



**Konsultacje Fizjologia człowieka
25 maja 2023**

dr Ewa Żebrowska

ZAKŁAD FIZJOLOGII

**PUBLIKACJA DOFINANSOWANA ZE ŚRODKÓW BUDŻETU PAŃSTWA
W RAMACH PROGRAMU MINISTRA EDUKACJI I NAUKI
POD NAZWĄ BIOLOGIA I CHEMIA PO AKADEMICKU 2
NR PROJEKTU SONP/SP/548089/2022
KWOTA DOFINANSOWANIA
33 100 zł
CAŁKOWITA WARTOŚĆ PROJEKTU
37 100 zł**





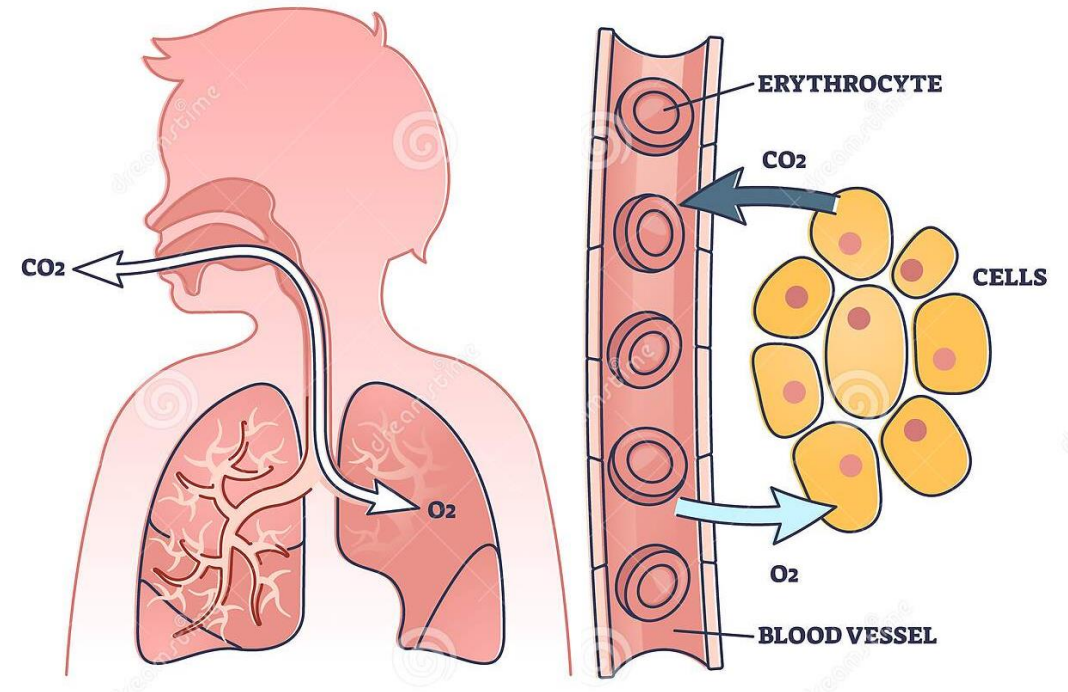
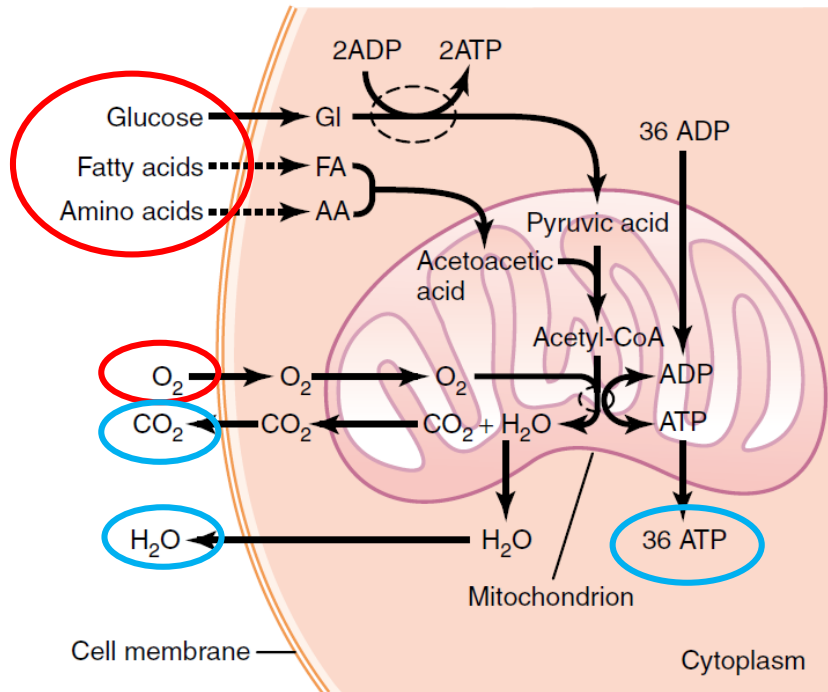
Anatomia i fizjologia układu oddechowego

FUNKCJE UKŁADU ODDECHOWEGO

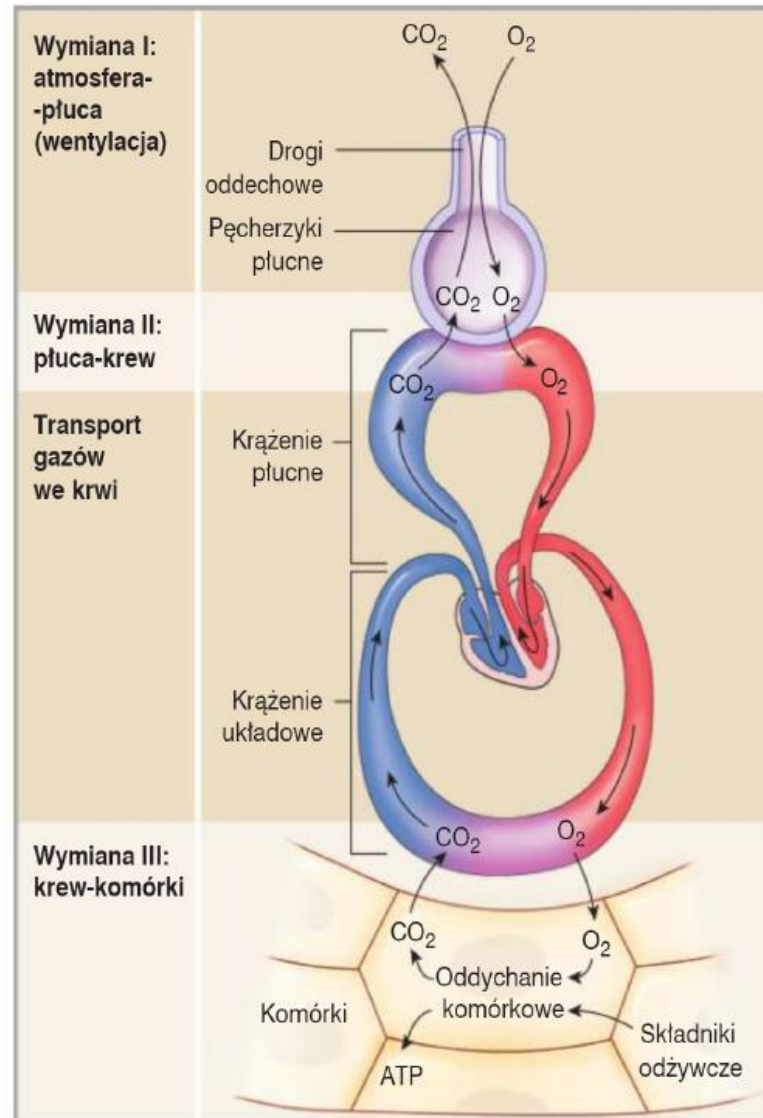
- 👁️ **podstawowa – dostarczanie tlenu i eliminacja dwutlenku węgla**
- 👁️ termoregulacja
- 👁️ usprawnia powrót żylny („pompa oddechowa”)
- 👁️ utrzymanie prawidłowej równowagi kwasowo-zasadowej
- 👁️ wokalizacja
- 👁️ funkcja ochronna
- 👁️ funkcja metaboliczna
- 👁️ nos służy jako narząd węchu



