



**Konsultacje Fizjologia człowieka**  
**25 maja 2022**

**dr Ewa Żebrowska**

**ZAKŁAD FIZJOLOGII**



Ministerstwo  
Edukacji i Nauki



DOFINANSOWANO ZE ŚRODKÓW BUDŻETU PAŃSTWA  
PROGRAM SPOŁECZNA ODPOWIEDZIALNOŚĆ NAUKI  
- POPULARYZACJA NAUKI I PROMOCJA SPORTU MINISTRA EDUKACJI I NAUKI  
Biologia i Chemia po akademicku  
DOFINANSOWANIE  
40 000 zł  
CAŁKOWITA WARTOŚĆ  
45 000 zł



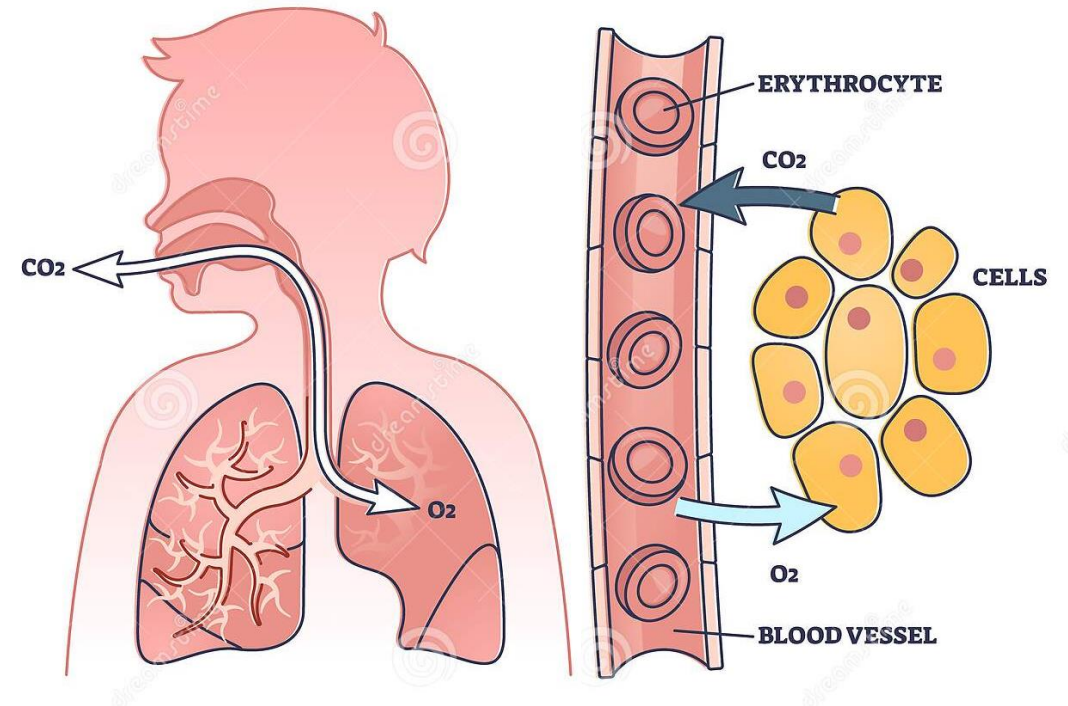
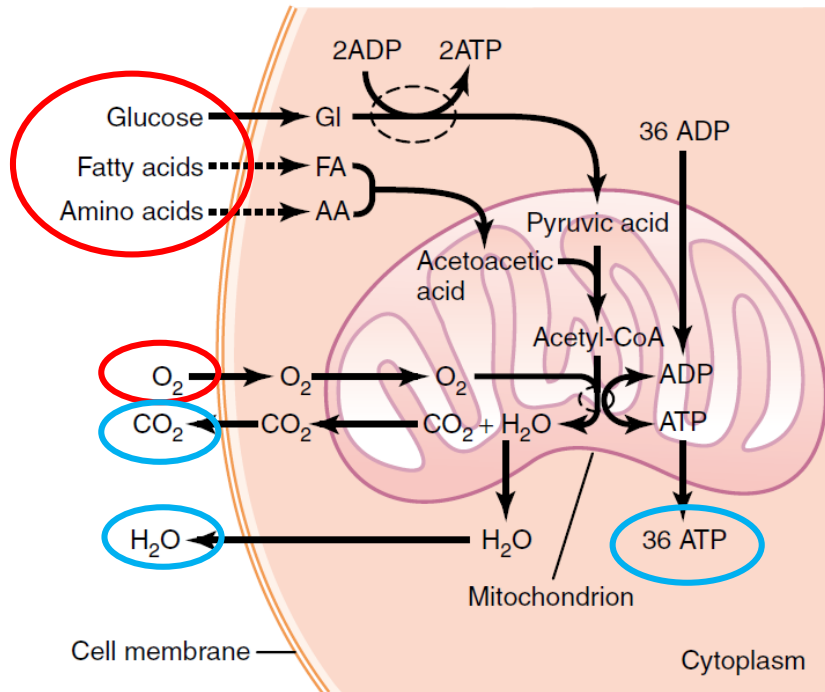
## **Anatomia i fizjologia układu oddechowego**

# FUNKCJE UKŁADU ODDECHOWEGO

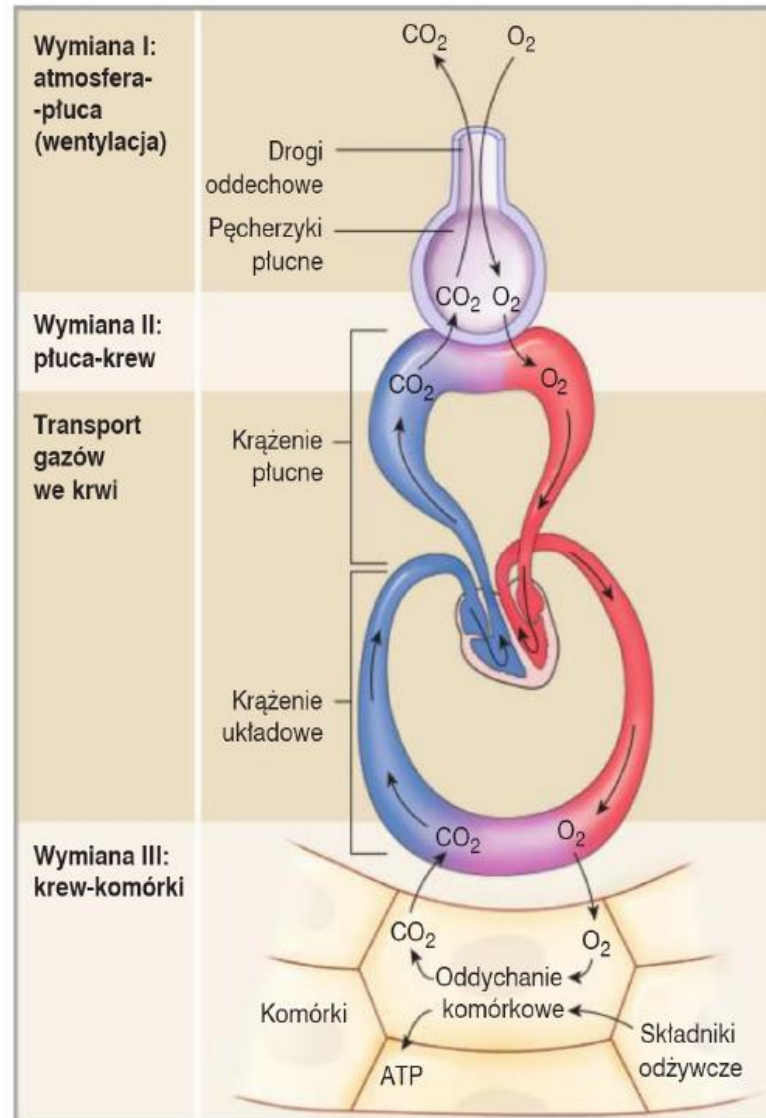
- 🫁 podstawowa – dostarczanie tlenu i eliminacja dwutlenku węgla
- 🫁 termoregulacja
- 🫁 usprawnia powrót żylny („pompa oddechowa”)
- 🫁 utrzymanie prawidłowej równowagi kwasowo-zasadowej
- 🫁 wokalizacja
- 🫁 funkcja ochronna
- 🫁 funkcja metaboliczna
- 🫁 nos służy jako narząd węchu



# ODDYCHANIE KOMÓRKOWE VS. ODDYCHANIE ZEWNĘTRZNE



# ETAPY ODDYCHANIA ZEWNĘTRZNEGO



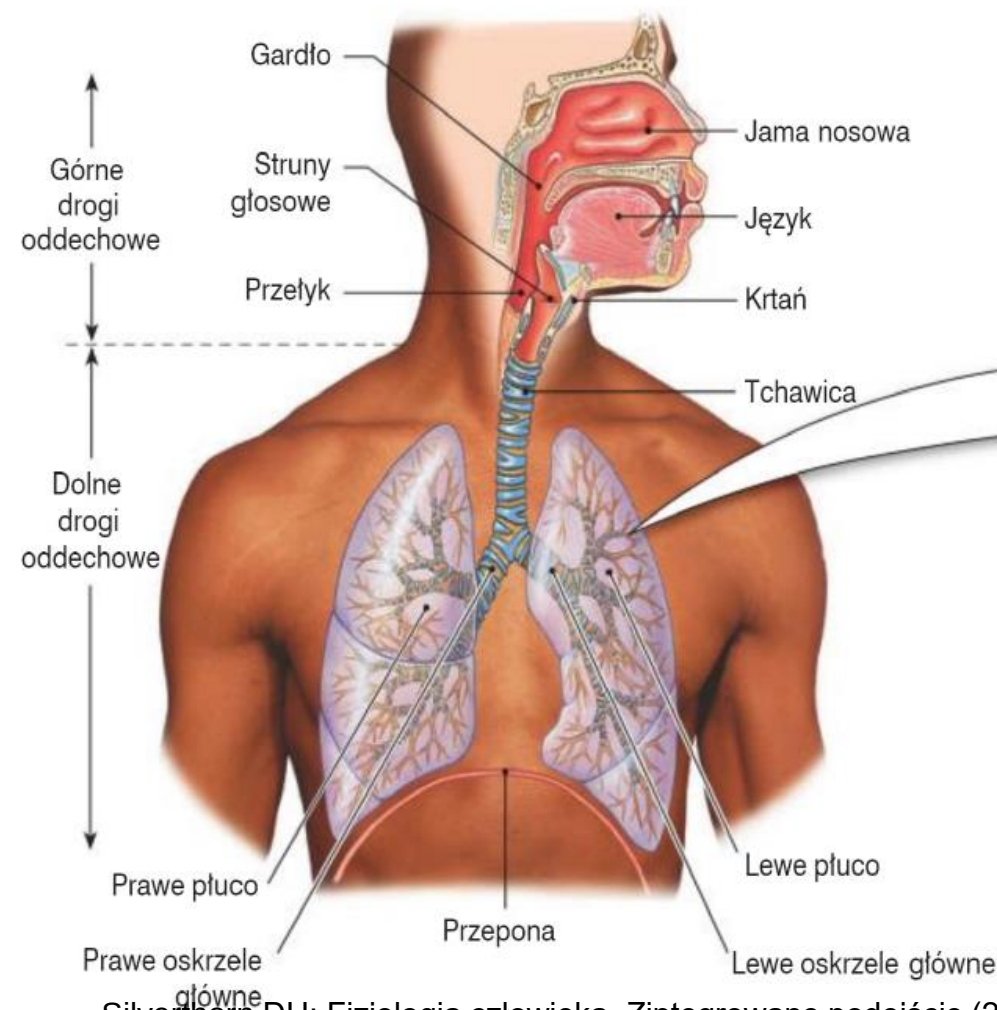
układ oddechowy

układ krążenia

# ANATOMIA UKŁADU ODDECHOWEGO

## Układ oddechowy tworzą:

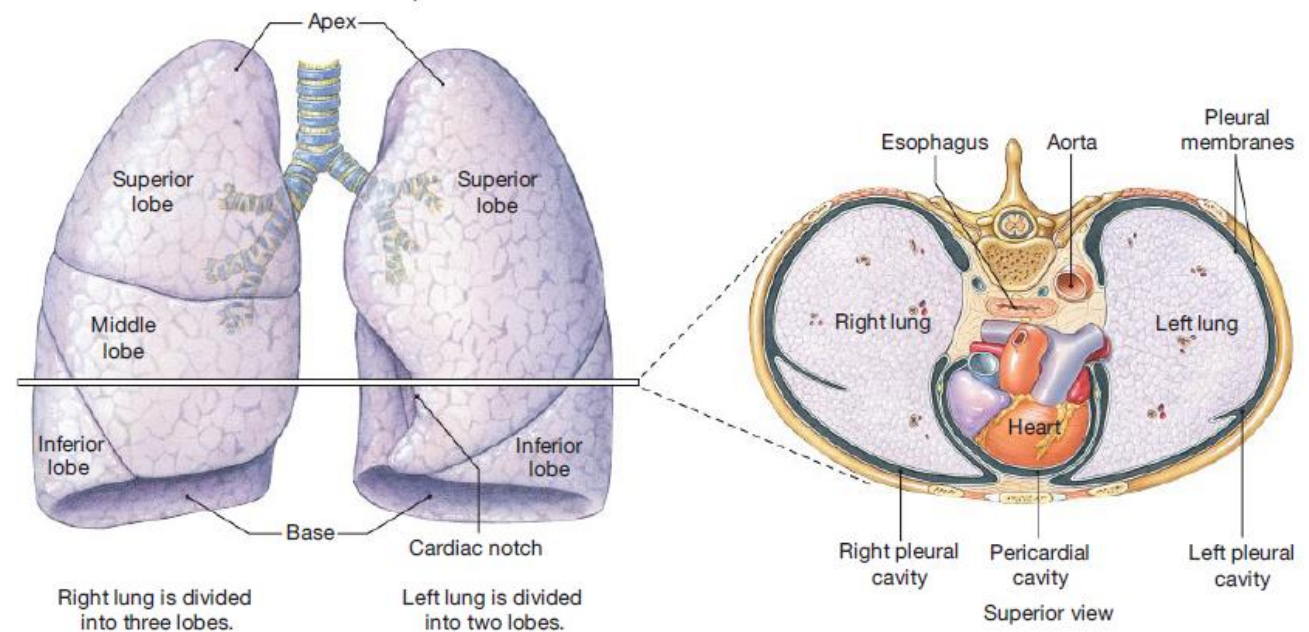
- drogi oddechowe
- płuca
- mięśnie oddechowe klatki piersiowej



# ANATOMIA UKŁADU ODDECHOWEGO

Układ oddechowy tworzą:

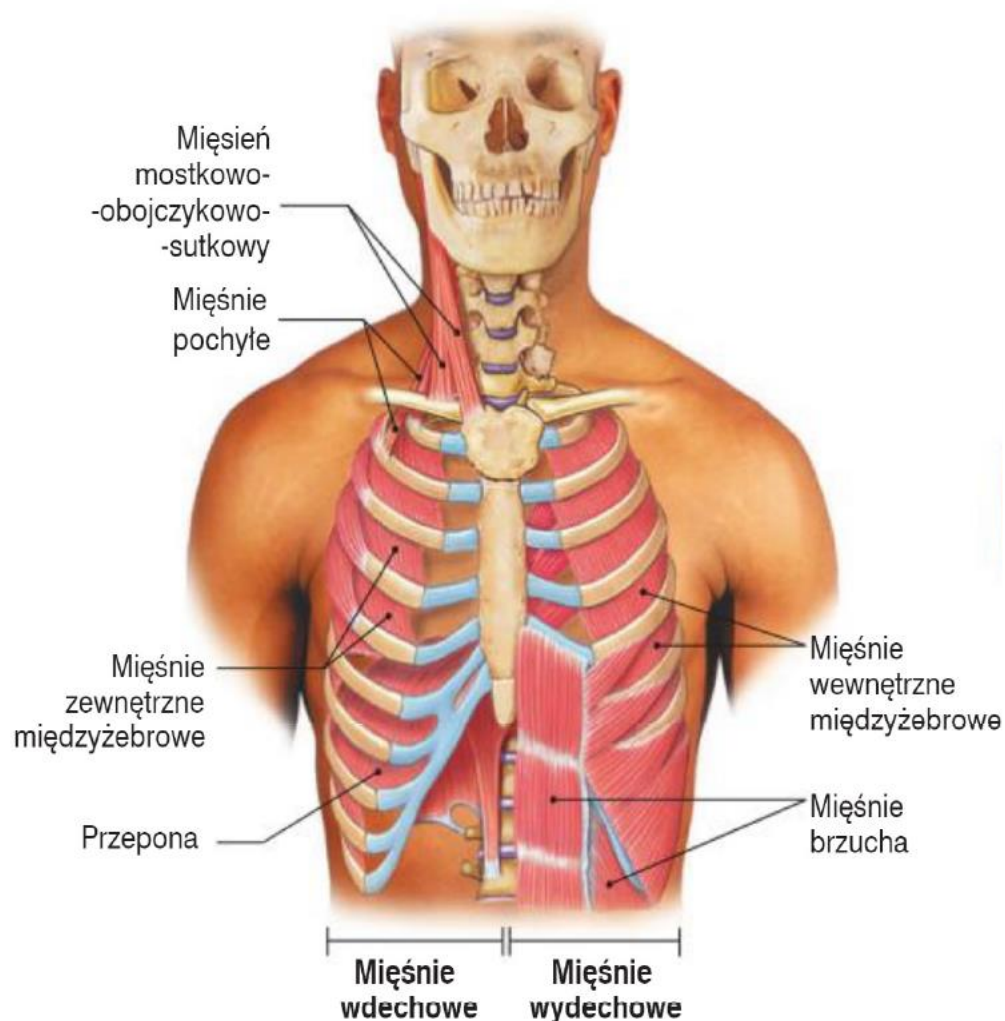
- drogi oddechowe
- płuca
- mięśnie oddechowe klatki piersiowej



