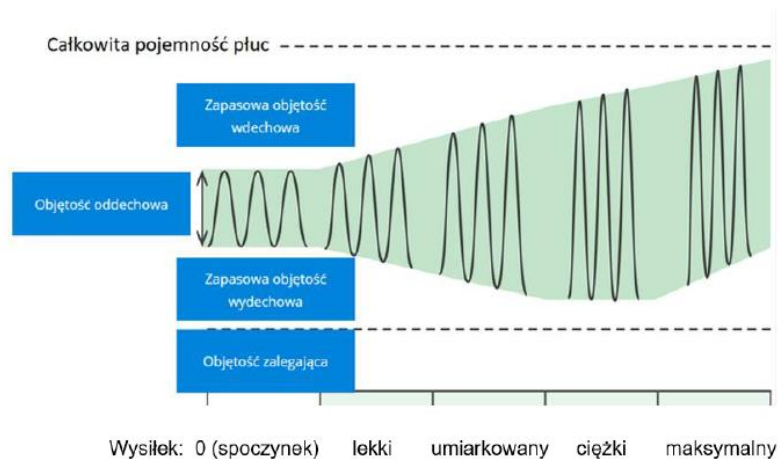
Poniższy schemat obrazuje i definiuje poszczególne objętości i pojemności płuc:



Ryc. 1. TLC – całkowita pojemność płuc; VC – pojemność życiowa, RV – objętość zalegająca; IC – pojemność wdechowa; FRC – czynnościowa pojemność zalegająca; IRV – objętość zapasowa wdechowa; TV – objętość oddechowa; ERV – objętość zapasowa wydechowa (p.wikipedia.org)

## Oddychanie podczas wysiłku fizycznego (Rycina 2)

Podczas wysiłku fizycznego wzrasta zarówno zużycie  $O_2$ , jak i produkcja  $CO_2$ . Mimo to skład gazu rozpuszczonego w krwi tętniczej pozostaje zaskakująco niezmienny. Wzrasta zarówno objętość oddechowa (TV), jak i częstość oddechu.



Ryc. 2. Zmiana wzorca oddechowego podczas wysiłku o wzrastającej intensywności.

- Wraz ze wzrostem intensywności wysiłku wzrasta głębokość i częstość oddychania.
- Wzrost głębokości oddechów wynika z zaangażowania objętości zapasowej wdechowej i wydechowej.
- W czasie maksymalnego wysiłku w większym stopniu zaangażowana jest objętość zapasowa wdechowa niż wydechowa.

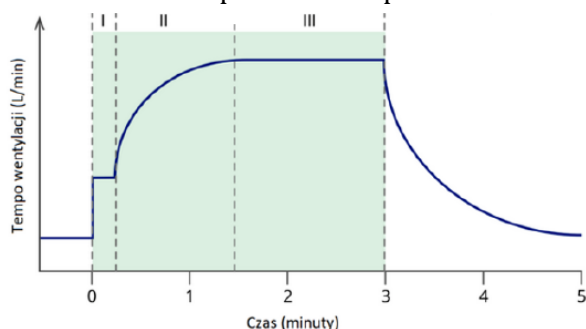
Pogłębienie oddychania i wzrost częstotliwości skutkuje zwiększeniem wentylacji minutowej. Minutowa objętość oddechowa w spoczynku wynosi około 5 L. Podczas intensywnego wysiłku może wzrosnąć nawet 30x (z 5 do 150 L/min).

**Objętość minutowa (L/min) = objętość oddechowa (L) × częstość oddechu na minutę**

## Wydolny układ oddechowy umożliwia szybkie osiągnięcie stanu równowagi podczas wysiłku (Rycina 3).

Czynniki wpływające na osiągnięcie stanu równowagi to:

- Dostarczanie  $O_2$  do pracujących mięśni
- Wykorzystanie  $O_2$  przez komórki w czasie metabolizmu tlenowego
- Zdolność do rozpraszania ciepła.



Rycina 3. Zmiany wentylacji w czasie wysiłku a stan równowagi organizmu.