ODDYCHANIE KOMÓRKOWE VS. ODDYCHANIE ZEWNĘTRZNE



ETAPY ODDYCHANIA ZEWNĘTRZNEGO



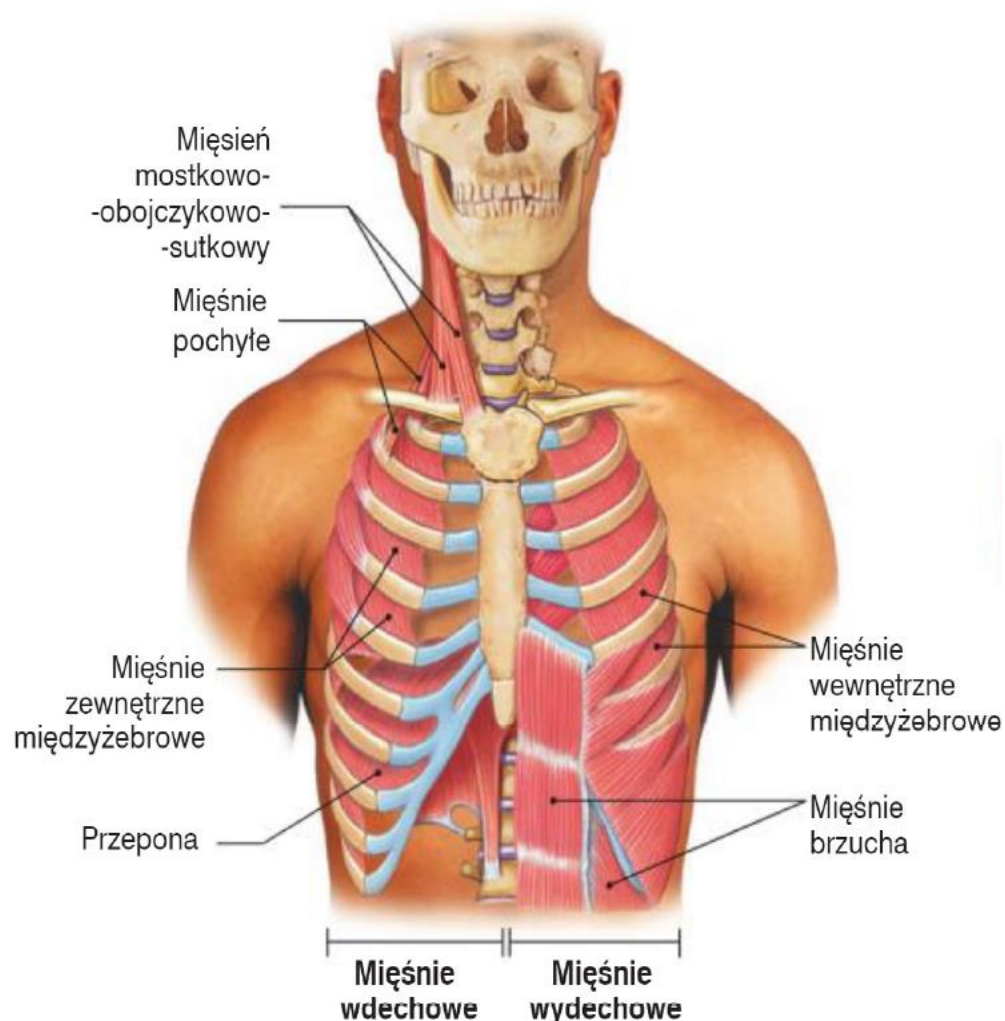
układ oddechowy

układ krążenia

ANATOMIA UKŁADU ODDECHOWEGO

Układ oddechowy tworzą:

- drogi oddechowe
- płuca
- mięśnie oddechowe klatki piersiowej

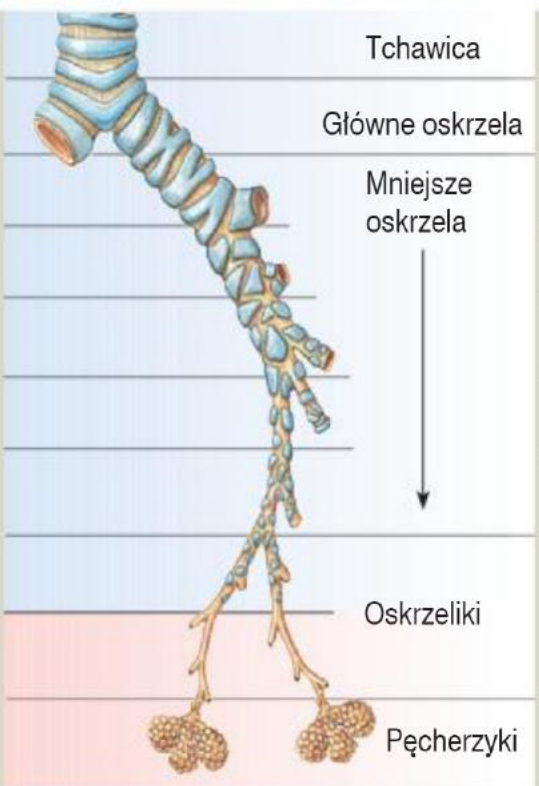


STRUKTURA DRÓG ODDECHOWYCH

Rozgałęzienia dróg oddechowych

Przewodzenie
powietrza
0-16
generacje

Wymiana
gazowa
17-23
generacje

Nazwa układu	Nazwa	Podział	Średnica (mm)	Ilość
	Tchawica	0	15-22	1
	Główne oskrzela	1	10-15	2
	Mniejsze oskrzela	2	1-10	4
		3		
		4		
		5		
6-11		1×10^4		
Oskrzeliki	12-23	0,5-1	2×10^4	
			8×10^7	
Pęcherzyki	24	0,3	$3-6 \times 10^8$	

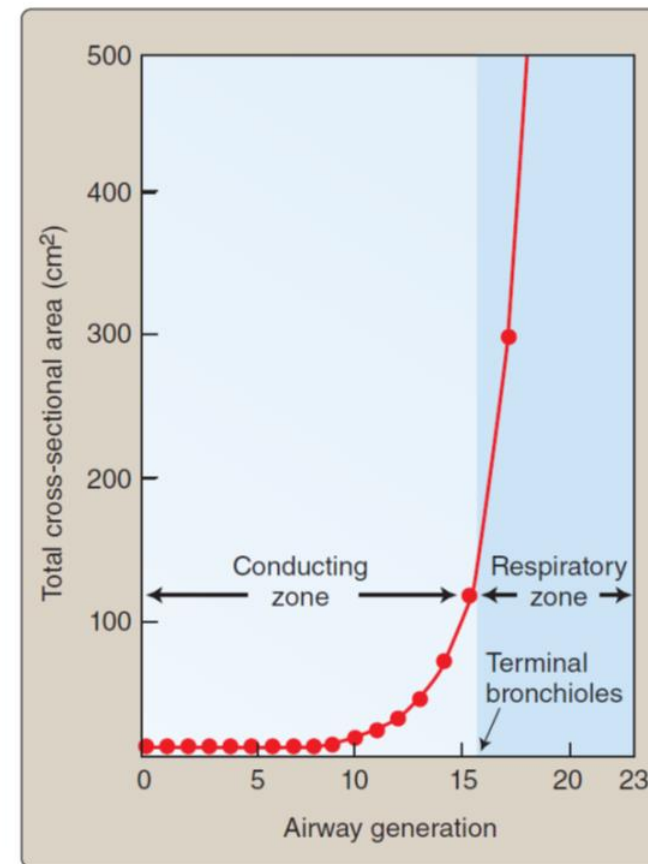


Figure 22.2
Amplification of lung surface area.

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

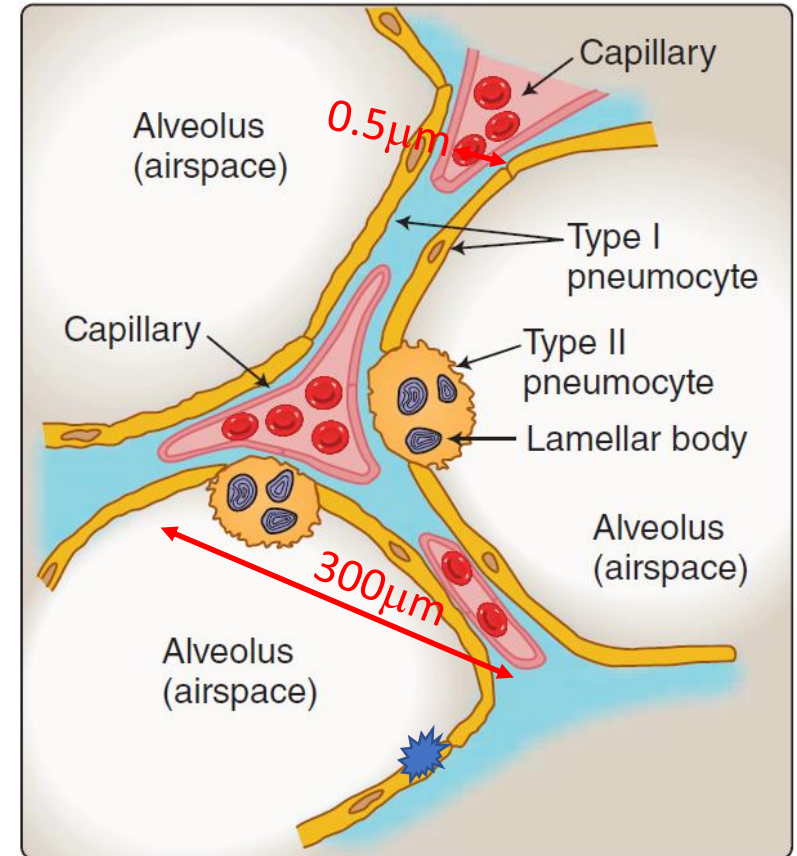


Figure 22.3
Alveolar wall structure.