# ANATOMIA UKŁADU ODDECHOWEGO

**Układ oddechowy tworzą:**

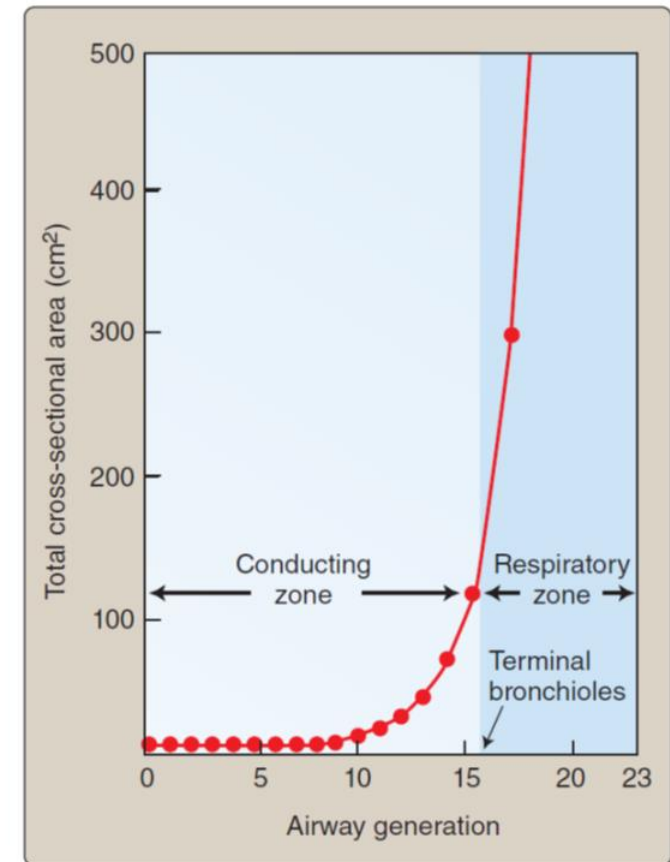
- drogi oddechowe
- płuca
- mięśnie oddechowe klatki piersiowej



# STRUKTURA DRÓG ODDECHOWYCH

## Rozgałęzienia dróg oddechowych

| Nazwa układu                                           | Nazwa             | Podział | Średnica (mm) | Ilość                                              |
|--------------------------------------------------------|-------------------|---------|---------------|----------------------------------------------------|
| <b>Przewodzenie powietrza</b><br><b>0-16 generacje</b> | Tchawica          | 0       | 15-22         | 1                                                  |
|                                                        | Główne oskrzela   | 1       | 10-15         | 2                                                  |
|                                                        | Mniejsze oskrzela | 2       | 1-10          | 4                                                  |
|                                                        |                   | 3       |               | $1 \times 10^4$                                    |
|                                                        |                   | 4       |               |                                                    |
|                                                        |                   | 5       |               |                                                    |
|                                                        |                   | 6-11    |               |                                                    |
| <b>Wymiana gazowa</b><br><b>17-23 generacje</b>        | Oskrzeliki        | 12-23   | 0,5-1         | $2 \times 10^4$<br>$\downarrow$<br>$8 \times 10^7$ |
|                                                        | Pęcherzyki        | 24      | 0,3           | $3-6 \times 10^8$                                  |



**Figure 22.2**  
Amplification of lung surface area.

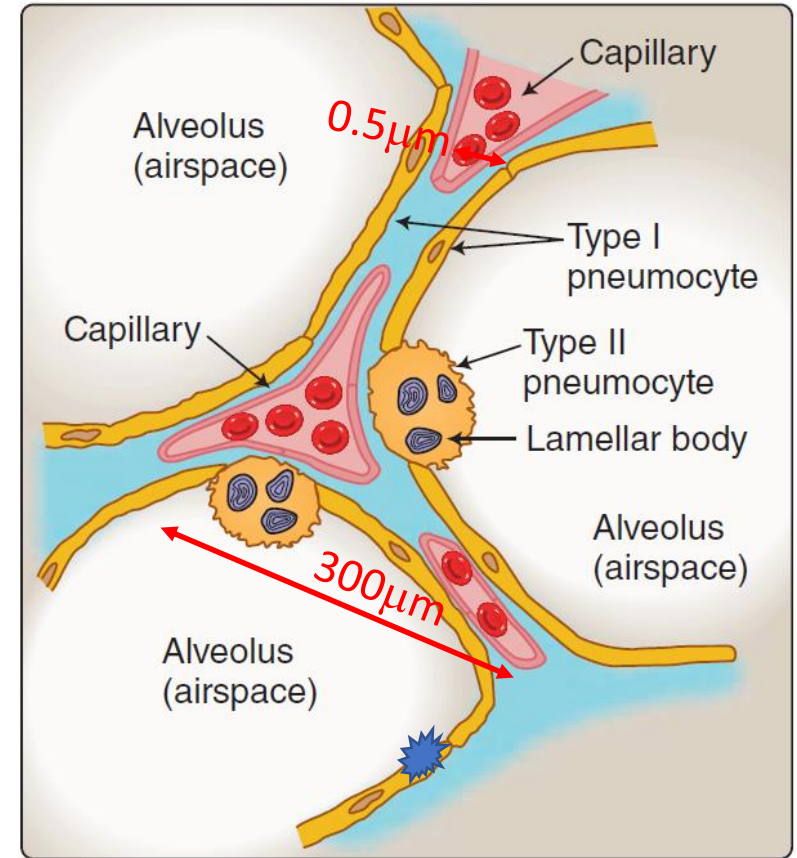
# ANATOMICZNA PRZESTRZEŃ BEZUŻYTECZNA

Powietrze które znajduje się w drogach przewodzących, nie bierze udziału w wymianie gazowej (ok. 150 ml)



# PĘCHERZYKI PŁUCNE

- 🦋 płuca składają się z **500 millionów** pęcherzyków
- 🦋 średnica: **200-300  $\mu\text{m}$**
- 🦋 bariera dla wymiany gazowej: **0.5  $\mu\text{m}$**
- 🦋 całkowita powierzchnia wymiany gazowej  **$\sim 80 \text{ m}^2$  !**
- 🦋 zbudowane z pneumocytów **typu I** i **typu II** (5%, surfaktant)



**Figure 22.3**  
Alveolar wall structure.

# JAMA OPŁUCNOWA

• każde płuco oddzielone jest od ściany klatki piersiowej **workiem opłucnowym** (dwuściennym)

• **jama opłucnowa** = wnętrze worka opłucnowego

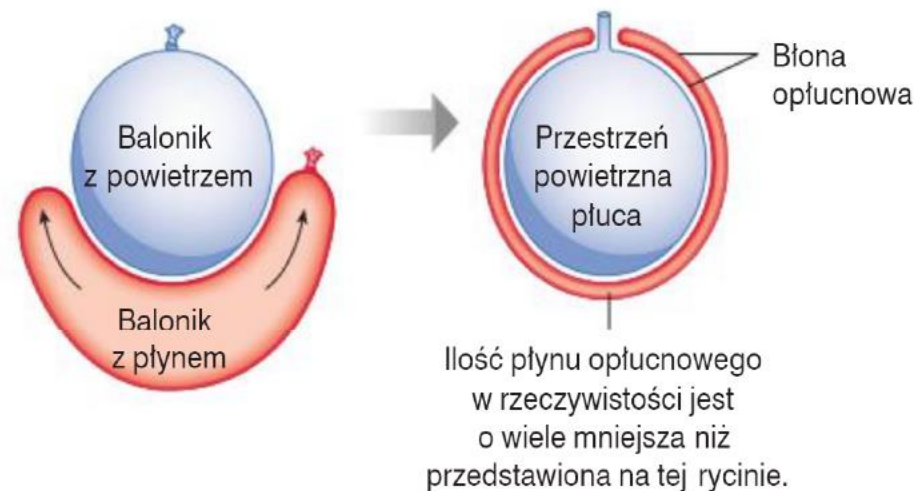
• opłucne wydzielają niewielką ilość **płynu śródopłucnowego** (~15 ml), który zwilża opłucne umożliwiając ich wzajemne „ślizganie się” podczas ruchów oddechowych

• **siły kohezji** płynu śródopłucnowego utrzymują powierzchnie opłucnych obok siebie

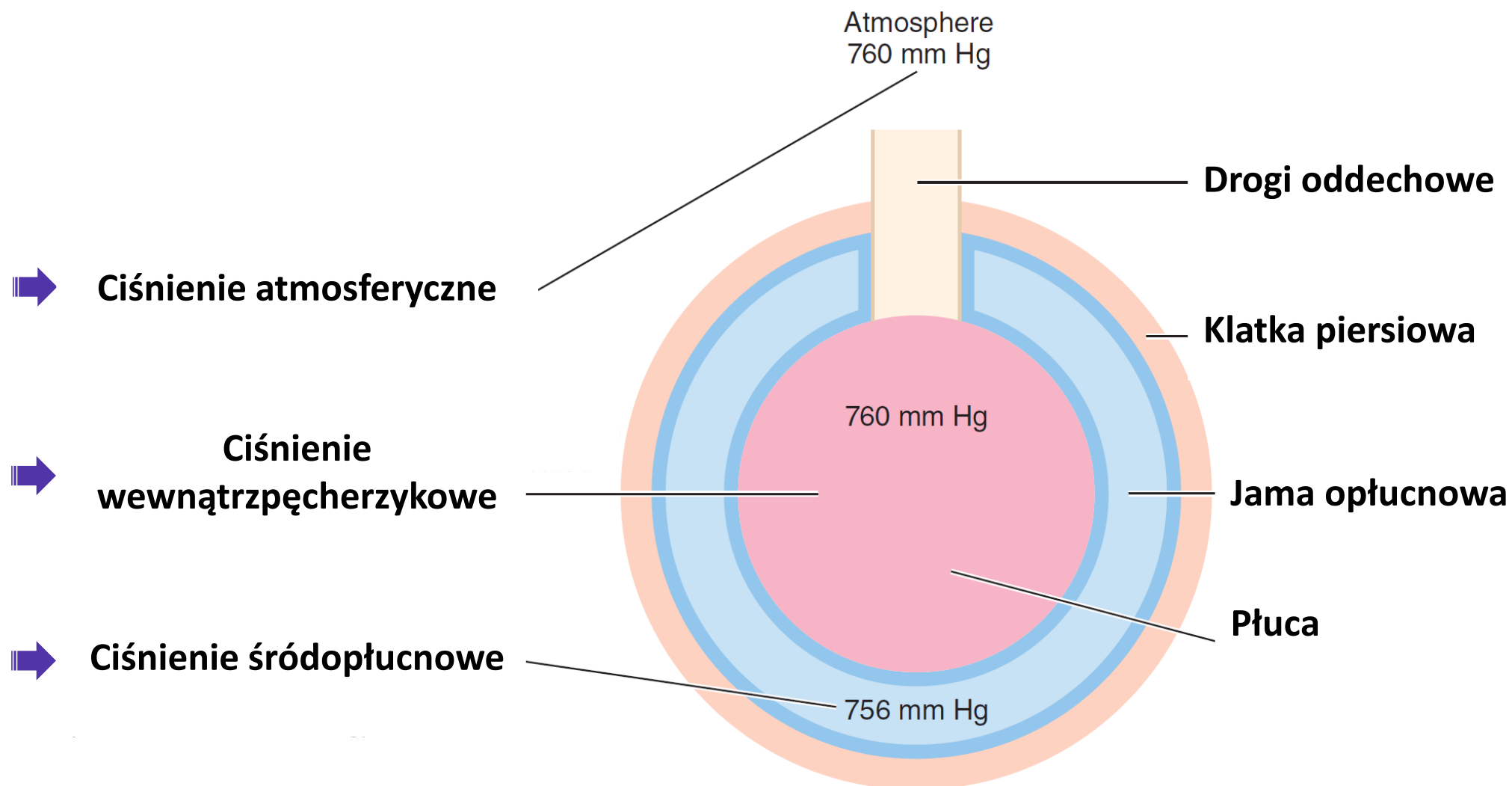
• dzięki temu zmianom w rozmiarze klatki piersiowej zawsze towarzyszą odpowiednie zmiany w rozmiarze płuc

## RYC. 14.3 Worek opłucnej

Worek opłucnej tworzy podwójną błonę otaczającą płuco, podobną do wypełnionego płynem balonika otaczającego balonik z powietrzem.



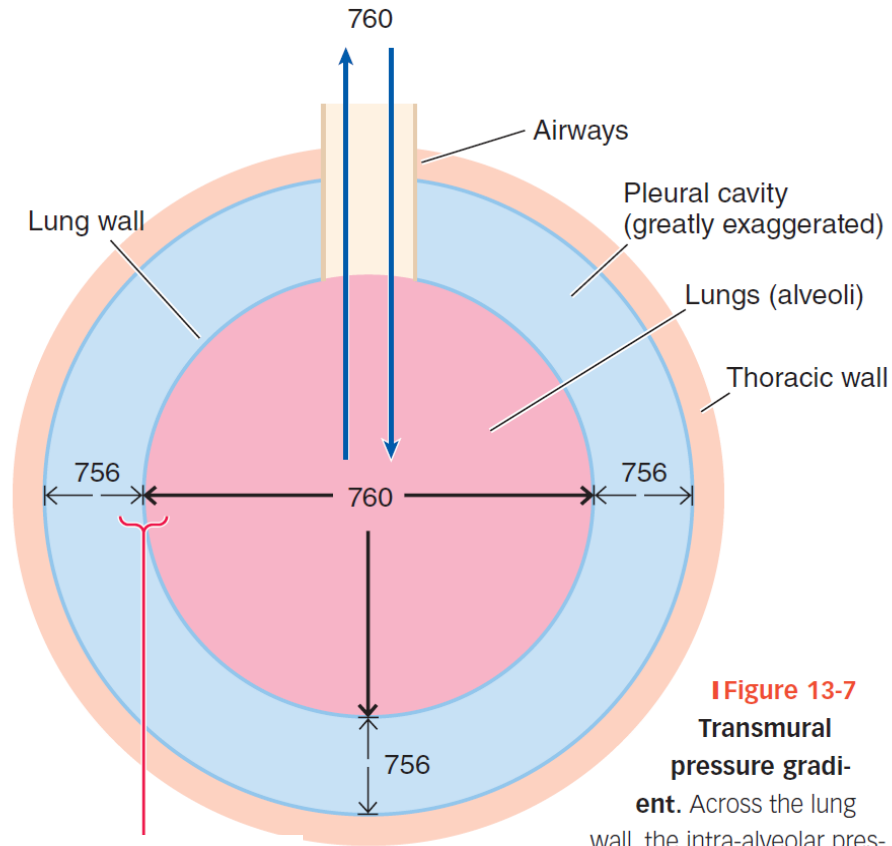
# CIŚNIENIA WAŻNE ZE WZGLĘDU NA WENTYLACJĘ



# PŁUCA SĄ ROZCIĄGNIĘTE NAWET W SPOCZYNKU

- 🐾 klatka piersiowa jest większa niż nierozciągnięte płuca (klatki piersiowa rośnie szybciej niż płuca)
- 🐾 ściana klatki piersiowej i płuca utrzymywane są w bliskim kontakcie dzięki dwóm siłom:
  - 🐾 kohezji płynu śródopłucnowego
  - 🐾 ciśnienia transmuralnego

# GRADIENT CIŚNIEŃ



**Figure 13-7**

## **Transmur al pressure gradient.**

Across the lung wall, the intra-alveolar pressure of 760 mm Hg pushes outward,

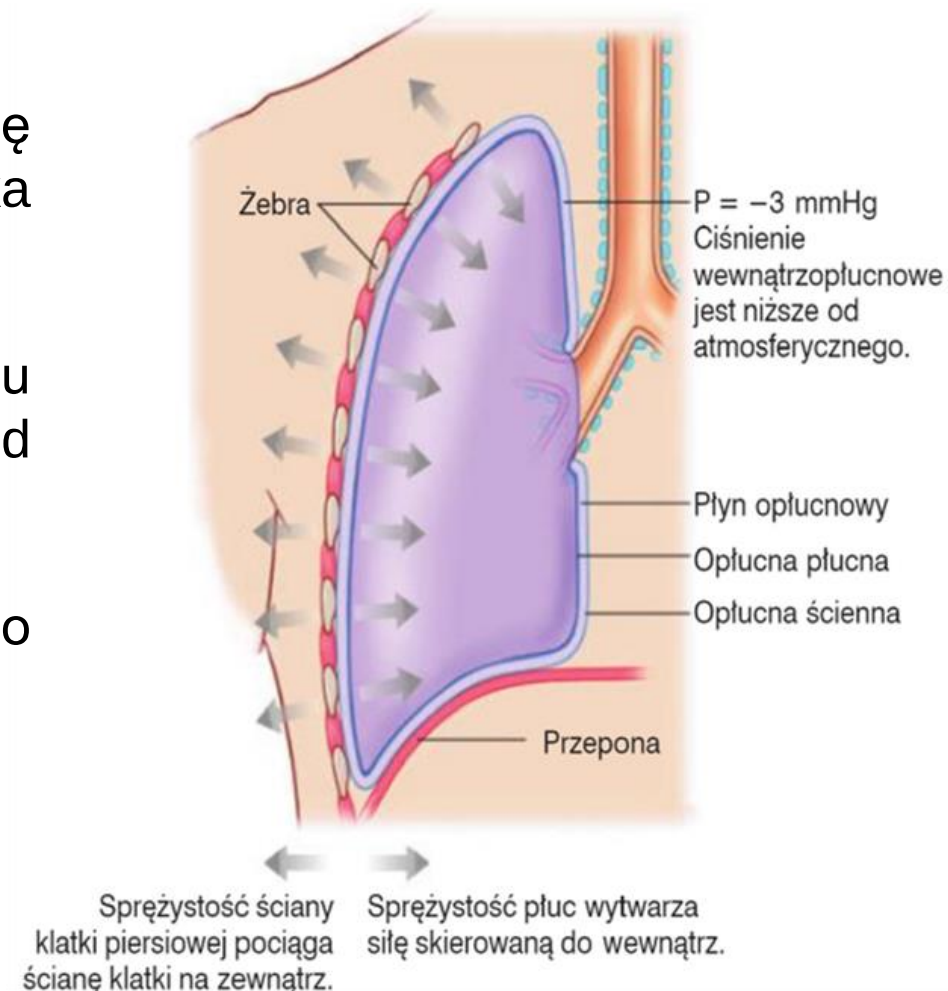
while the intrapleural pressure of 756 mm Hg pushes inward. This 4 mm Hg difference in pressure constitutes a transmur al pressure gradient that pushes out on the lungs, stretching them to fill the larger thoracic cavity.

## **Ciśnienie transmur alne**

Numbers are mm Hg pressure.