Obserwując powyższe zmiany wentylacji w czasie wysiłku można wyróżnić trzy fazy:

I - początkowy natychmiastowy wzrost wentylacji minutowej. Można to przypisać pobudzeniu nerwowemu płynącemu z wyższych pięter ośrodkowego układu nerwowego.

II - wolniejszy ciągły wzrost wentylacji przez następną minutę.

III - faza plateau, na którym wentylacja ustabilizowała się na stałym poziomie.

### **Przyczyny wzrostu wentylacji w czasie wysiłku umiarkowanego:**

W czasie spokojnego oddychania  $PaCO_2$  nie zmienia się. W czasie wysiłku zużywamy więcej  $O_2$  i produkujemy więcej  $CO_2$ . Przyspieszone i pogłębione oddychanie ma na celu usunięcie nadmiaru  $CO_2$  powstającego wskutek zwiększonego metabolizmu. Taka hiperwentylacja pozwala utrzymać  $PaCO_2$  i  $PvCO_2$  (w krwi tętniczej) na normalnym poziomie (wyjątkiem jest ekstremalny wysiłek, gdy  $PaCO_2$  może rosnąć). Zmiany są widoczne w krwi żyłnej powracającej do serca, która ma niższe  $PvO_2$  i pH a wyższe  $PvCO_2$ . Jednakże krew żylna nie jest monitorowana przez chemoreceptory. Większość osób spodziewa się, że zmiany te będą widoczne również w krwi tętniczej i dlatego wzrost wentylacji błędnie tłumaczy działaniem chemoreceptorów pobudzonych zwiększonym ciśnieniem parcjalnemu  $CO_2$ . Jednakże w czasie lekkiego i umiarkowanego wysiłku  $PaO_2$ ,  $PaCO_2$ , i tętnicze pH nie zmieniają się a więc nie mogą tłumaczyć wzrostu wentylacji. Poziom mleczanu również nie zmienia się a więc on również nie jest odpowiedzialny za wzrost wentylacji.

### **Wzrost wentylacji w czasie wysiłku umiarkowanym jest spowodowany przez:**

- informację biegnącą z wyższych pięter ośrodkowego układu nerwowego (np. kory ruchowej mózgu),
- zwiększoną aktywność współczulnego układu nerwowego,
- informację z proprioceptorów w mięśniach i stawach,
- wzrastającą temperaturę ciała.

### **Przyczyny wzrostu wentylacji w czasie wysiłku intensywnego:**

W czasie intensywnego wysiłku fizycznego pojawiają się dotatkowe przyczyny wzrostu wentylacji. Po przekroczeniu progu mleczanowego, we krwi tętniczej pojawiają się zmiany, które nasilają wentylację płuc:

- W związku z nasilaniem się przemian beztlenowych z mięśni do krwi uwalniany jest mleczan (kwas mlekowy), czego skutkiem jest wzrost stężenia jonów  $H^+$  (spadek pH).
- Zwiększone stężenie jonów  $H^+$  stymuluje oddychanie poprzez wpływ na chemoreceptory.
- Nasiloną wentylacja obniża  $PaCO_2$  i podnosi  $PaO_2$  likwidując kwasicę metaboliczną (obniżone pH) i tym samym przywracając równowagę kwasowo-zasadową we krwi.
- Wzrost metabolizmu mięśni w czasie wysiłku powoduje lokalne gromadzenie metabolitów w płynie śródmiąższowym. Należą do nich m.in..
- Receptory (metaboreceptory) zlokalizowane w mięśniach reagują na podwyższone stężenie metabolitów (mleczan, jony  $K^+$ , adenozyne) i wysyłają informację dośrodkową do jądra pasma samotnego w rdzeniu przedłużonym, co nie tylko nasila tempo oddychania, ale przede wszystkim zwiększa aktywność układu współczulnego, który wpływa na układ sercowo-naczyniowy, aby odpowiednio dostosować przepływ krwi do pracujących mięśni. Wpływ ten zachodzi na drodze odruchowej.