JAMA OPŁUCNOWA

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

👉 **jama opłucnowa** = wewnątrz worka opłucnowego

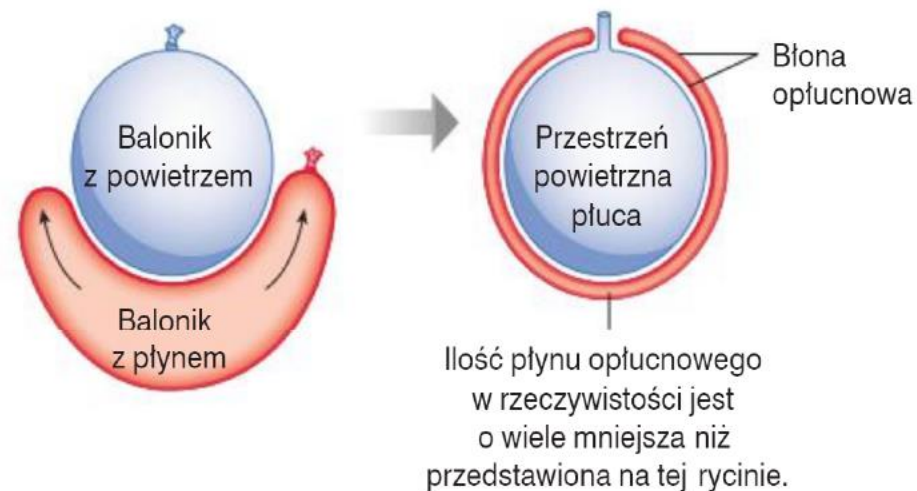
👉 opłucne wydzielają niewielką ilość **płynu śródopłucnowego** (~15 ml), który zwilża opłucne umożliwiając ich wzajemne „ślizganie się” podczas ruchów oddechowych

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

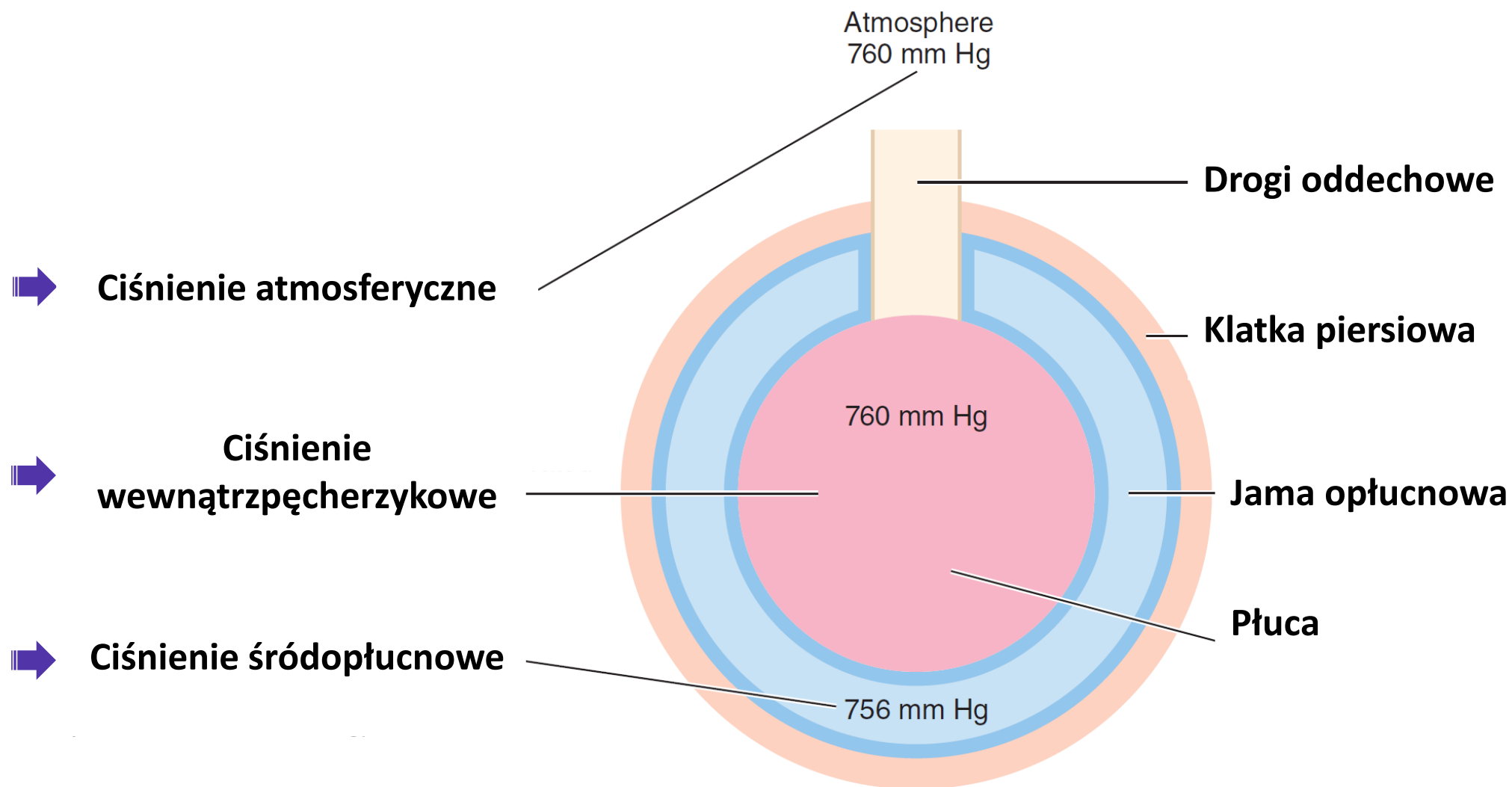
👉 dzięki temu zmianom w rozmiarze klatki piersiowej zawsze towarzyszą odpowiednie zmiany w rozmiarze płuc

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

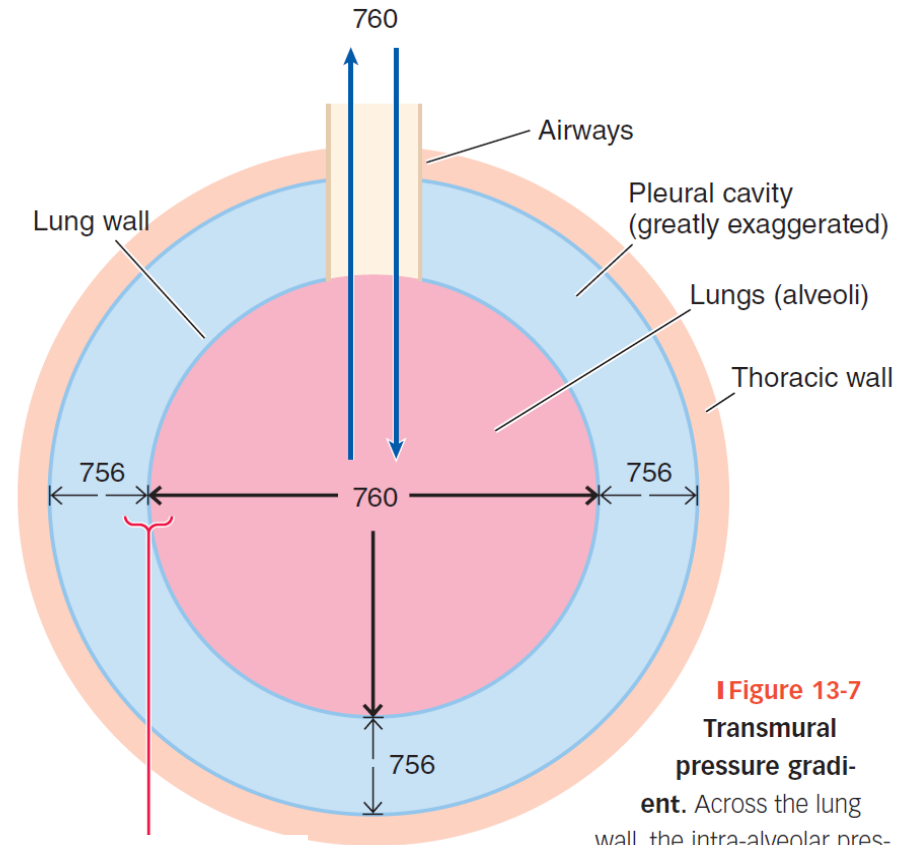


Figure 13-7
Transmural pressure gradient.

Across the lung wall, the intra-alveolar pressure of 760 mm Hg pushes outward, while the intrapleural pressure of 756 mm Hg pushes inward.

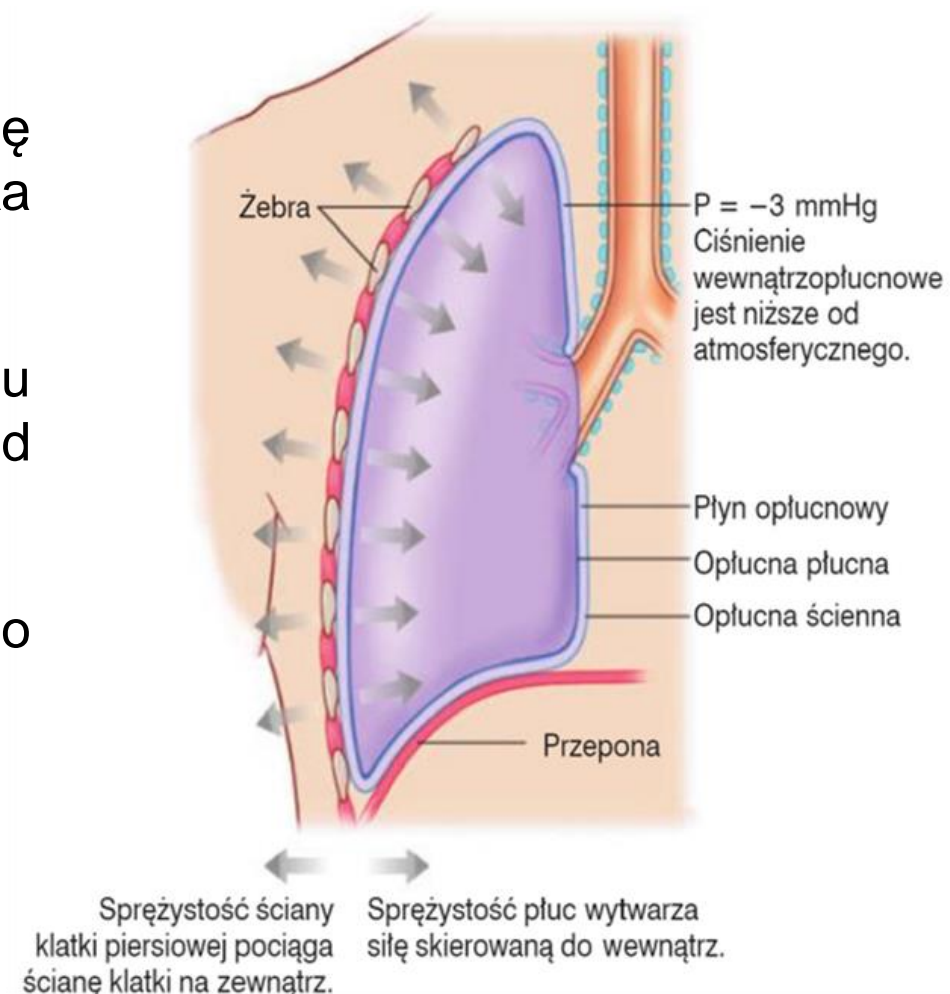
This 4 mm Hg difference in pressure constitutes a transmural pressure gradient that pushes out on the lungs, stretching them to fill the larger thoracic cavity.