# DLACZEGO CIŚNIENIE ŚRÓDOPŁUCNOWE MA ZAWSZE WARTOŚĆ UJEMNĄ?

- zarówno **płuca** jak i **klatka piersiowa** nieustannie starają się przyjąć swoje naturalne rozmiary (płuca – mniejsze, klatka piersiowa – większe)
- ciśnienie transmuralne** i **siły kohezji** płynu śródopłucnowego zapobiegają oddzieleniu tych struktur od siebie
- dlatego **ciśnienie śródopłucnowe (756 mm Hg)** jest średnio o **3-4 mm Hg niższe od atmosferycznego (760 mm Hg)**



# ODMA OPŁUCNOWA

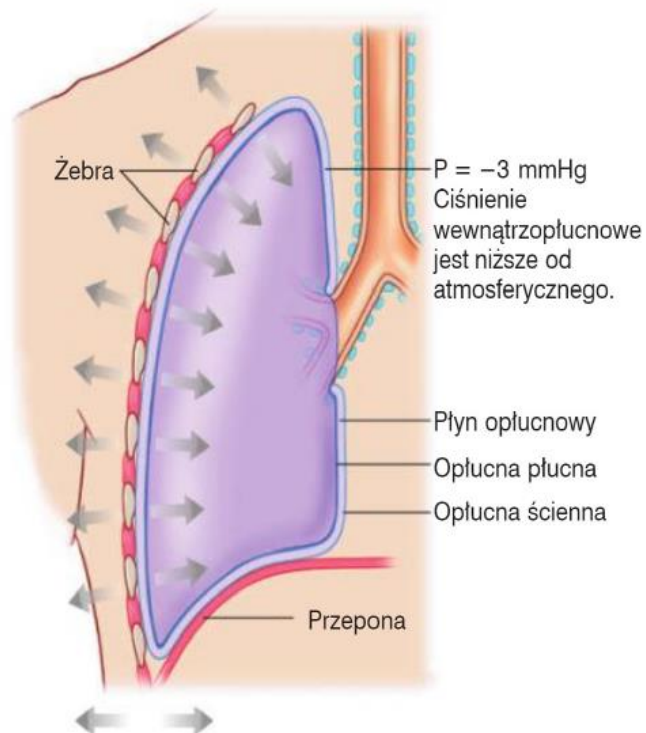




# ODMA OPŁUCNOWA

**RYC. 14.10** Ujemne ciśnienie w jamie opłucnej pomaga utrzymywać płuca rozprężone

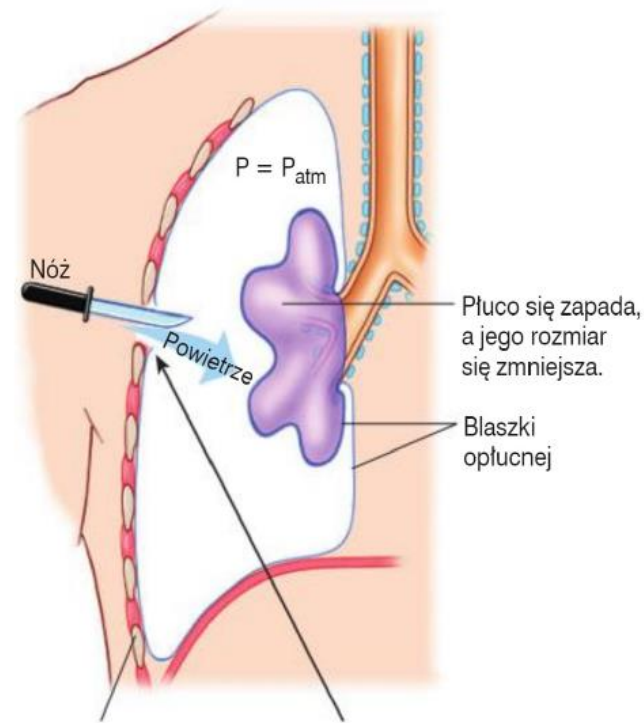
(a) Prawidłowe płuco w stanie spoczynku przylega do ściany klatki piersiowej dzięki obecności płynu opłucznego.



Sprężystość ściany klatki piersiowej pociąga ścianę klatki na zewnątrz.

Sprężystość płuc wytwarza siłę skierowaną do wewnątrz.

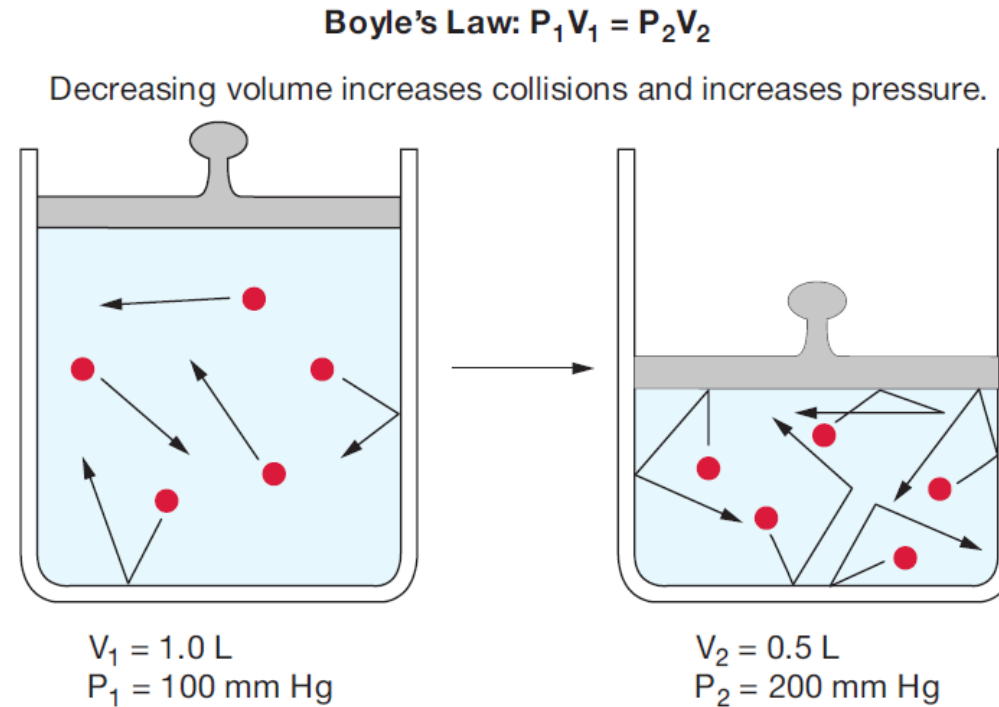
(b) **Odma opłucnowa.** Jeśli zamkniętą jamę opłucnej połączy się ze środowiskiem zewnętrznym, powietrze będzie przedostawać się do jamy opłucnej. Siły utrzymujące płuco przy ścianie klatki piersiowej zanikną i płuco zapadnie się, tworząc odmę opłucnową (powietrze w jamie opłucnej).



Klatka piersiowa rozszerza się nieznacznie.

Jeśli zamknięta jama opłucna połączy się z powietrzem atmosferycznym, powietrze wpływa do jej wnętrza.

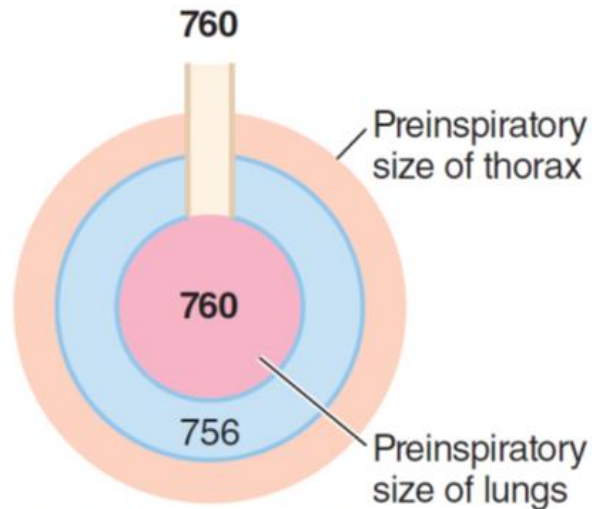
# MECHANIKA ODDYCHANIA – PRAWO BOYLA



● **FIGURE 17-6** *Boyle's law.* Boyle's law ( $P_1V_1 = P_2V_2$ ) assumes that temperature and the number of gas molecules remain constant.

# GRADIENT CIŚNIEŃ PODCZAS WDECHU I WYDECHU

- powietrze zawsze przepływa zgodnie z gradientem ciśnień
- gradient ciśnienia tworzą cykliczne zmiany ciśnienia wewnątrzpęcherzykowego (na skutek zmian objętości płuc)
- gradient ciśnienia - różnica ciśnień, przy spokojnym oddychaniu zaledwie - **1mmHg**



(a) Before inspiration

Numbers are mm Hg pressure.

**Przed wdechem:**

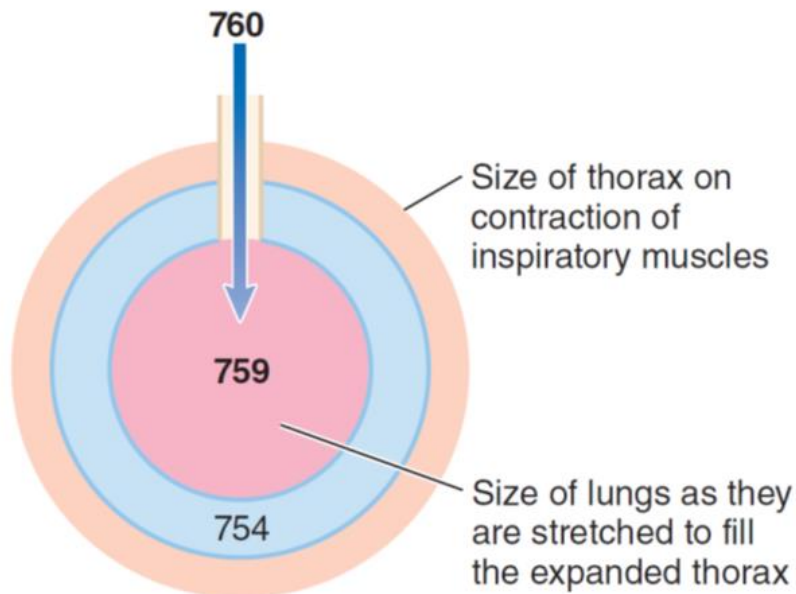
ciśnienie wewnątrzpęcherzykowe  
jest takie samo jak atmosferyczne



brak przepływu powietrza

# GRADIENT CIŚNIEŃ PODCZAS WDECHU I WYDECHU

- powietrze zawsze przepływa zgodnie z gradientem ciśnień
- gradient ciśnień tworzą cykliczne zmiany ciśnienia wewnątrzpęcherzykowego (na skutek zmian objętości płuc)
- gradient ciśnień - różnica ciśnień, przy spokojnym oddychaniu zaledwie - **1mmHg**



## Podczas wdechu:

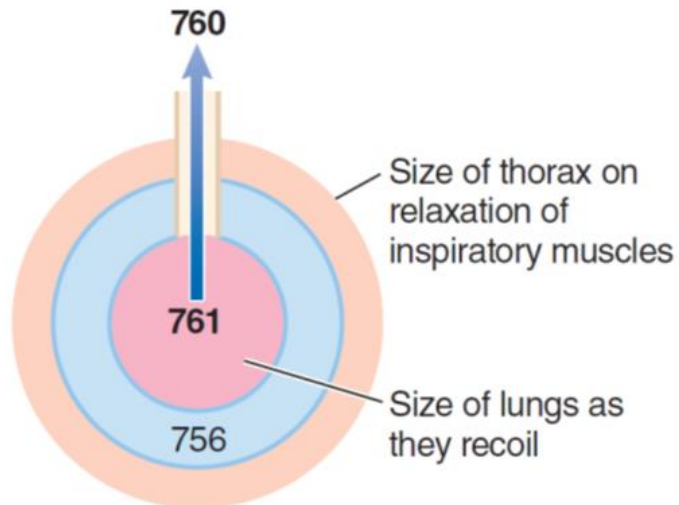
klatka piersiowa i płuca zwiększają swoją objętość,  
ciśnienie wewnątrzpęcherzykowe **spada**



powietrze przepływa do płuc  
zgodnie z gradientem ciśnień

# GRADIENT CIŚNIEŃ PODCZAS WDECHU I WYDECHU

- powietrze zawsze przepływa zgodnie z gradientem ciśnień
- gradient ciśnień tworzą cykliczne zmiany ciśnienia wewnątrzpęcherzykowego (na skutek zmian objętości płuc)
- gradient ciśnień - różnica ciśnień, przy spokojnym oddychaniu zaledwie - **1mmHg**



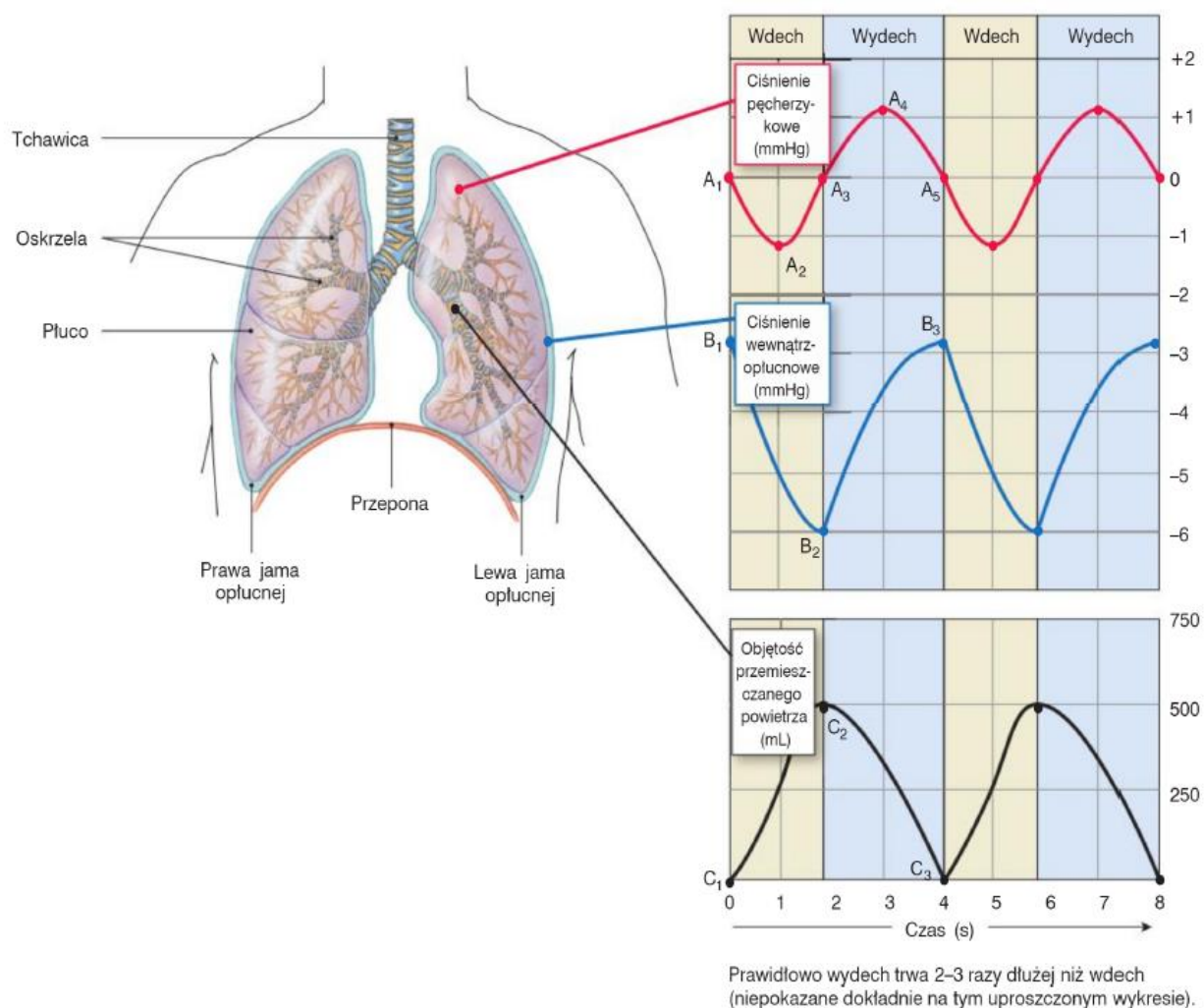
## Podczas wydechu:

płuca wracają do swoich rozmiarów sprzed wdechu  
i zmniejszają swoją objętość,  
ciśnienie wewnątrzpęcherzykowe **rośnie**



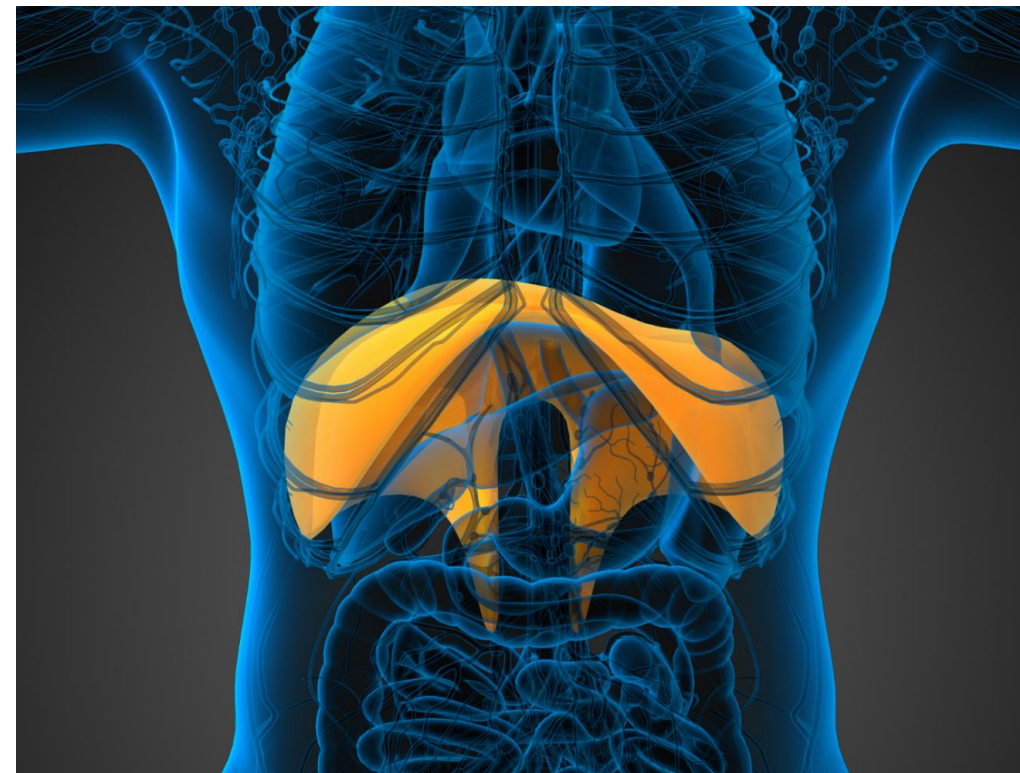
powietrze opuszcza płuca zgodnie z gradientem  
ciśnienia (aż do zrównania się z ciśnieniem  
atmosferycznym)