Ciśnienie transmurálne

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





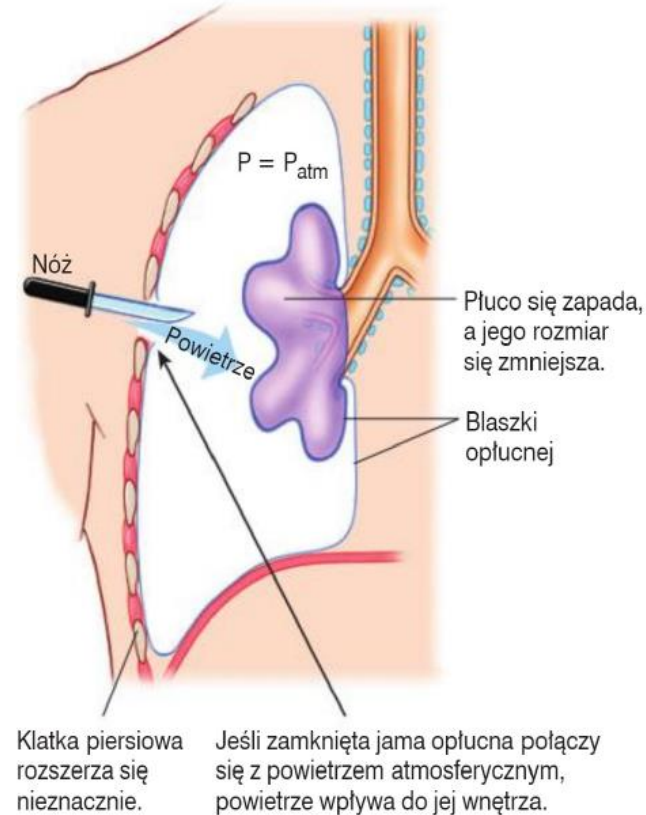
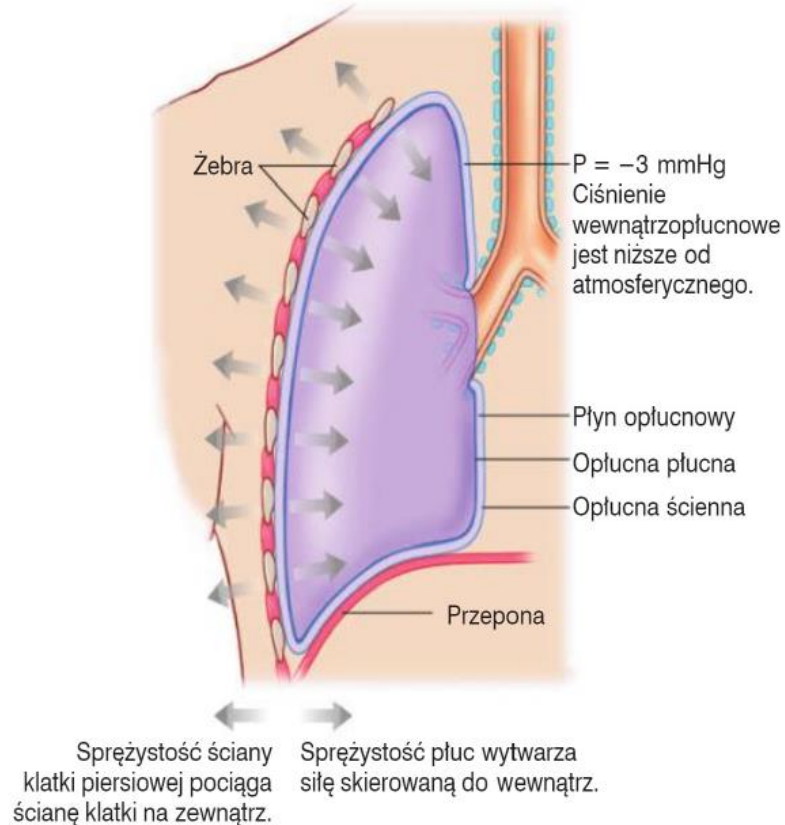
ODMA OPŁUCNOWA

RYC. 14.10

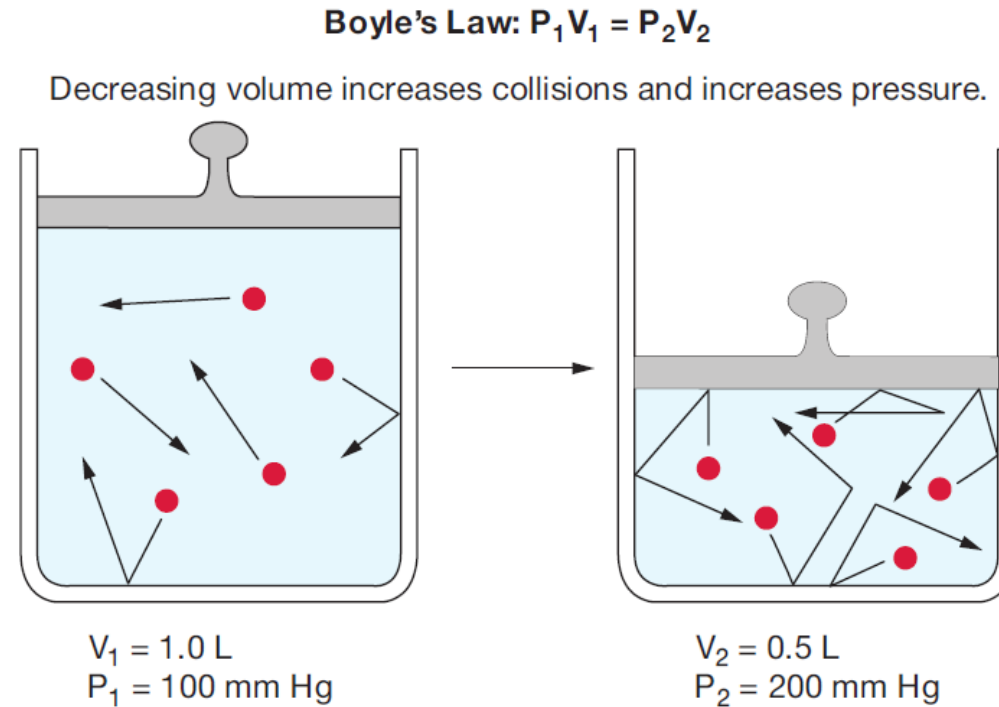
Ujemne ciśnienie w jamie opłucnej pomaga utrzymywać płuca rozprężone

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

(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).



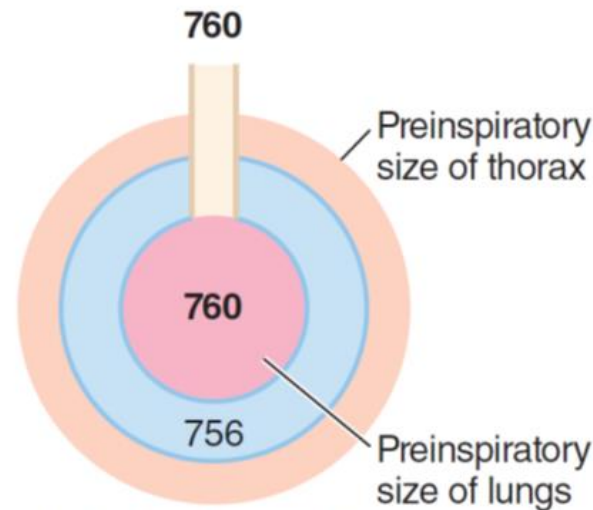
MECHANIKA ODDYCHANIA – PRAWO BOYLA



● **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:

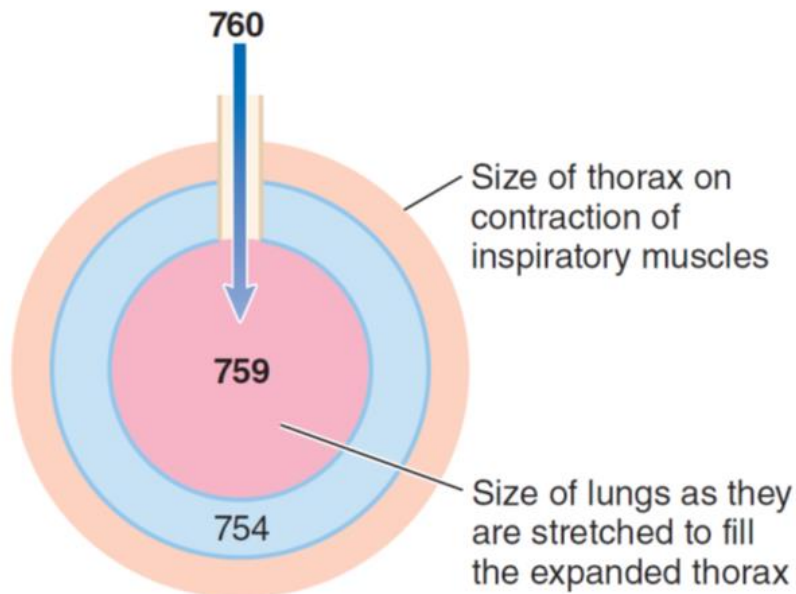
ciśnienie wewnątrzpęcherzykowe
jest takie samo jak atmosferyczne



brak przepływu powietrza

GRADIENT CIŚNIEŃ PODCZAS WDECHU I WYDECHU

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



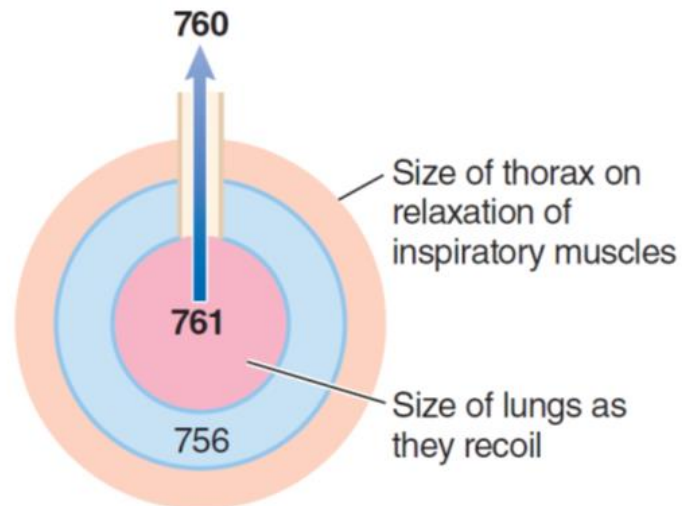
Podczas wdechu:
klatka piersiowa i płuca zwiększają swoją objętość,
ciśnienie wewnątrzpęcherzykowe **spada**



powietrze przepływa do płuc zgodnie z gradientem ciśnienia

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**



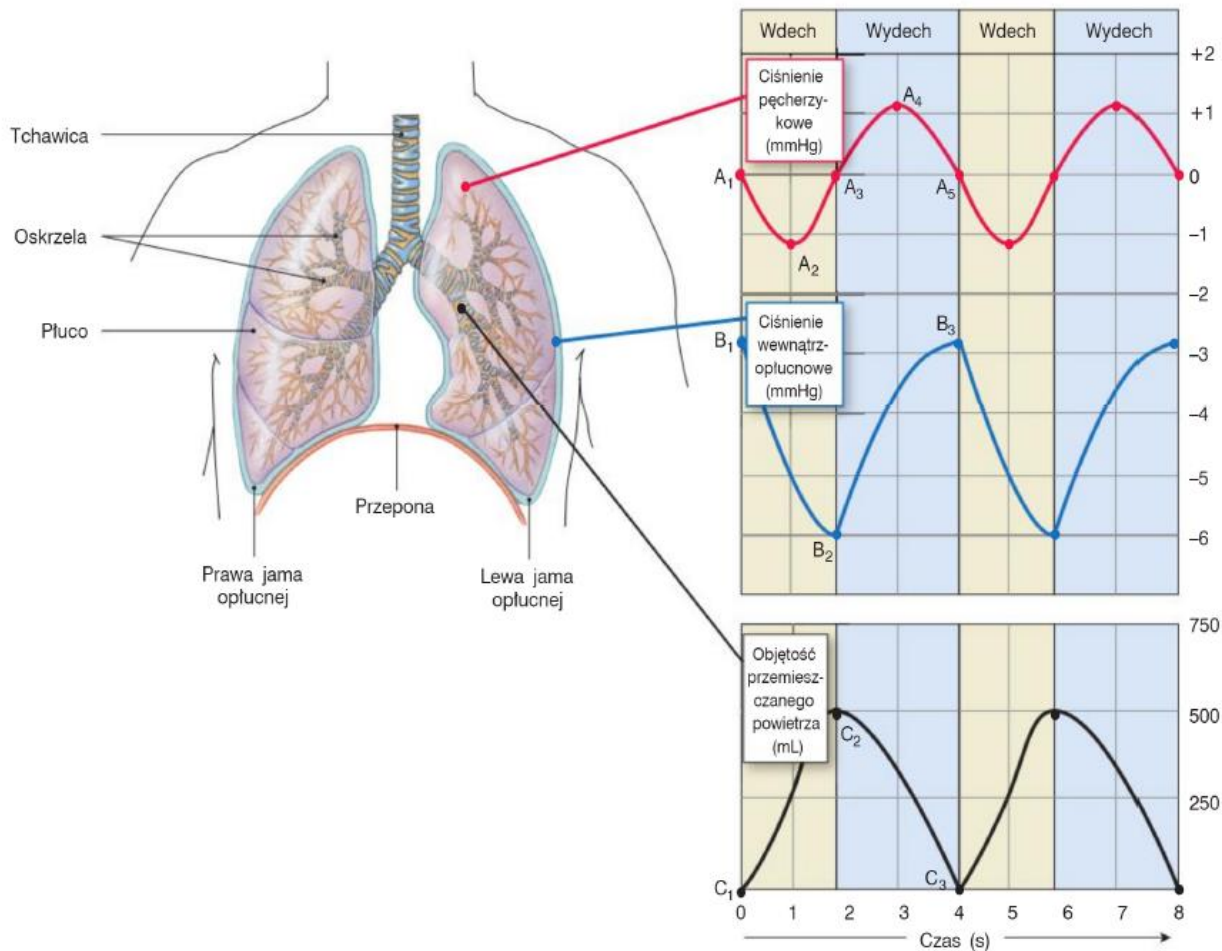
Podczas wydechu:

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

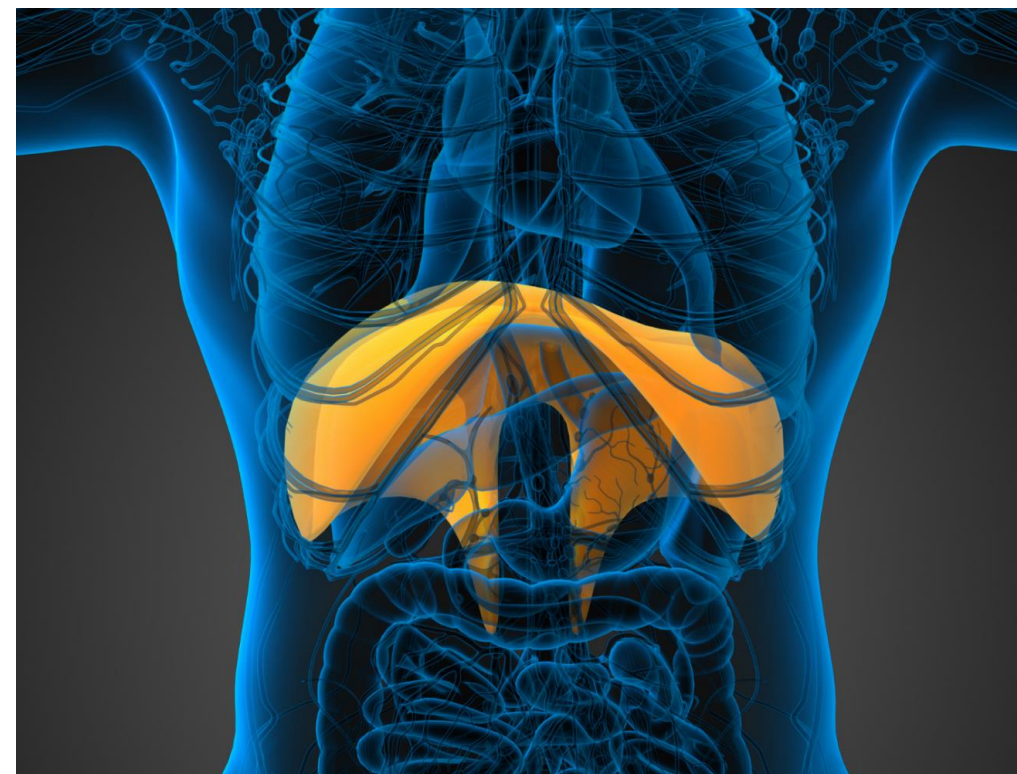


Prawidłowo wydech trwa 2-3 razy dłużej niż wdech (niepokazane dokładnie na tym uproszczonym wykresie).