# ZMIANY CIŚNIENIA PODCZAS ODDYCHANIA



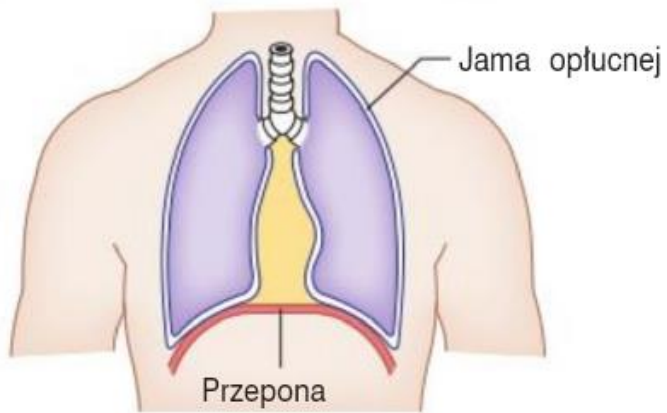
# MIĘŚNIE ODDECHOWE - PRZEPONA

- 🐾 główny mięsień oddechowy – w **75%** odpowiada za zmiany objętości klatki piersiowej podczas spokojnego oddychania
- 🐾 podczas **skurczu** obniża się o **1 cm** (oddychanie spoczynkowe) do **10 cm** (podczas wysiłku)
- 🐾 **rozkurcz** jest podstawą **wydechu spoczynkowego**

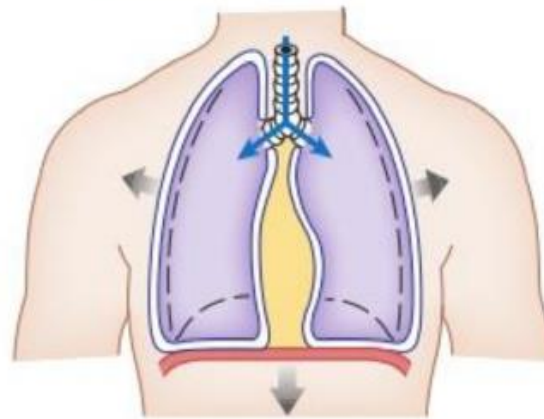


# WDECH – RUCHY PRZEPONY

(a) W spoczynku: przepona rozluźniona

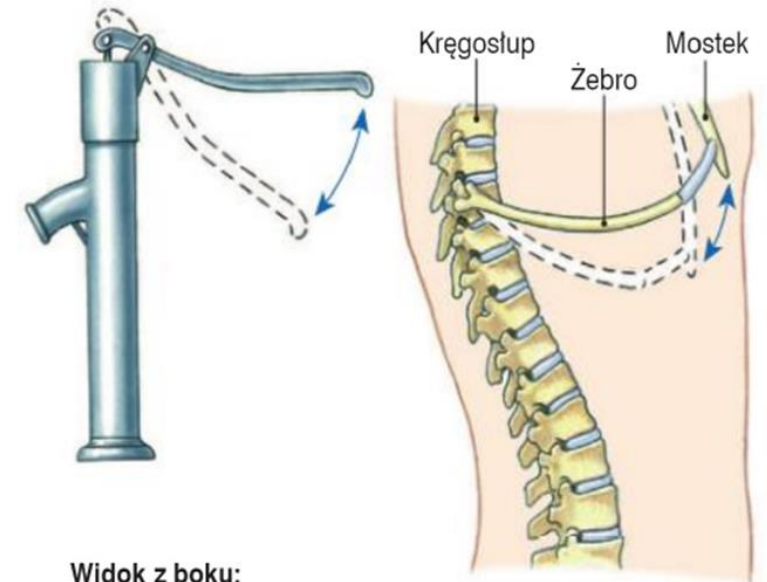


(b) Wdech: objętość klatki piersiowej zwiększa się.



Przepona kurczy się i spłaszcza

W trakcie wdechu wymiary klatki piersiowej zwiększają się.

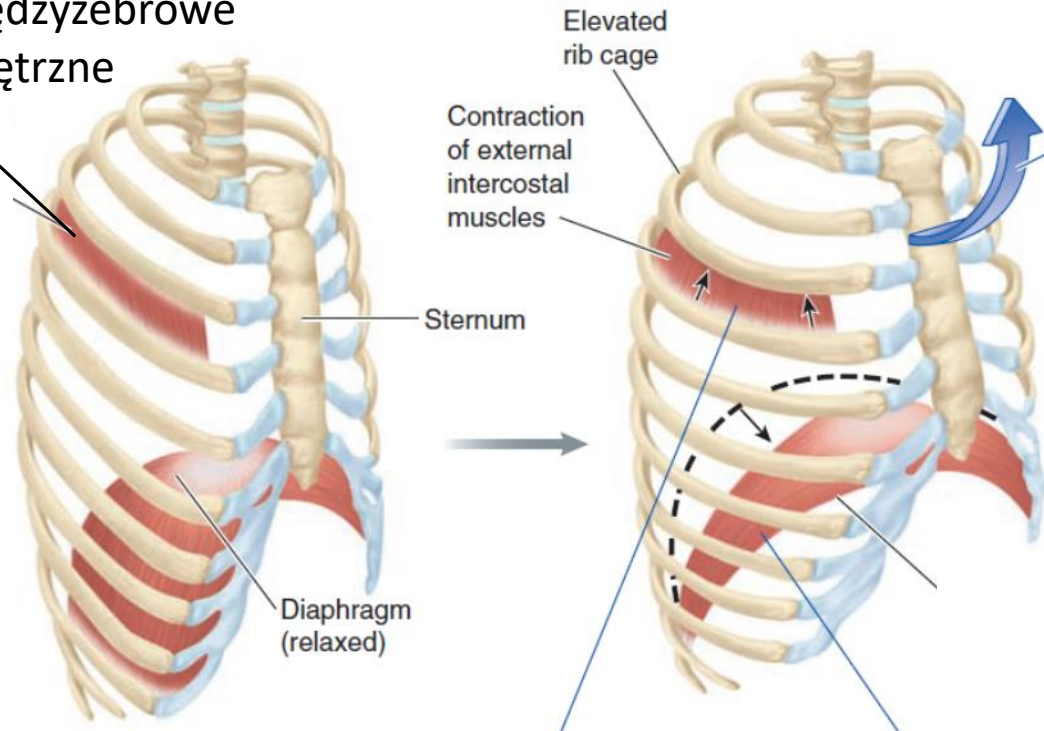


Widok z boku:

Ruch „uchwyty pompy” zwiększa przednio-tylny wymiar klatki piersiowej. Ruch ten jest analogiczny do ruchu unoszenia mostka i żeber.

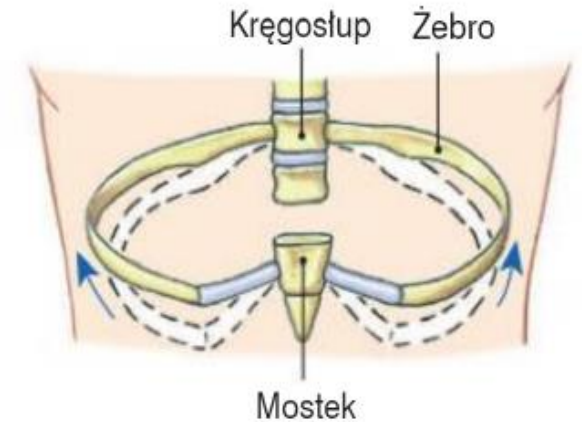
# WDECH – MIĘŚNIE MIĘDZYŻEBROWE ZEWNĘTRZNE

mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne

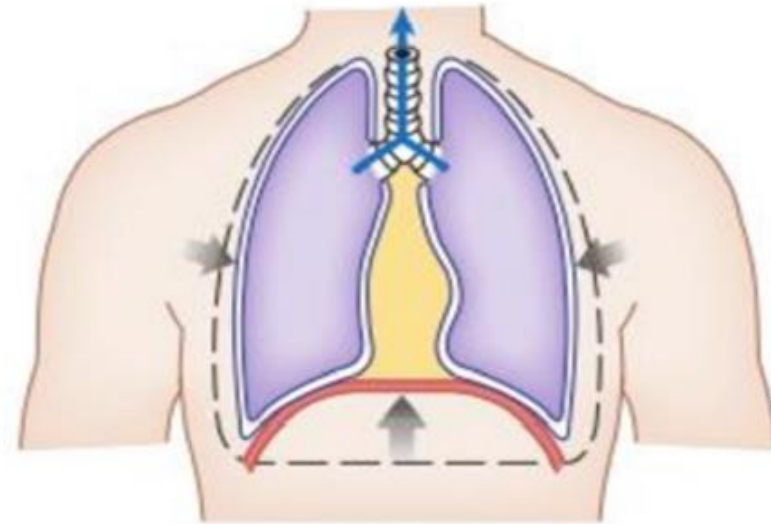
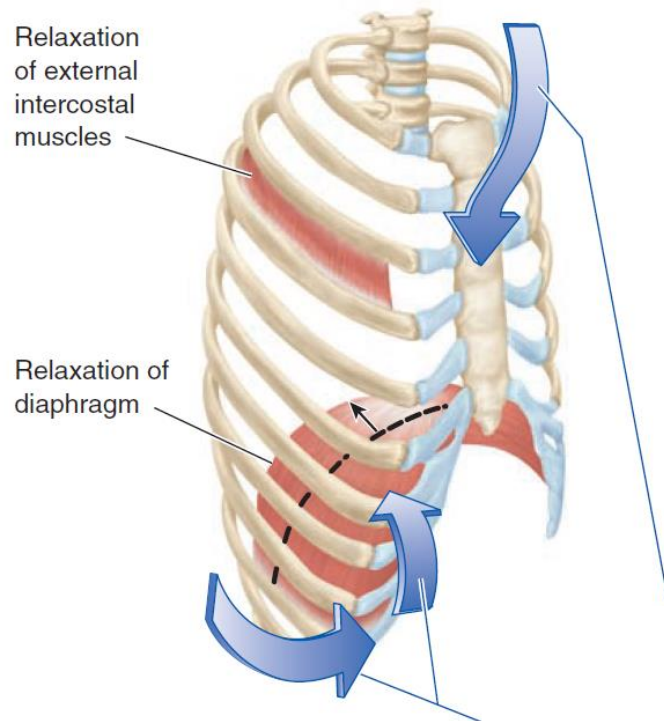


**Widok z przodu:**

Ruch „uchwytu wiadra” zwiększa boczny wymiar klatki piersiowej. Uchwyt wiadra, poruszający się do góry i na zewnątrz, jest dobrym modelem bocznego ruchu żebrow w trakcie wdechu.



# WYDECH – ROZKURCZ MIĘŚNI WDECHOWYCH



**Rozkurcz przepony  
i mięśni międzyżebrowych zewnętrznych**

# MIĘŚNIE DODATKOWE – ODDYCHANIE WYSIŁKOWE

oddychanie  
spoczynkowe



mięśnie wdechowe

mięśnie wydechowe

mostkowo-obojczykowy  
sutkowy

pochyłe

międzyżebrowe  
zewnętrzne

przepona

poprzeczny brzucha

międzyżebrowe  
wewnętrzne

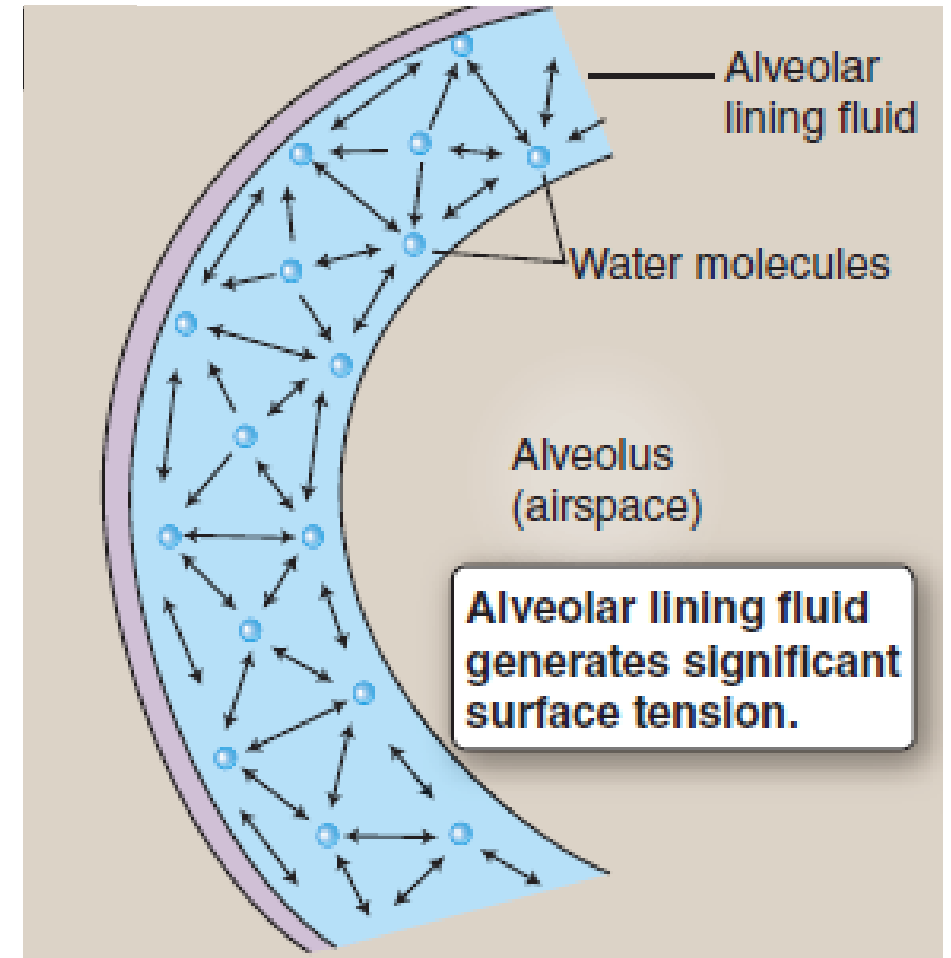
skośny brzucha  
zewnętrzny

skośny brzucha  
wewnętrzny

prosty brzucha

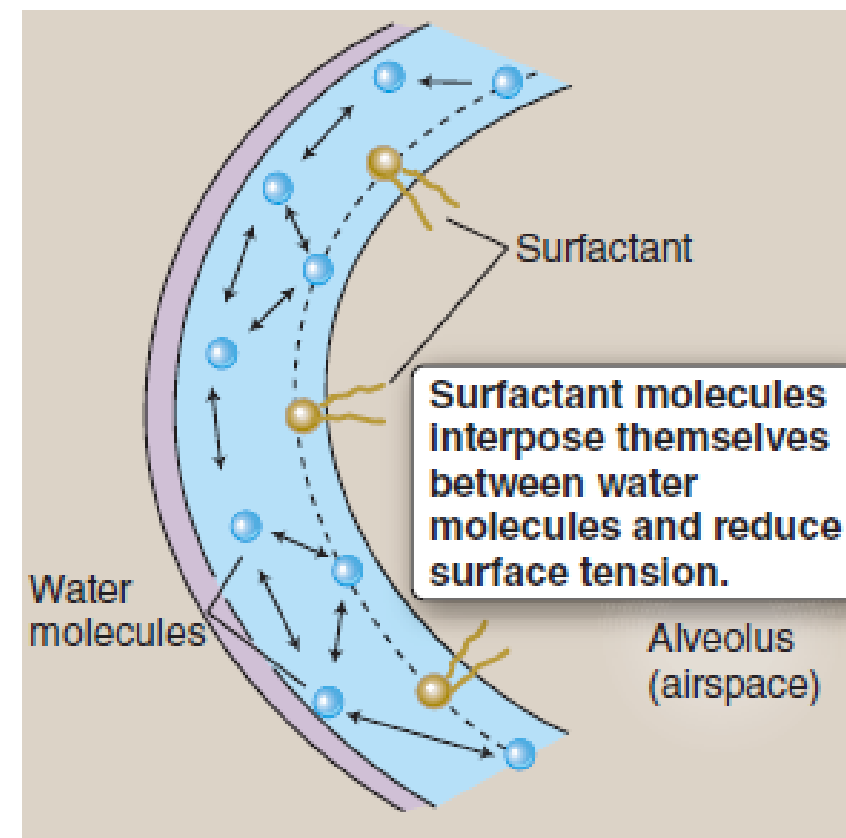
# NAPIĘCIE POWIERZCHNIOWE

- 🦷 przeciwstawia się rozciąganiu pęcherzyków płucnych
- 🦷 dąży do minimalizowania powierzchni styku z powietrzem (tj. zmniejszania rozmiaru pęcherzyka płucnego)



# ZNACZENIE SURFAKTANTU

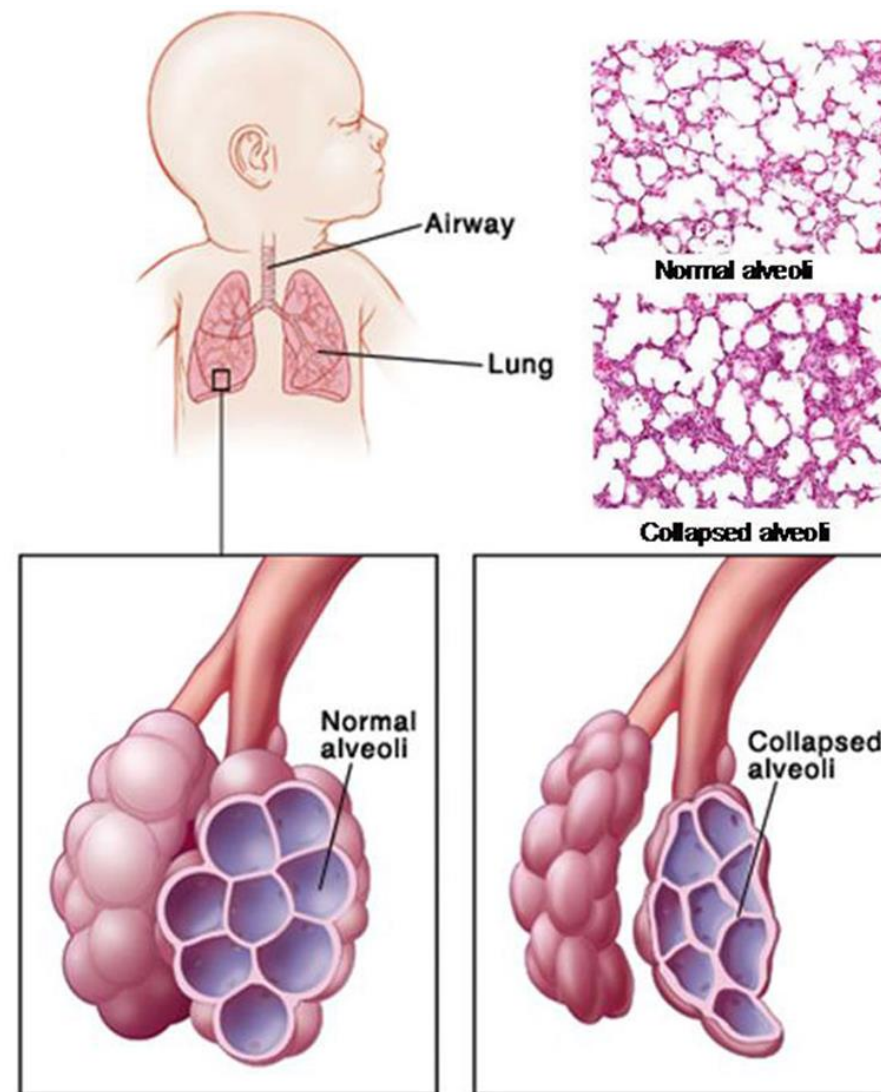
- 🐾 zmniejsza napięcie powierzchniowe – działa jak detergent
- 🐾 wydzielany przez **pneumocyty typu II**
- 🐾 mieszanina **lipidów** (~90%) i **białek**
- 🐾 zwiększa **podatność płuc** – sprawia, że płuca łatwiej się rozciągają podczas wdechu
- 🐾 stabilizuje rozmiary pęcherzyków, **zapobiega** ich **zapadaniu** umożliwiając wymianę gazową



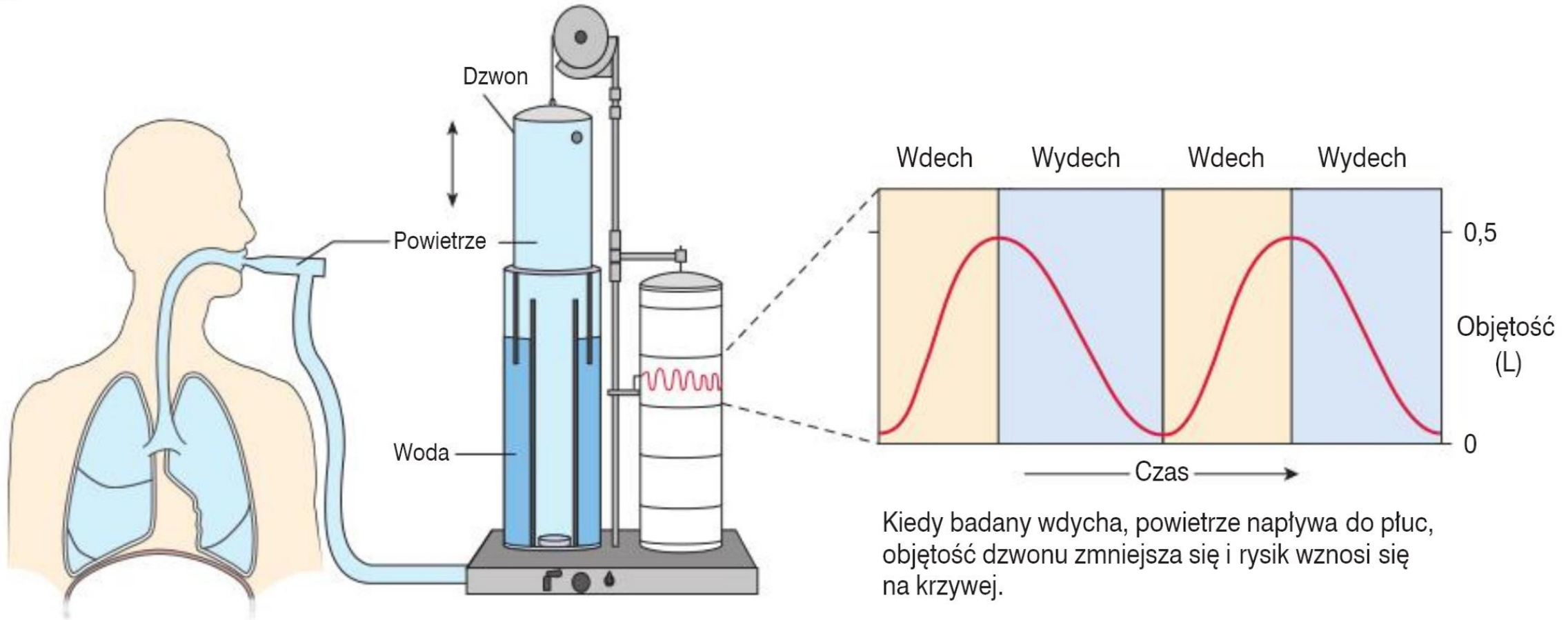


# NIEDOBÓR SURFAKTANTU

- 🦷 surfaktant zaczyna być syntetyzowany po **28 tygodniu życia płodowego**
- 🦷 noworodki urodzone przed 36 tygodniem ciąży mogą nie produkować wystarczającej ilości surfaktantu
- 🦷 skutkiem są zaburzenia oddychania:
  - 🦷 utrudniony pierwszy samodzielny oddech
  - 🦷 problemy z kontynuacją czynności oddechowych (zapadanie się pęcherzyków płucnych po każdym wydechu)

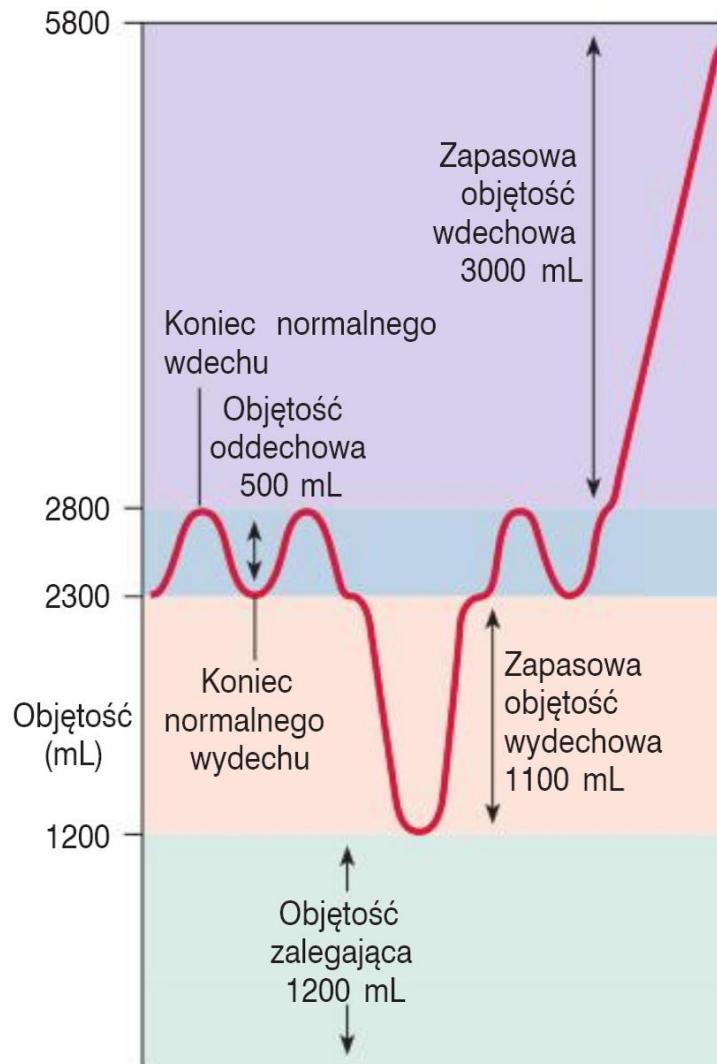


# POJEMNOŚCI I OBJĘTOŚCI PŁUC - SPIROMETRIA



# POJEMNOŚCI PŁUC

## SPIROGRAM



Zapasowa objętość wdechowa (IRV) – maksymalna ilość powietrza którą możemy wprowadzić do układu oddechowego po wykonaniu spokojnego wdechu (**~3000 ml**)

Objętość oddechowa (TV) – objętość powietrza wprowadzana lub usuwana z układu oddechowego podczas spokojnego oddychania (**~500 ml**)

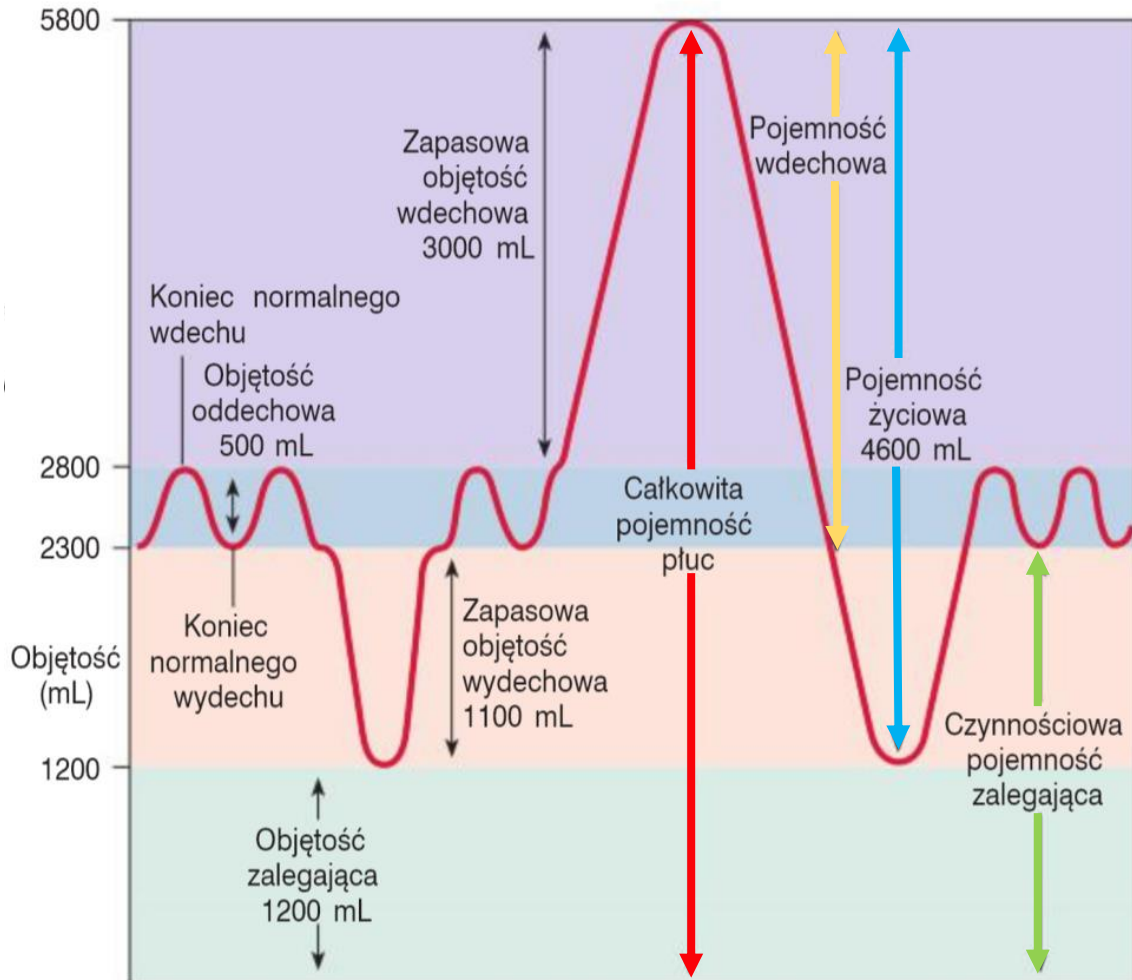
Zapasowa objętość wydechowa (ERV) – dodatkowa objętość powietrza która może być w sposób aktywny usunięta z układu oddechowego, po zakończeniu normalnego wydechu (**~1100 ml**)

Objętość zalegająca (RV)\* – objętość powietrza pozostająca w płucach nawet po wykonaniu maksymalnego wydechu (**~1200 ml**)

\*nie da się jej oznaczyć przy użyciu spirometeru

# OBJĘTOŚCI PŁUC

SPIROGRAM



Pojemność wdechowa (IC) – maksymalna ilość powietrza która może być wprowadzona do układu oddechowego po zakończeniu spokojnego wydechu ( $IC = IRV + TV$ ; ~3500 ml)

Czynnościowa pojemność zalegająca (FRC) – ilość powietrza która pozostaje w płucach po zakończeniu spokojnego wydechu ( $FRC = ERV + RV$ ; ~2300ml)

Pojemność życiowa (VC) – maksymalna ilość powietrza która może być usunięta z układu oddechowego z poziomu maksymalnego wdechu ( $VC = IRV + TV + ERV$ ; ~4600 ml)

Pojemność życiowa (TLC) – maksymalna ilość powietrza w płucach ( $TLC = VC + RV$ ; ~5800 ml)

# WENTYLACJA PŁUC

## Całkowita wentylacja płuc:

Całkowita wentylacja płuc = częstość oddechów  $\times$  objętość oddechowa ( $V_T$ )

Na przykład: 12 oddechów/min  $\times$  500 mL wdech = 6000 mL/min

## Wentylacja pęcherzykowa:

Wentylacja pęcherzykowa = częstość oddechów  $\times$   
 $\times$  (objętość oddechowa  $V_T$  – objętość przestrzeni martwej  $V_D$ )

Jeśli przestrzeń martwa wynosi 150 mL:

12 oddechów/min  $\times$  (500 – 150 mL) = 4200 mL/min

| Objętość oddechowa (ml) | Częstość oddychania (oddechy/min) | Przestrzeń martwa (ml) | Całkowita wentylacja płuc | Wentylacja pęcherzykowa |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 500                     | 12                                | 150                    |                           |                         |
| 1200                    | 5                                 | 150                    |                           |                         |
| 150                     | 40                                | 150                    |                           |                         |

# WENTYLACJA PŁUC

## Całkowita wentylacja płuc:

Całkowita wentylacja płuc = częstość oddechów  $\times$  objętość oddechowa ( $V_T$ )

Na przykład: 12 oddechów/min  $\times$  500 mL wdech = 6000 mL/min

## Wentylacja pęcherzykowa:

Wentylacja pęcherzykowa = częstość oddechów  $\times$   
 $\times$  (objętość oddechowa  $V_T$  – objętość przestrzeni martwej  $V_D$ )

Jeśli przestrzeń martwa wynosi 150 mL:

12 oddechów/min  $\times$  (500 – 150 mL) = 4200 mL/min

| Objętość oddechowa (ml) | Częstość oddychania (oddechy/min) | Przestrzeń martwa (ml) | Całkowita wentylacja płuc | Wentylacja pęcherzykowa |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 500                     | 12                                | 150                    | 6000                      | 4200                    |
| 1200                    | 5                                 | 150                    |                           |                         |
| 150                     | 40                                | 150                    |                           |                         |

# WENTYLACJA PŁUC

## Całkowita wentylacja płuc:

Całkowita wentylacja płuc = częstość oddechów  $\times$  objętość oddechowa ( $V_T$ )

Na przykład: 12 oddechów/min  $\times$  500 mL wdech = 6000 mL/min

## Wentylacja pęcherzykowa:

Wentylacja pęcherzykowa = częstość oddechów  $\times$   
 $\times$  (objętość oddechowa  $V_T$  – objętość przestrzeni martwej  $V_D$ )

Jeśli przestrzeń martwa wynosi 150 mL:

12 oddechów/min  $\times$  (500 – 150 mL) = 4200 mL/min

| Objętość oddechowa (ml) | Częstość oddychania (oddechy/min) | Przestrzeń martwa (ml) | Całkowita wentylacja płuc | Wentylacja pęcherzykowa |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 500                     | 12                                | 150                    | 6000                      | 4200                    |
| 1200                    | 5                                 | 150                    | 6000                      | 5250                    |
| 150                     | 40                                | 150                    |                           |                         |

# WENTYLACJA PŁUC

## Całkowita wentylacja płuc:

Całkowita wentylacja płuc = częstość oddechów  $\times$  objętość oddechowa ( $V_T$ )

Na przykład: 12 oddechów/min  $\times$  500 mL wdech = 6000 mL/min

## Wentylacja pęcherzykowa:

Wentylacja pęcherzykowa = częstość oddechów  $\times$   
 $\times$  (objętość oddechowa  $V_T$  – objętość przestrzeni martwej  $V_D$ )

Jeśli przestrzeń martwa wynosi 150 mL:

12 oddechów/min  $\times$  (500 – 150 mL) = 4200 mL/min

| Objętość oddechowa (ml) | Częstość oddychania (oddechy/min) | Przestrzeń martwa (ml) | Całkowita wentylacja płuc | Wentylacja pęcherzykowa |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 500                     | 12                                | 150                    | 6000                      | 4200                    |
| 1200                    | 5                                 | 150                    | 6000                      | 5250                    |
| 150                     | 40                                | 150                    | 6000                      | 0                       |