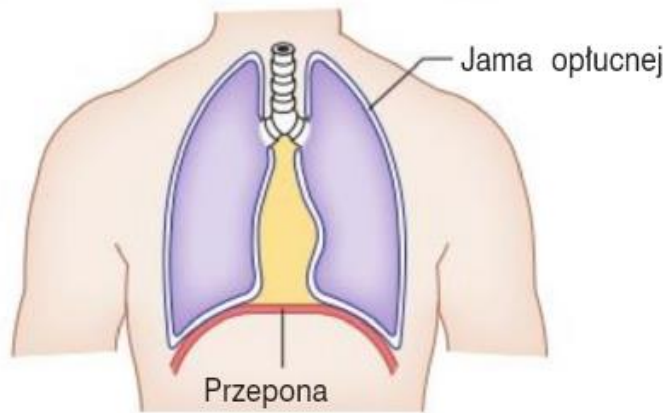
MIĘŚNIE ODDECHOWE - PRZEPONA

- 🦷 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**

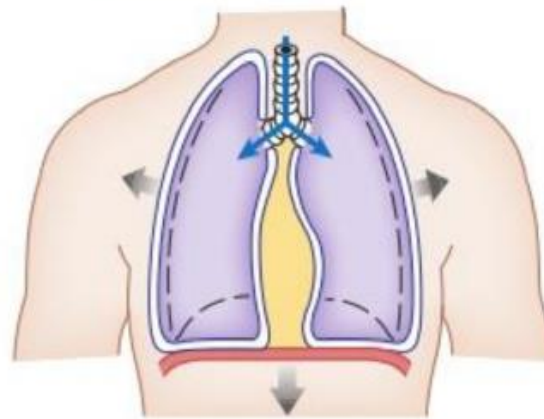


WDECH – RUCHY PRZEPONY

(a) W spoczynku: przepona rozluźniona

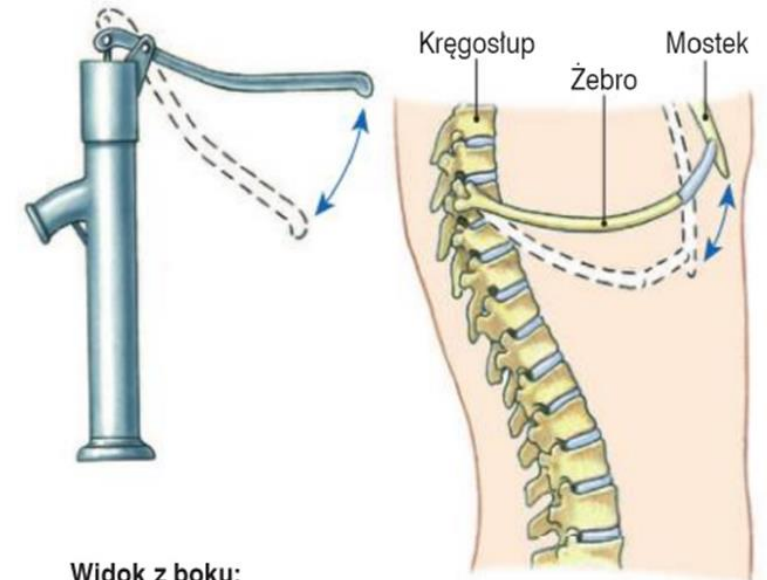


(b) Wdech: objętość klatki piersiowej zwiększa się.



Przepona kurczy się i spłaszcza

W trakcie wdechu wymiary klatki piersiowej zwiększają się.

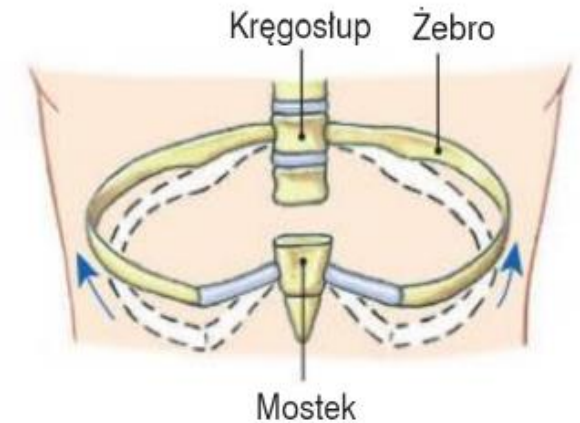
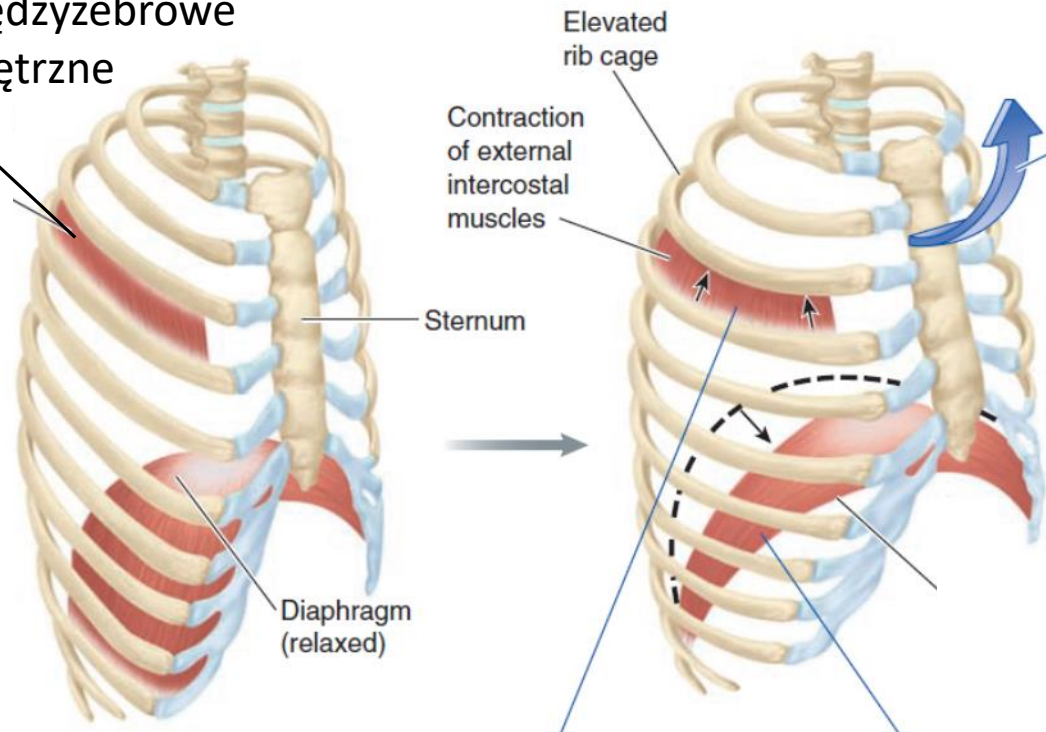


Widok z boku:

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

WDECH – MIĘŚNIE MIĘDZYŻEBROWE ZEWNĘTRZNE

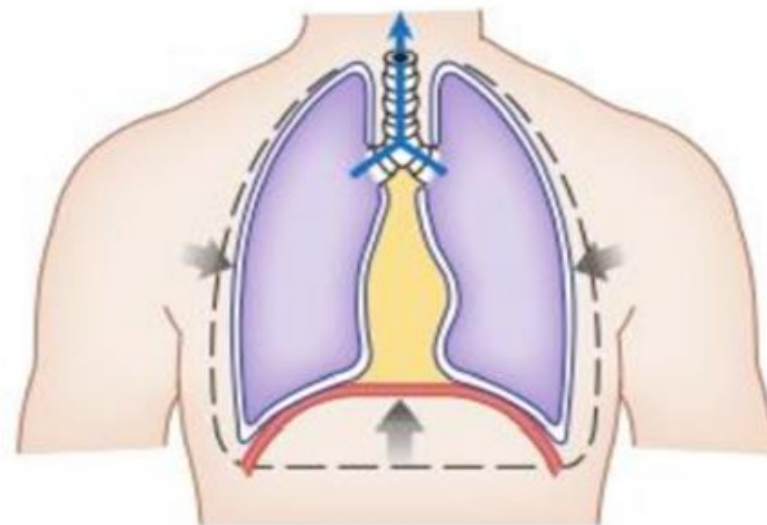
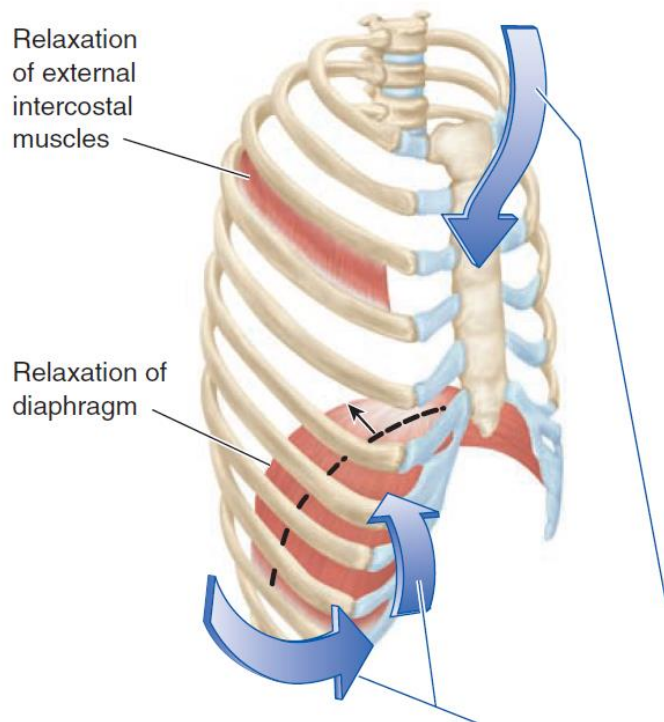
mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne



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 żeber w trakcie wdechu.