# WYMIANA GAZOWA

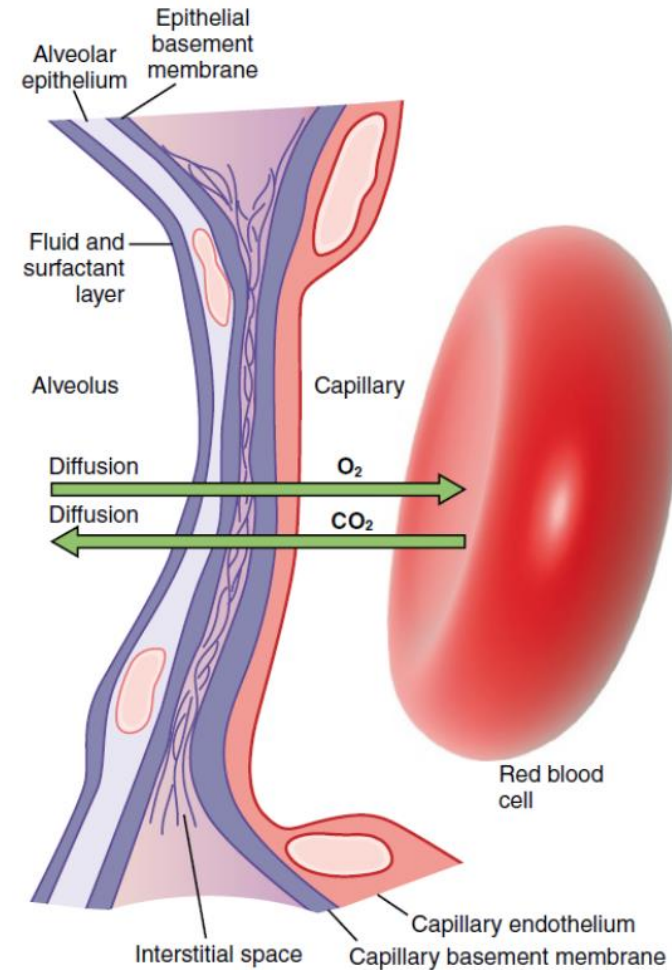
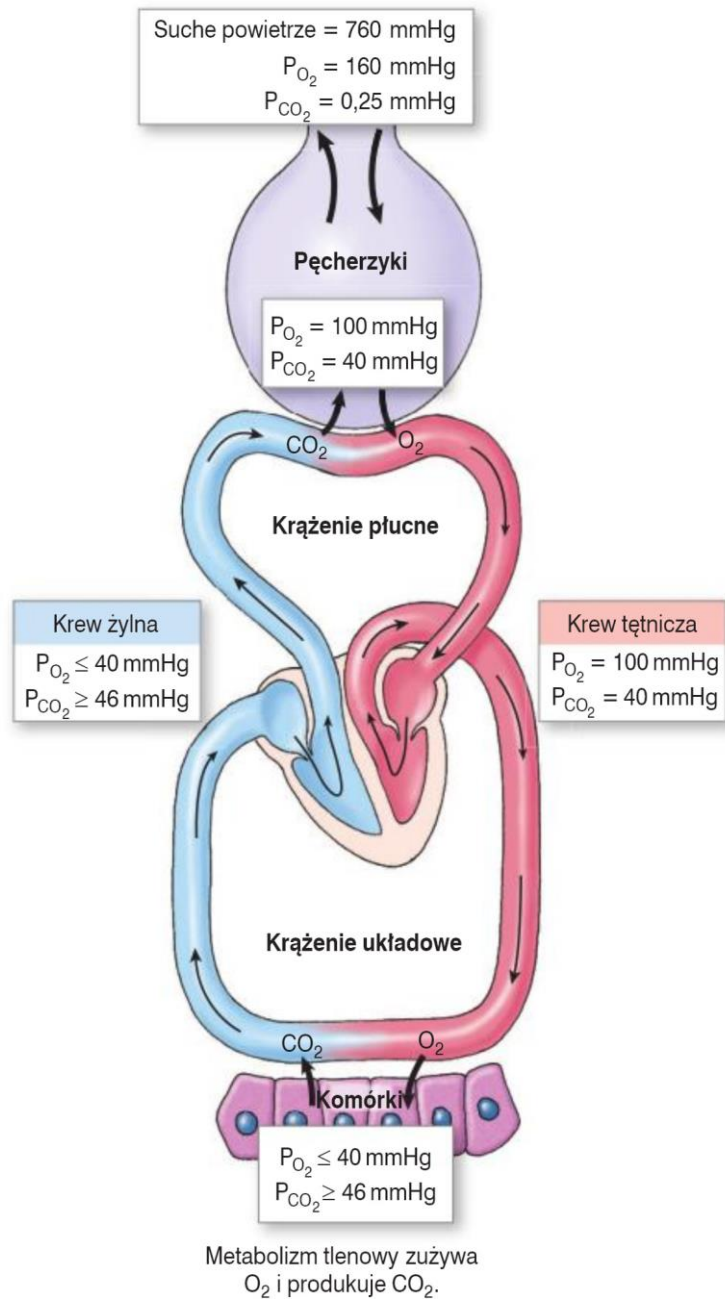
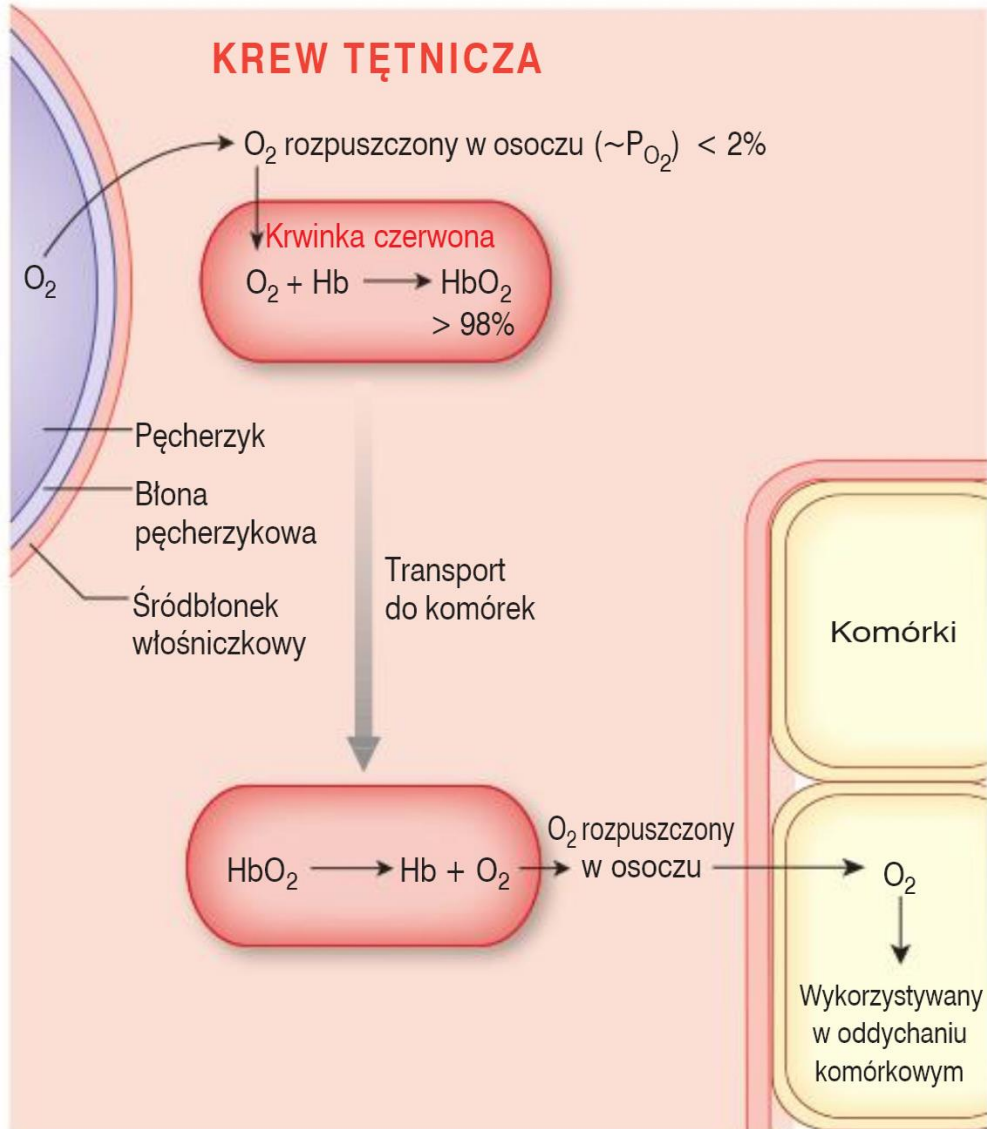
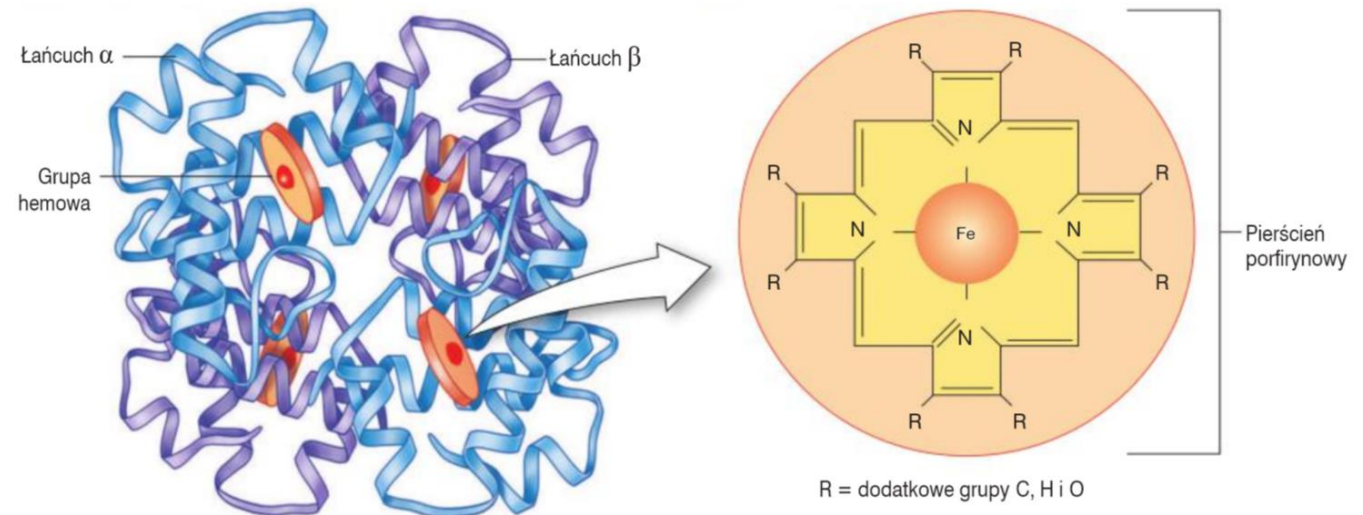


Figure 39-9 Ultrastructure of the alveolar respiratory membrane, shown in cross section.

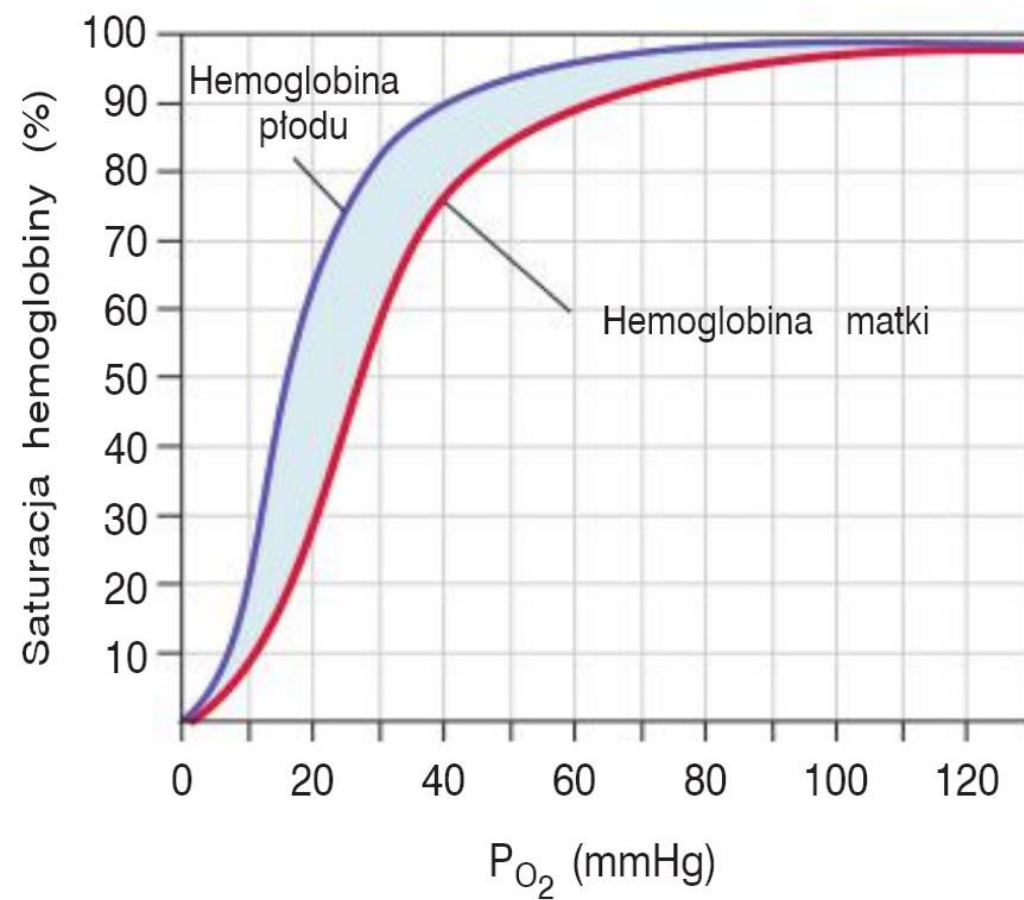
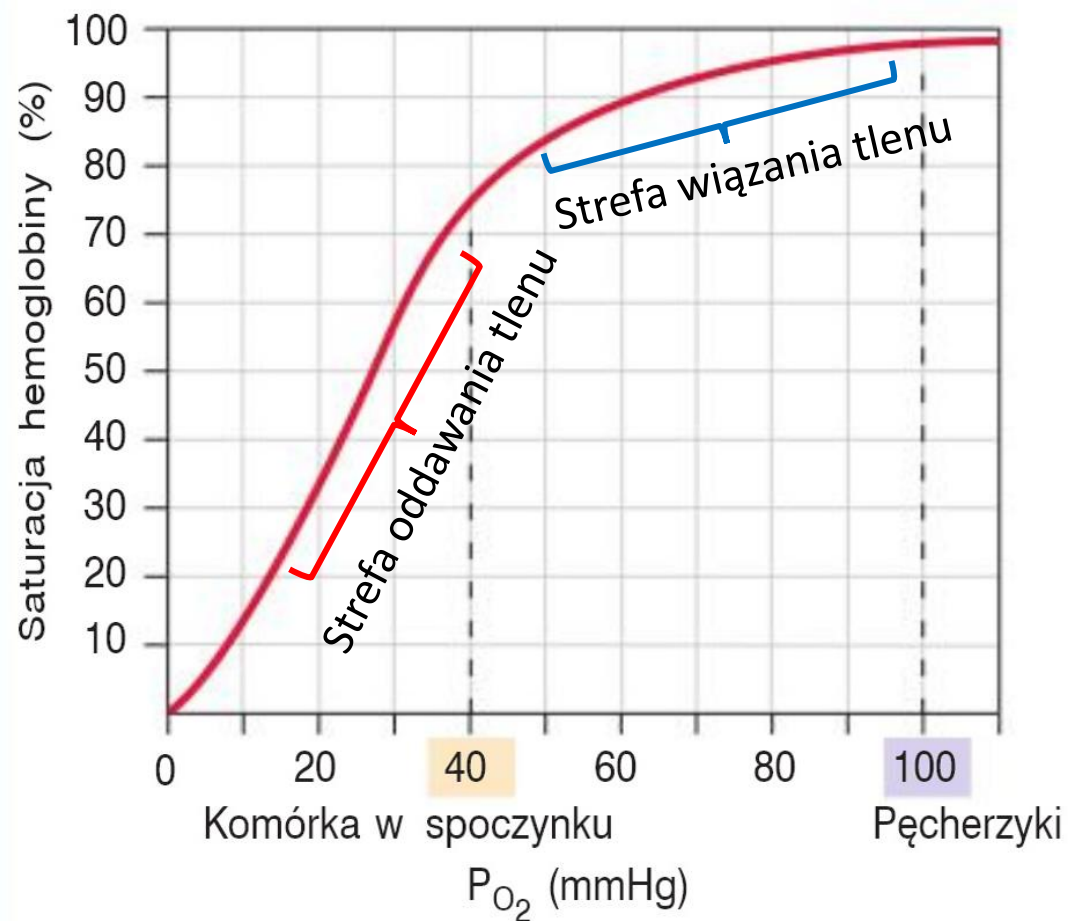
# TRANSPORT TLENU



- 🦋 98% tlenu jest transportowane przez hemoglobinę
- 🦋 2% jest transportowane w postaci rozpuszczonej W OSOCZU

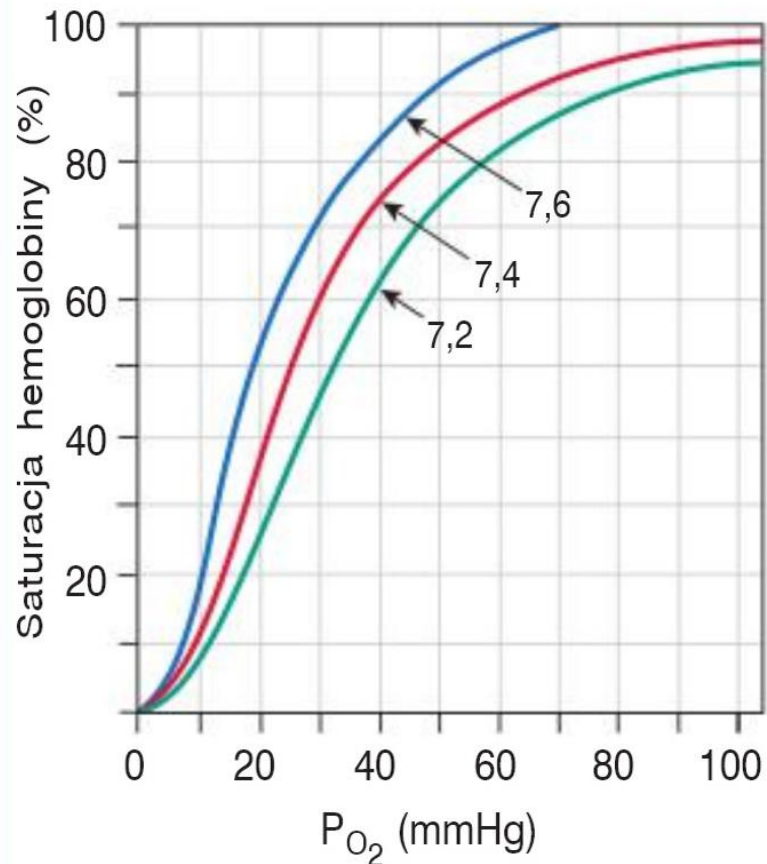


# KRZYWA DYSOCJACJI OKSYHEMOGLOBINY

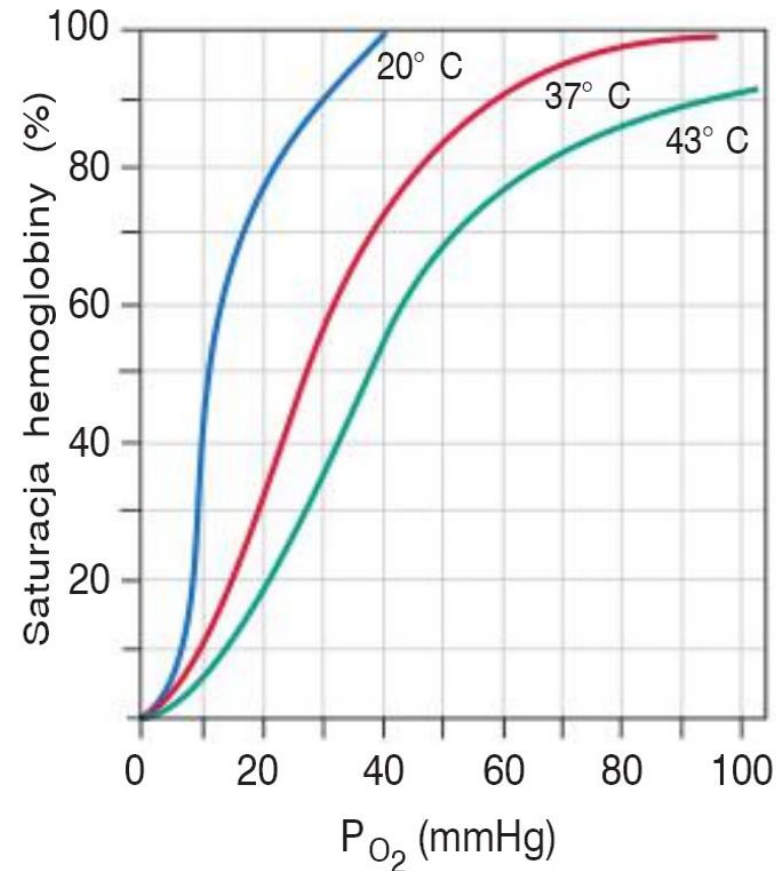


# POWINOWACTWO HEMOGLOBINY DO O<sub>2</sub>

(c) Wpływ pH

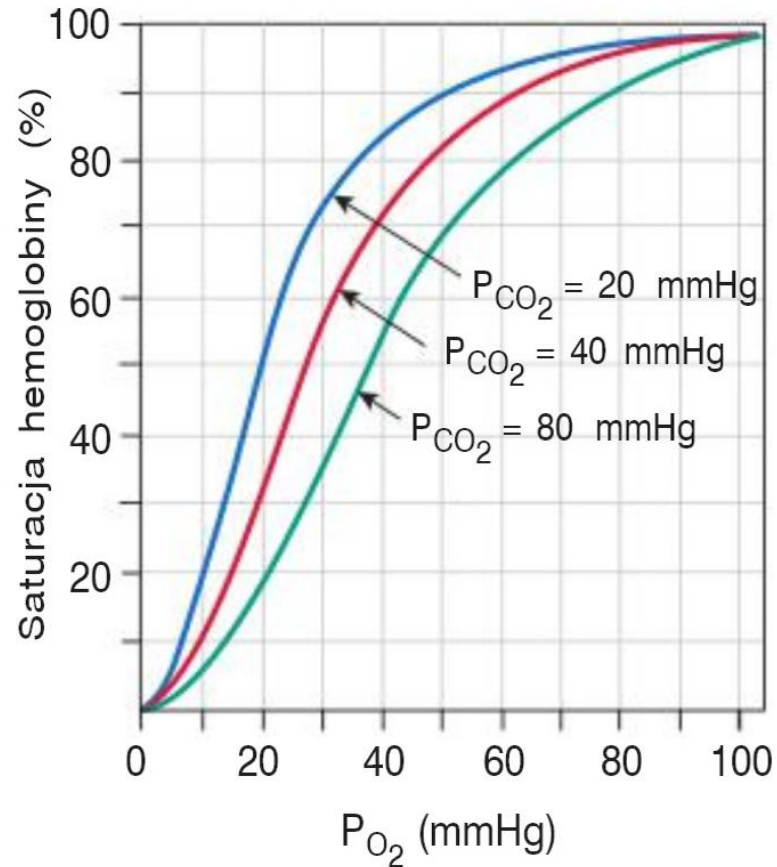


(d) Wpływ temperatury

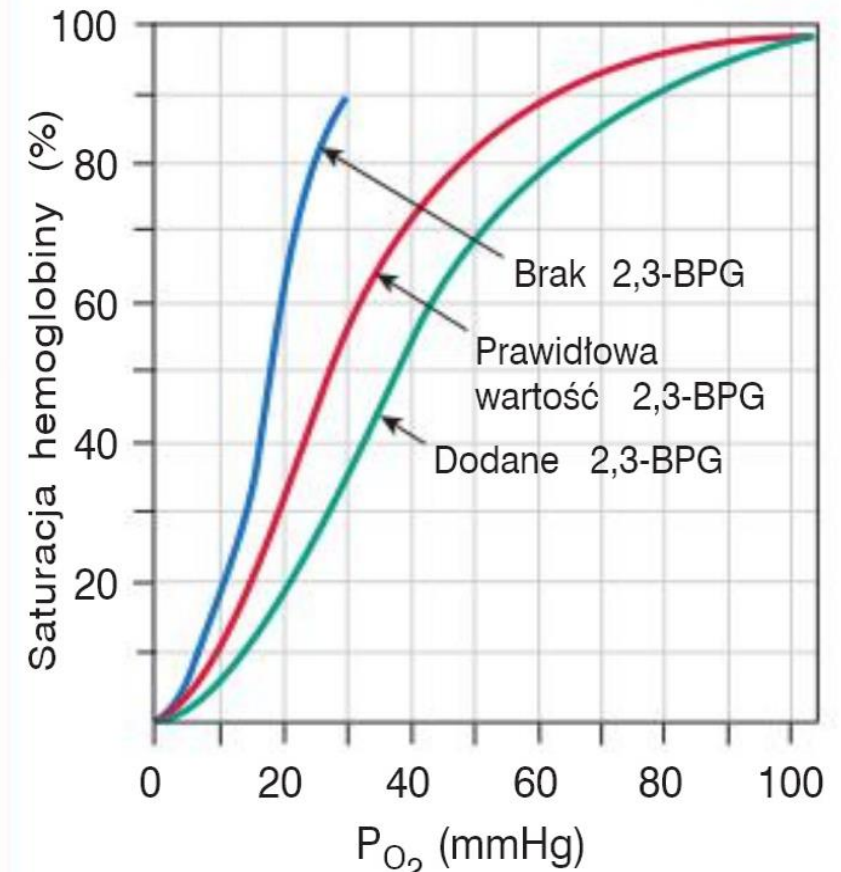


# POWINOWACTWO HEMOGLOBINY DO O<sub>2</sub>

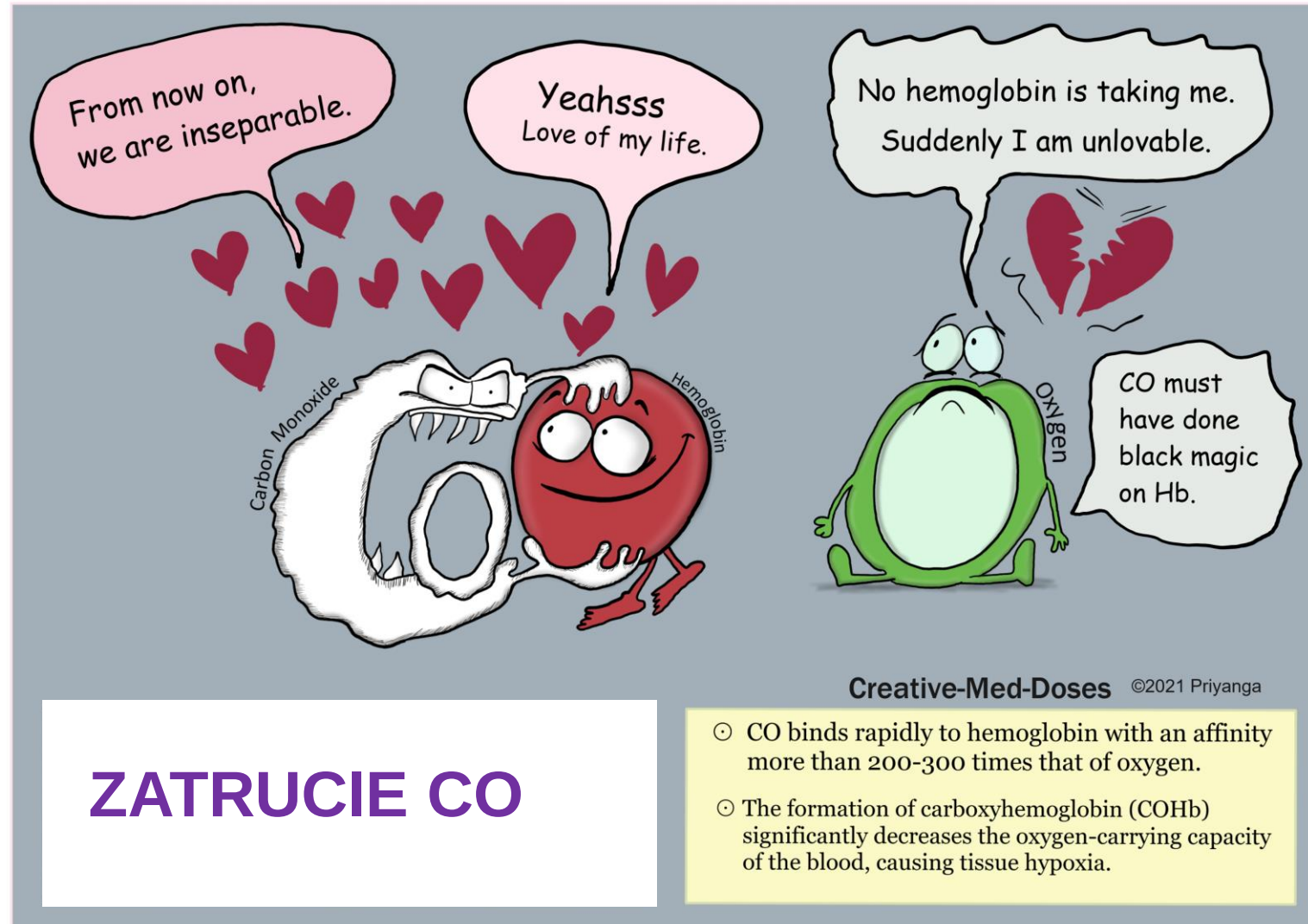
(e) Wpływ  $P_{CO_2}$



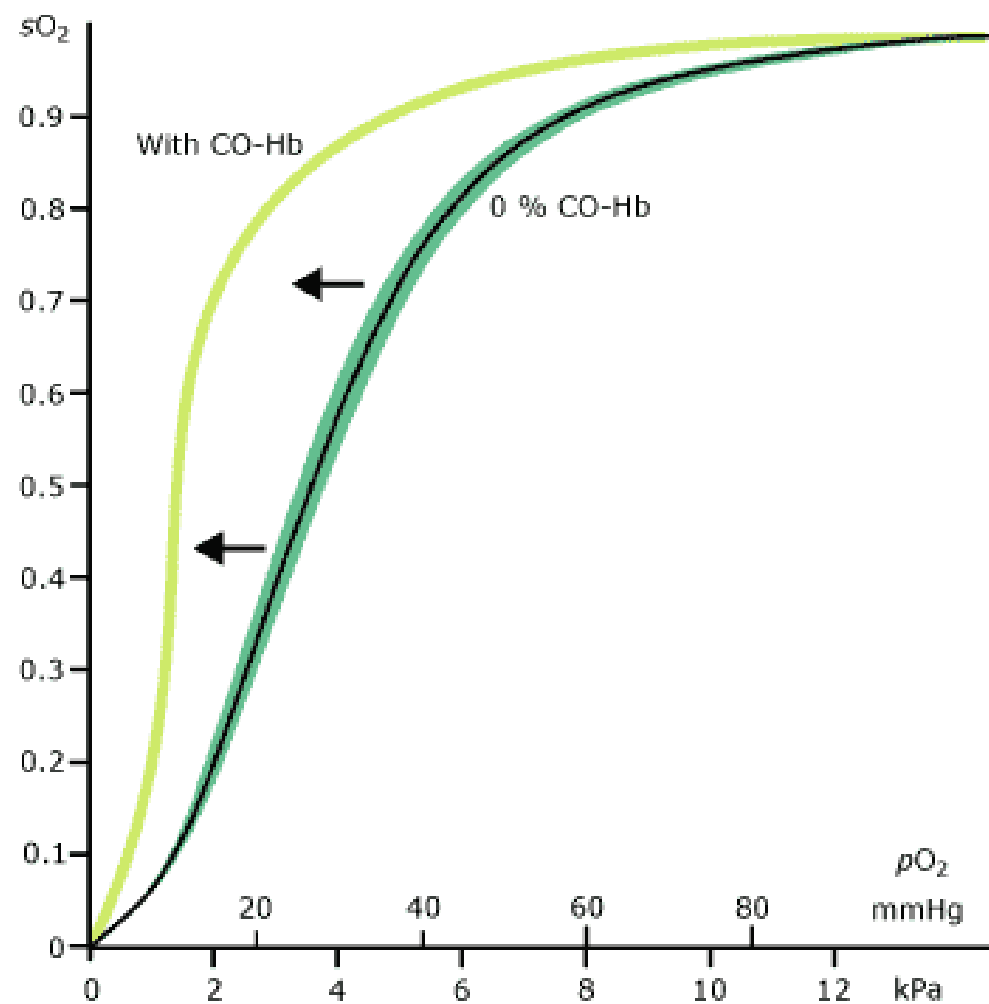
(f) Wpływ metabolitu 2,3-BPG



# POWINOWACTWO HEMOGLOBIN DO CO



# POWINOWACTWO HEMOGLOBINY DO CO

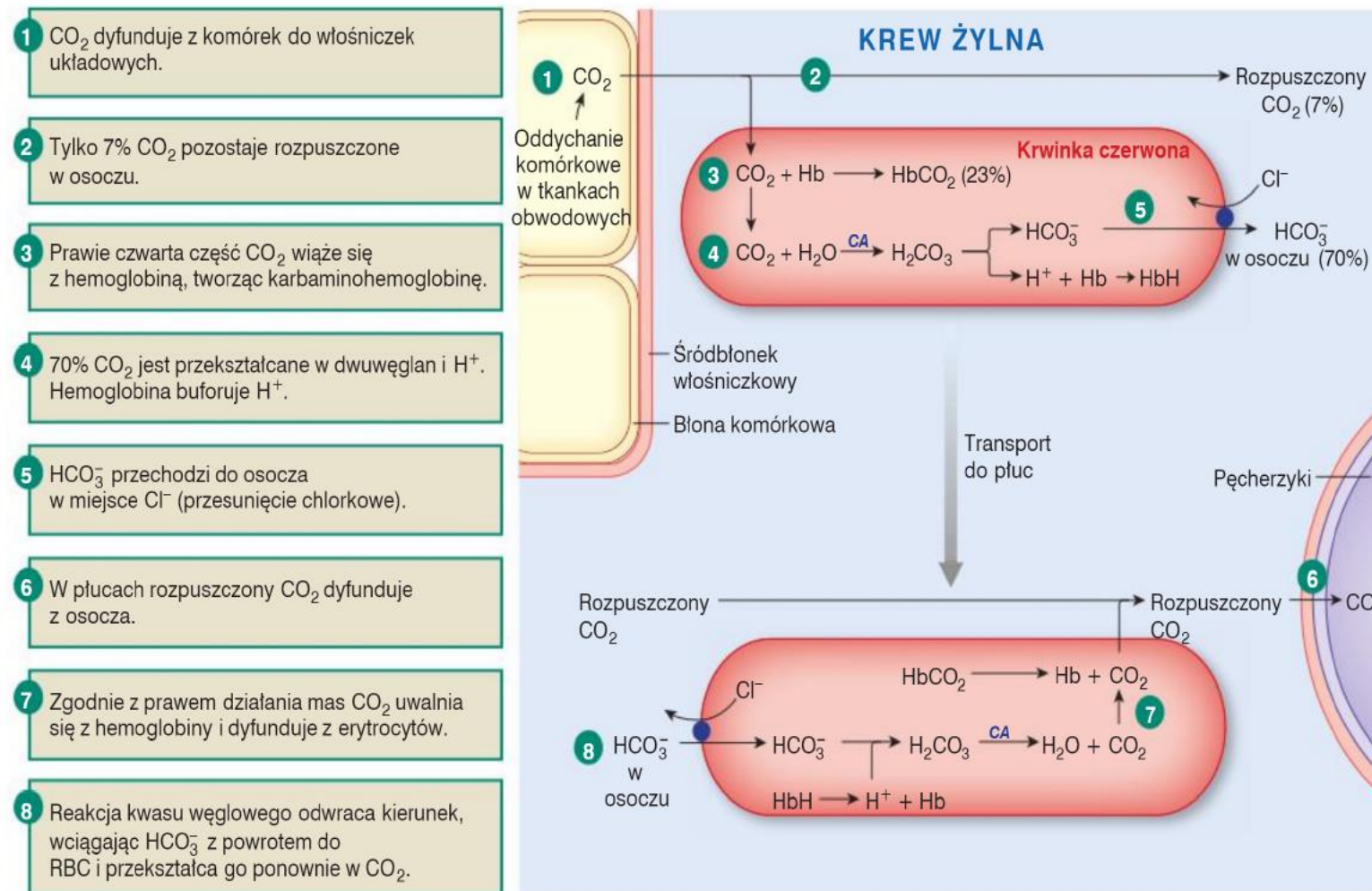


# TRANSPORT DWUTLENKU WĘGLA

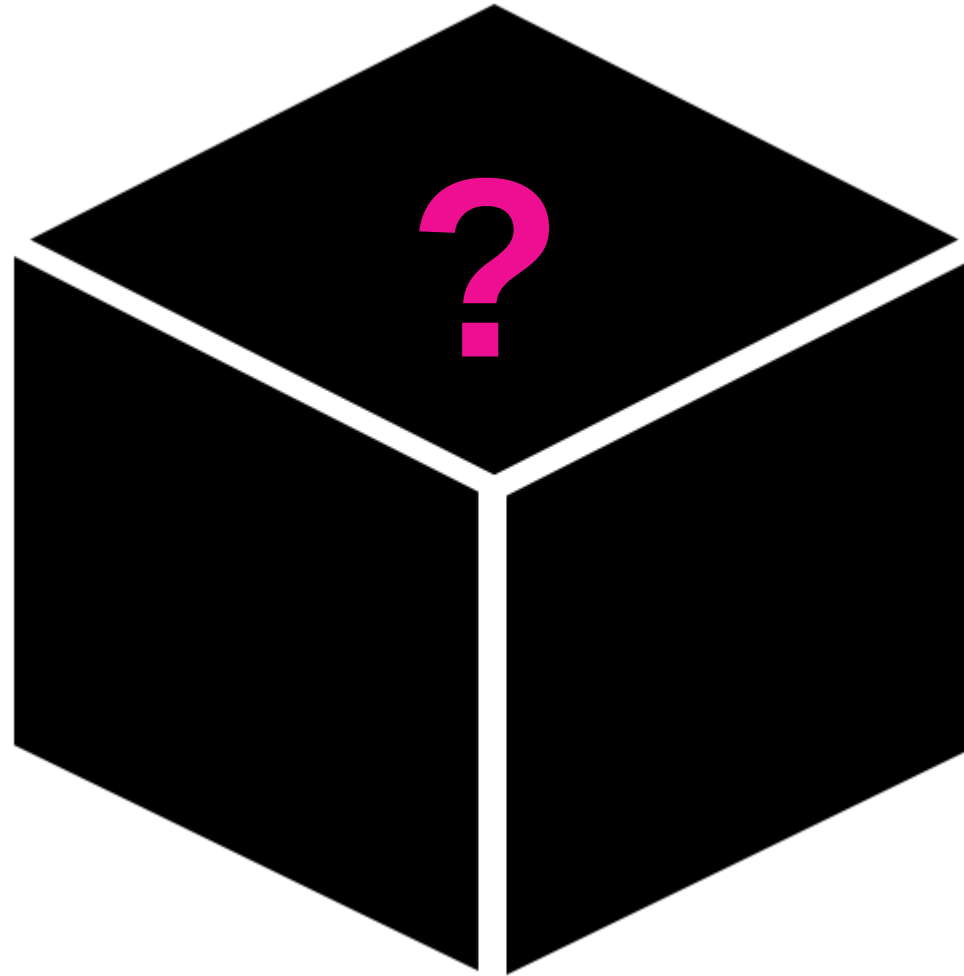
Większość  $\text{CO}_2$  we krwi jest przekształcana w  $\text{HCO}_3^-$ .