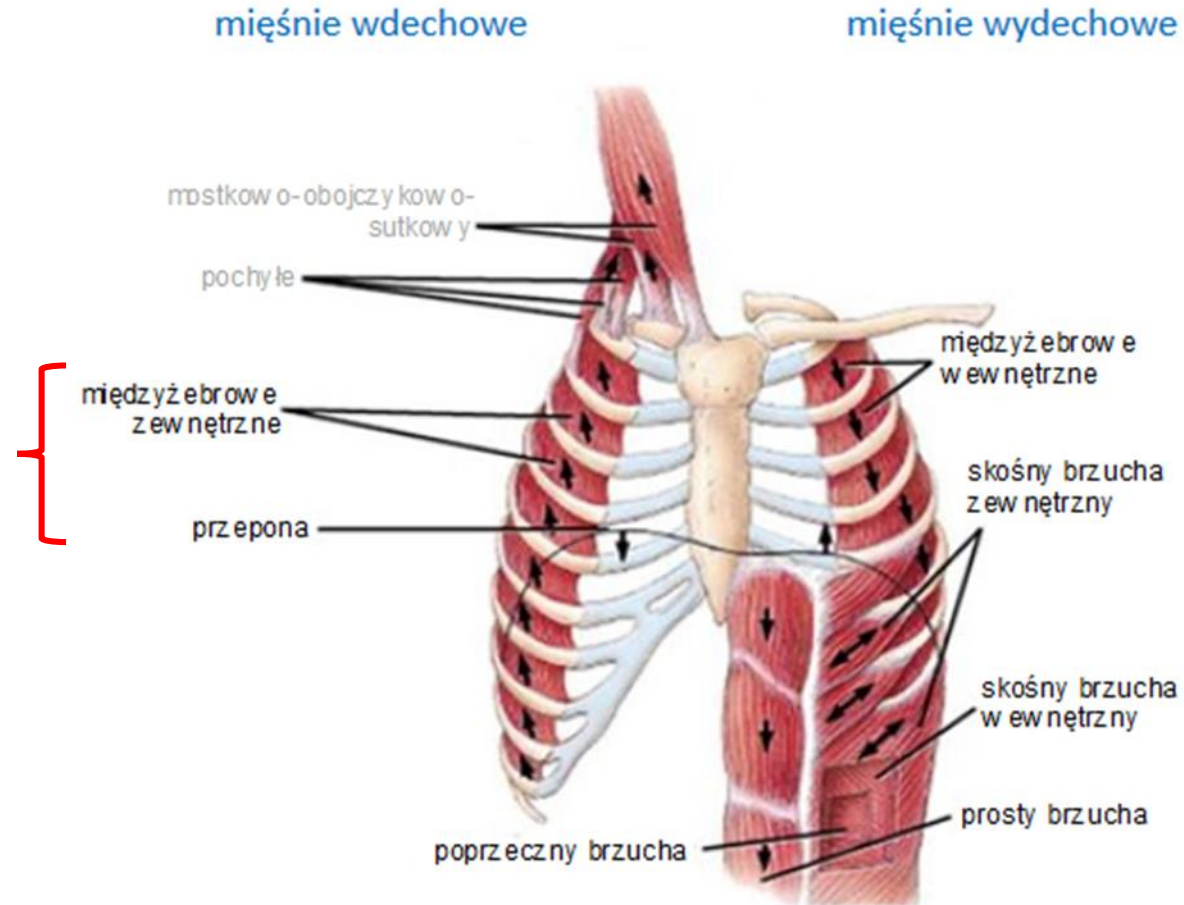
WYDECH – ROZKURCZ MIĘŚNI WDECHOWYCH



**Rozkurcz przepony
i mięśni międzyżebrowych zewnętrznych**

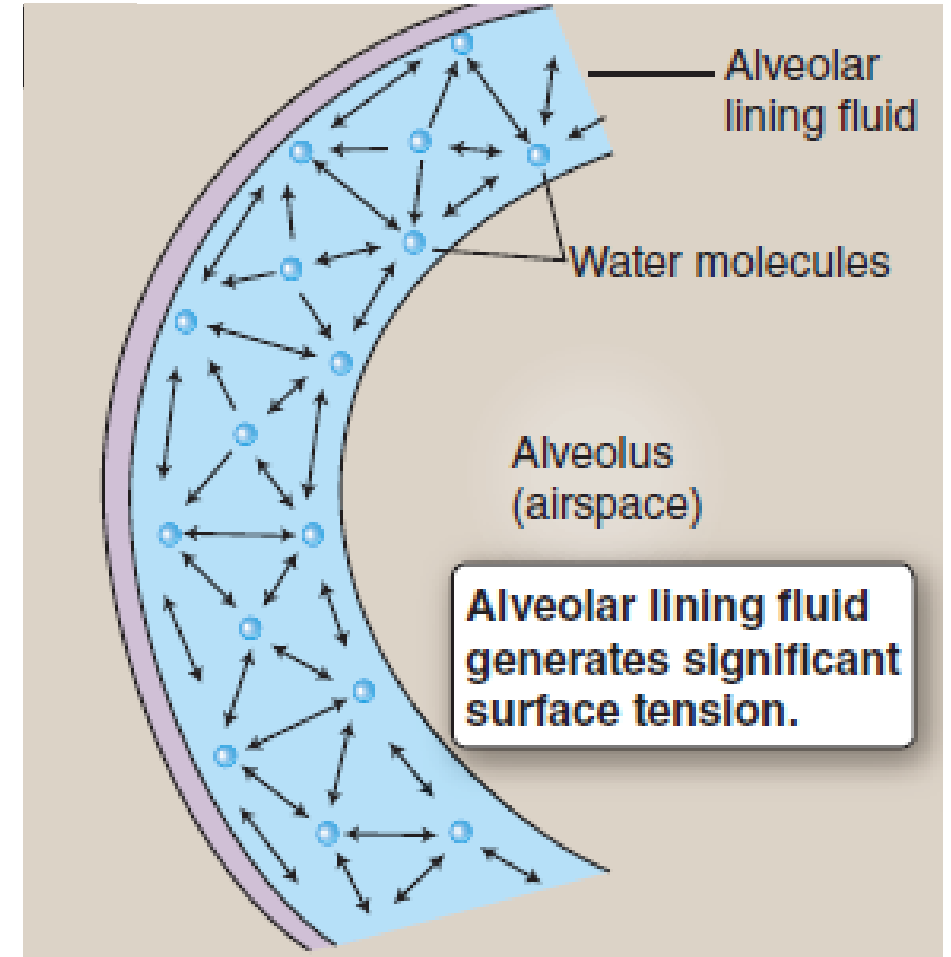
MIĘŚNIE DODATKOWE – ODDYCHANIE WYSIŁKOWE

oddychanie
spoczynkowe



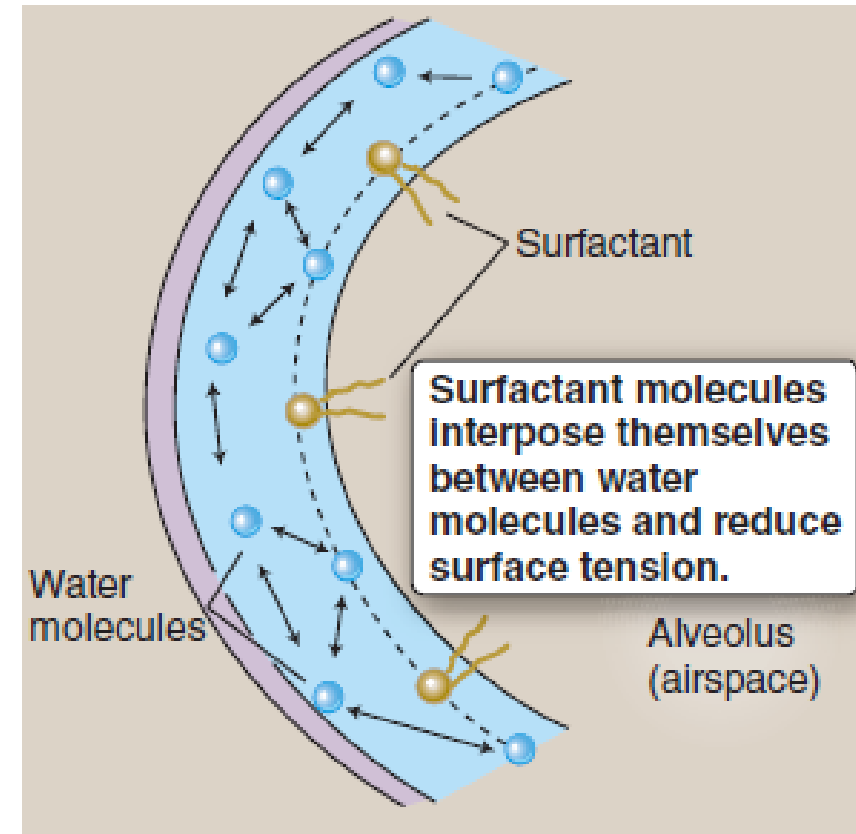
NAPIĘCIE POWIERZCHNIOWE

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



ZNACZENIE SURFAKTANTU

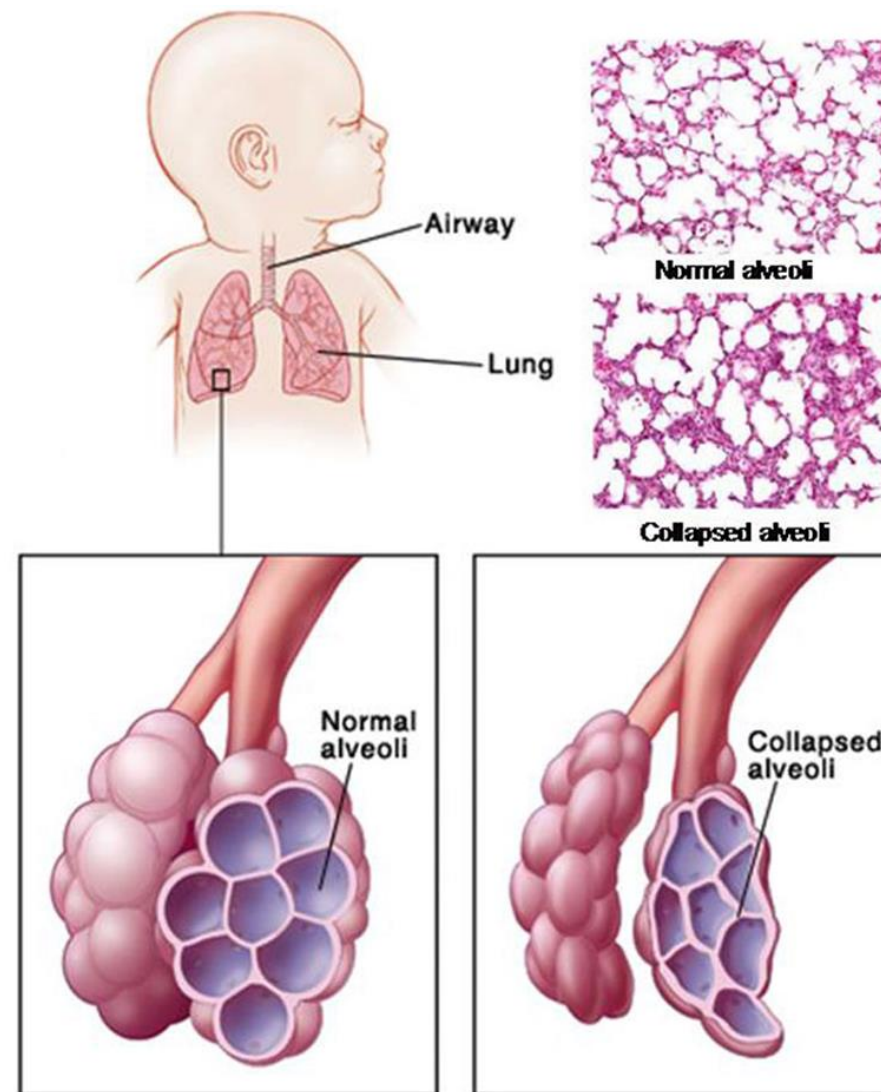
- zmniejsza napięcie powierzchniowe – działa jak detergent
- wydzielany przez **pneumocyty typu II**
- mieszanina **lipidów** (~90%) i **białek**