**KLUCZ**

CA = anhydraza węglanowa



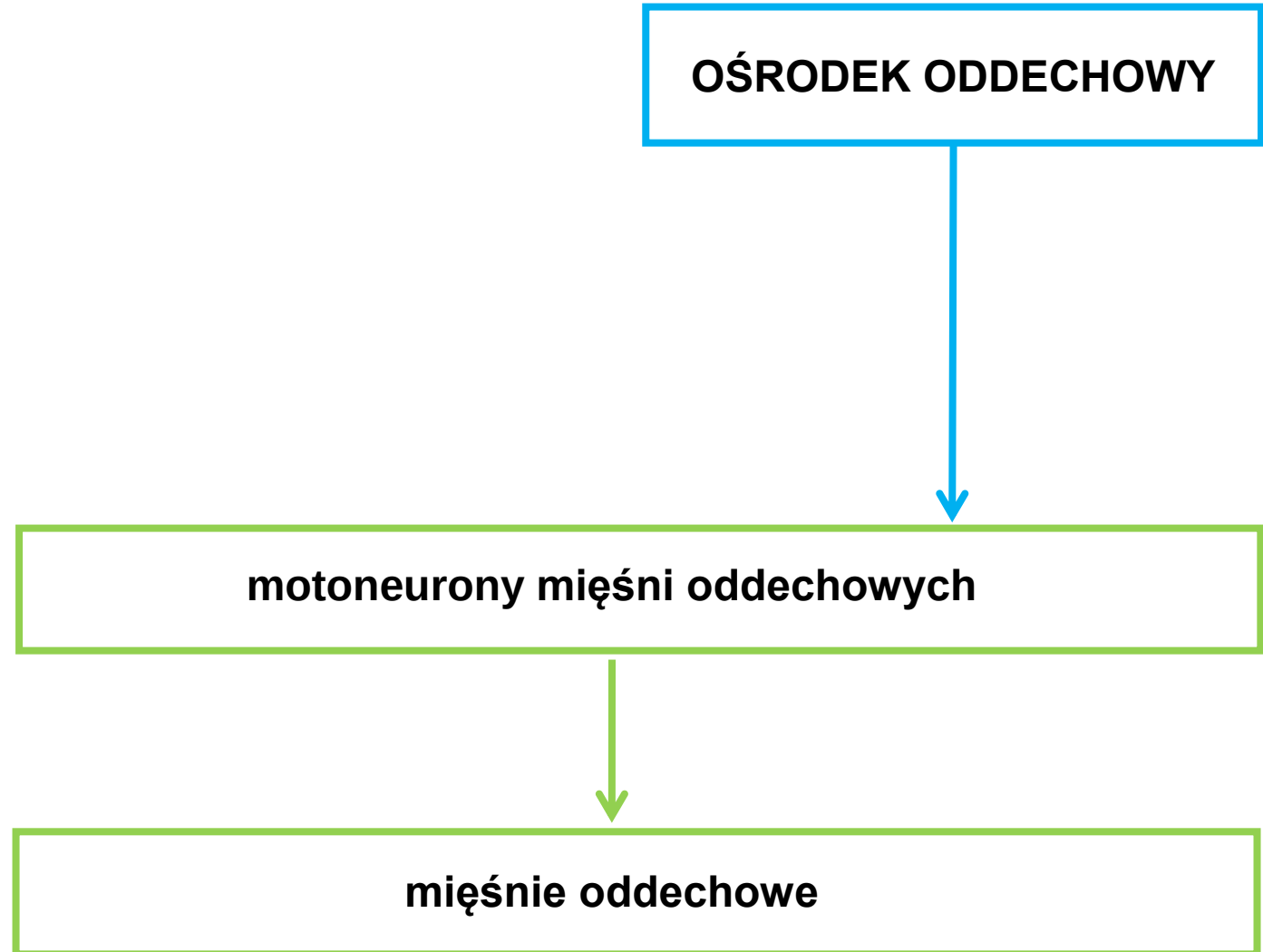
# REGULACJA ODDYCHANIA



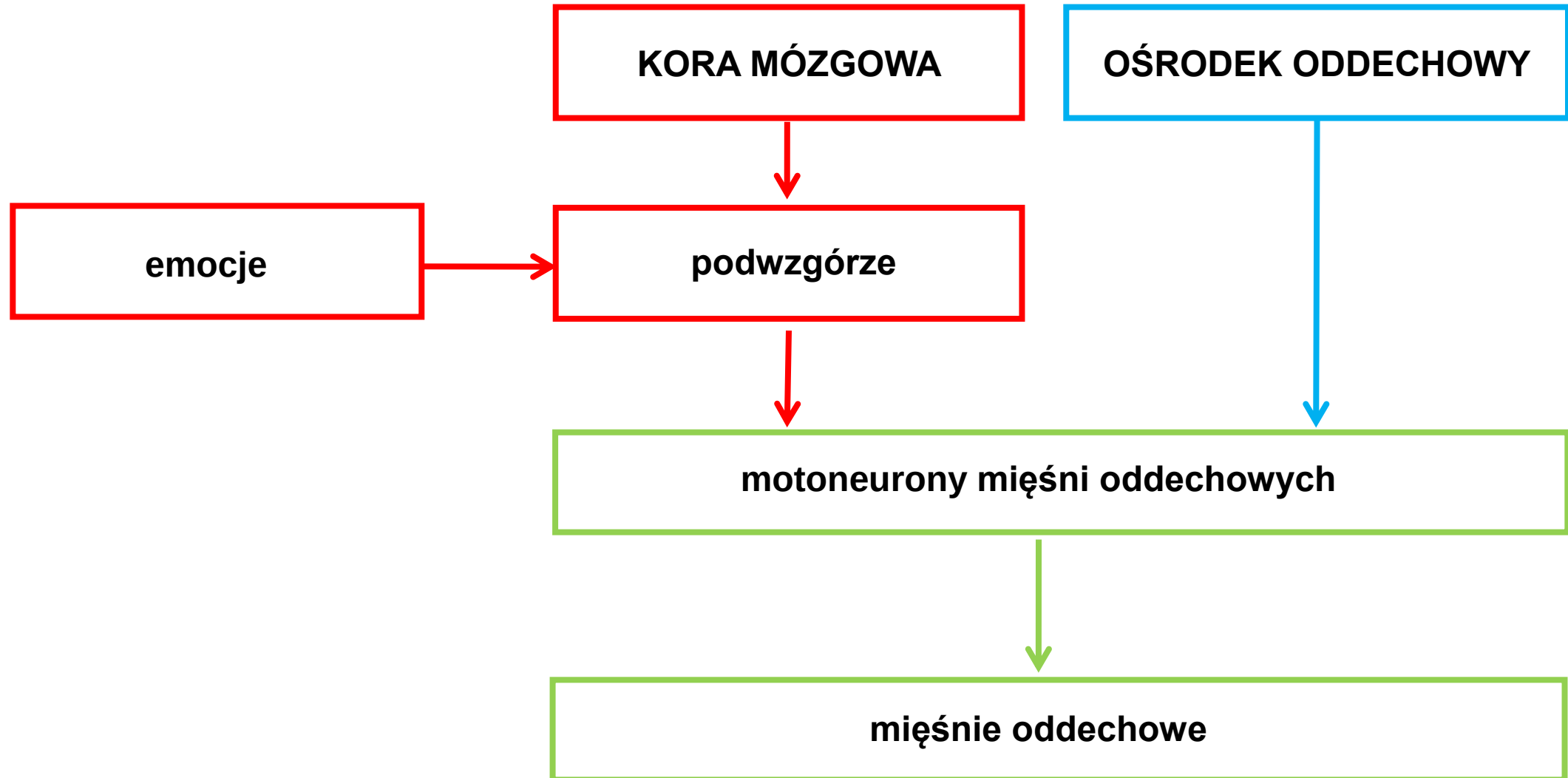
# KONTROLA ODDYCHANIA VS. KONTROLA PRACY SERCA

|                           | Oddychanie | Akcja serca                                    |
|---------------------------|------------|------------------------------------------------|
| <b>Źródło rytmu pracy</b> | mózg       | serce                                          |
| <b>Unerwienie</b>         | niezbędne  | jedynie modyfikuje siłę<br>i częstość skurczów |
| <b>Kontrola dowolna</b>   | TAK        | NIE                                            |

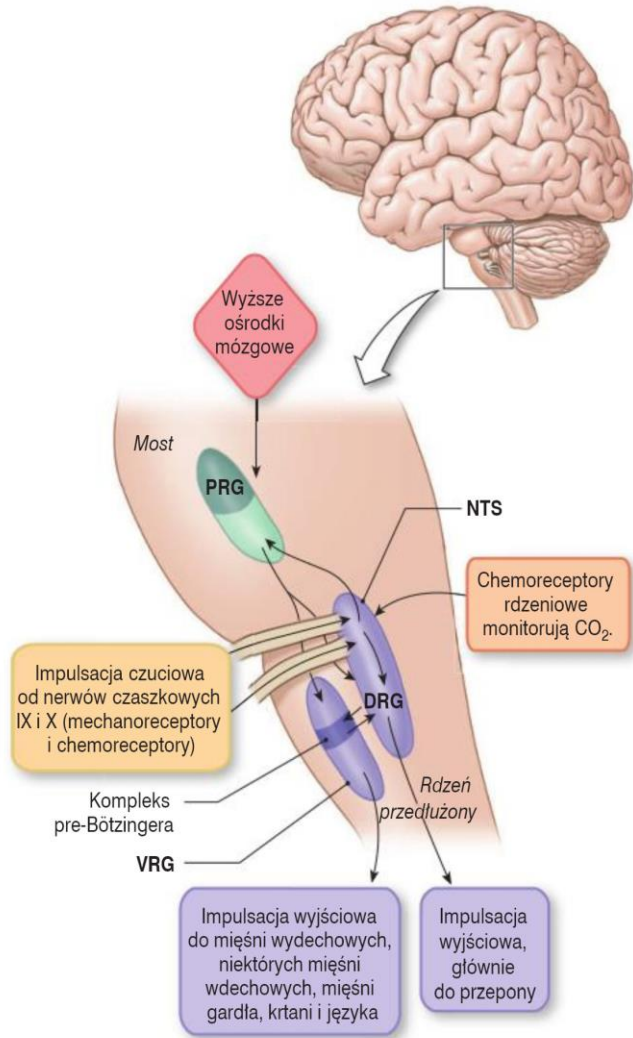
# KONTROLA ODDYCHANIA



# KONTROLA ODDYCHANIA



**RYC. 15.14** Sieci neuronalne w pniu mózgu kontrolujące wentylację



# OŚRODEK ODDECHOWY – KOMPLEKS ODDECHOWY PNIA MÓZGU

## RDZEŃ PRZEDŁUŻONY

- 🦷 **DRG** – grzbietowa grupa neuronów oddechowych rdzenia przedłużonego – **neurony wdechowe** – aktywne podczas wdechu
- 🦷 **VRG** – brzuszna grupa neuronów oddechowych rdzenia przedłużonego – **neurony wdechowe i wydechowe** – aktywne podczas wysiłku
- 🦷 **Kompleks pre-Bötzingera** – neurony rozrusznikowe

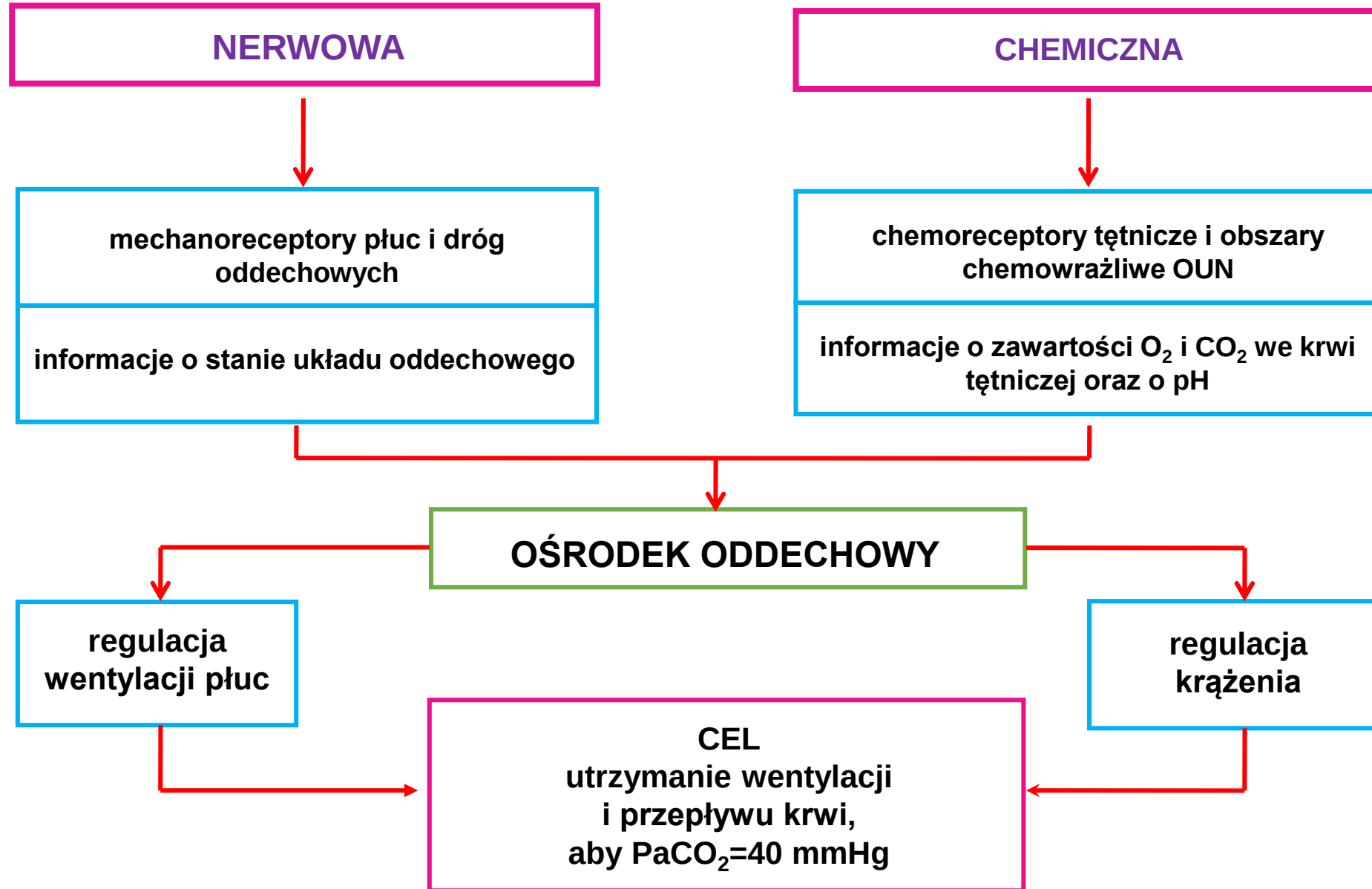
## MOST

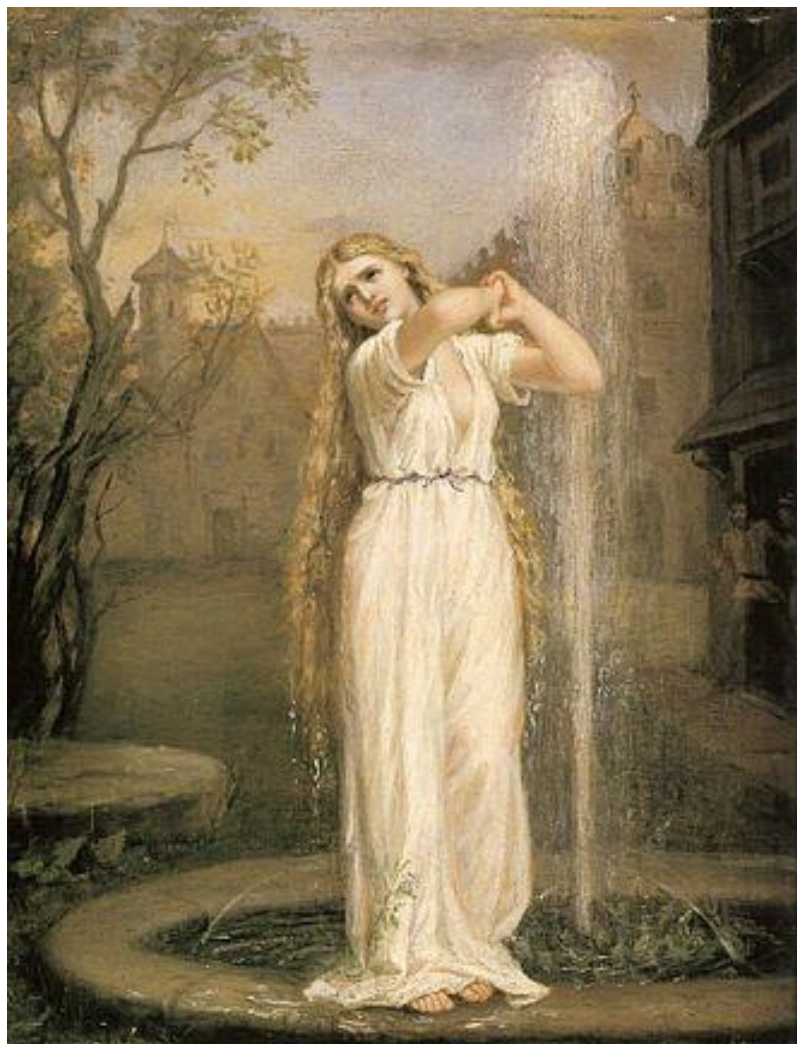
- 🦷 **PRG** – mostowe neurony oddechowe (2 grupy)
  - 🦷 **Ośrodek apneustyczny** – pobudzający wdech
  - 🦷 **Ośrodek pneumotaksyczny** – hamuje wdech

### KLUCZ

**PRG** = mostowe neurony oddechowe  
**VRG** = brzuszne neurony oddechowe  
**DRG** = grzbietowe neurony oddechowe  
**NTS** = jądro pasma samotnego

# REGULACJA ODDYCHANIA





# KLĄTWA ONDYNY