- zwiększa **podatność płuc** – sprawia, że płuca łatwiej się rozciągają podczas wdechu
- stabilizuje rozmiary pęcherzyków, **zapobiega ich zapadaniu** umożliwiając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



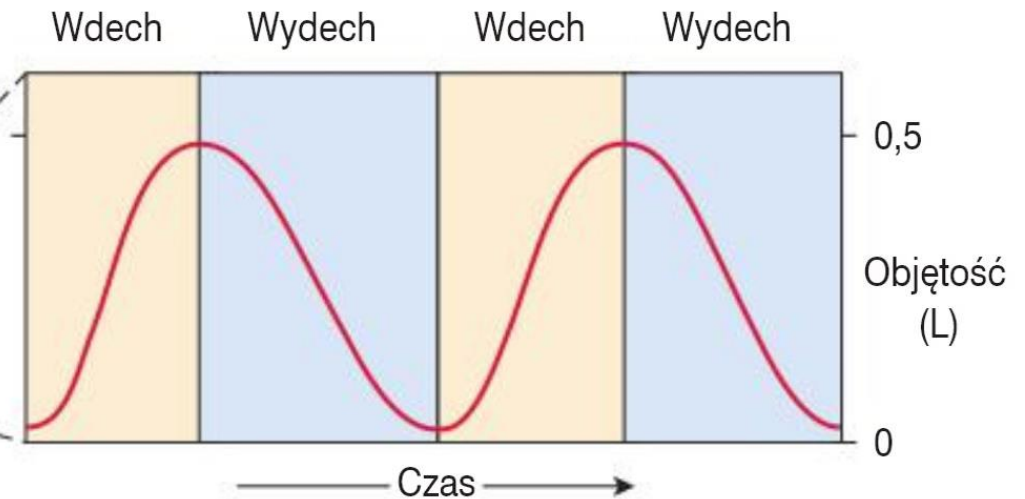
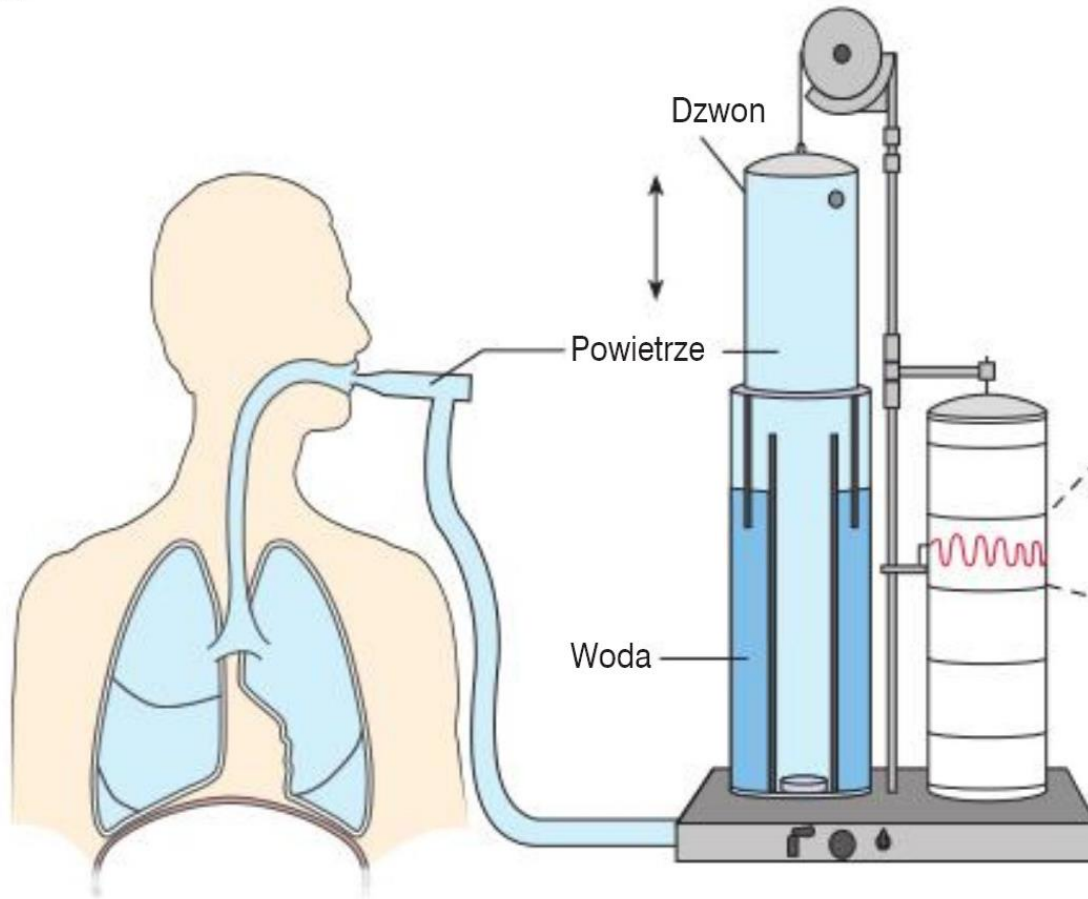


NIEDOBÓR SURFAKTANTU

- 👂 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)



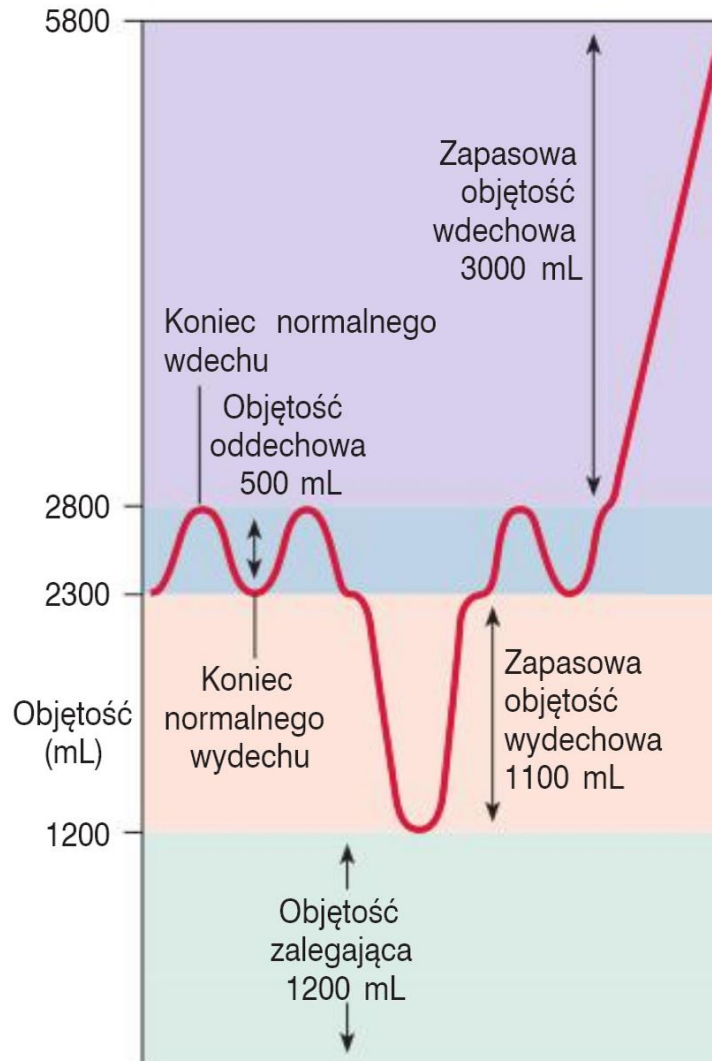
POJEMNOŚCI I OBJĘTOŚCI PŁUC - SPIROMETRIA



Kiedy badany wdycha, powietrze napływa do płuc, objętość dzwonu zmniejsza się i rysik wznosi się na krzywej.

OBJĘTOŚCI 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**)

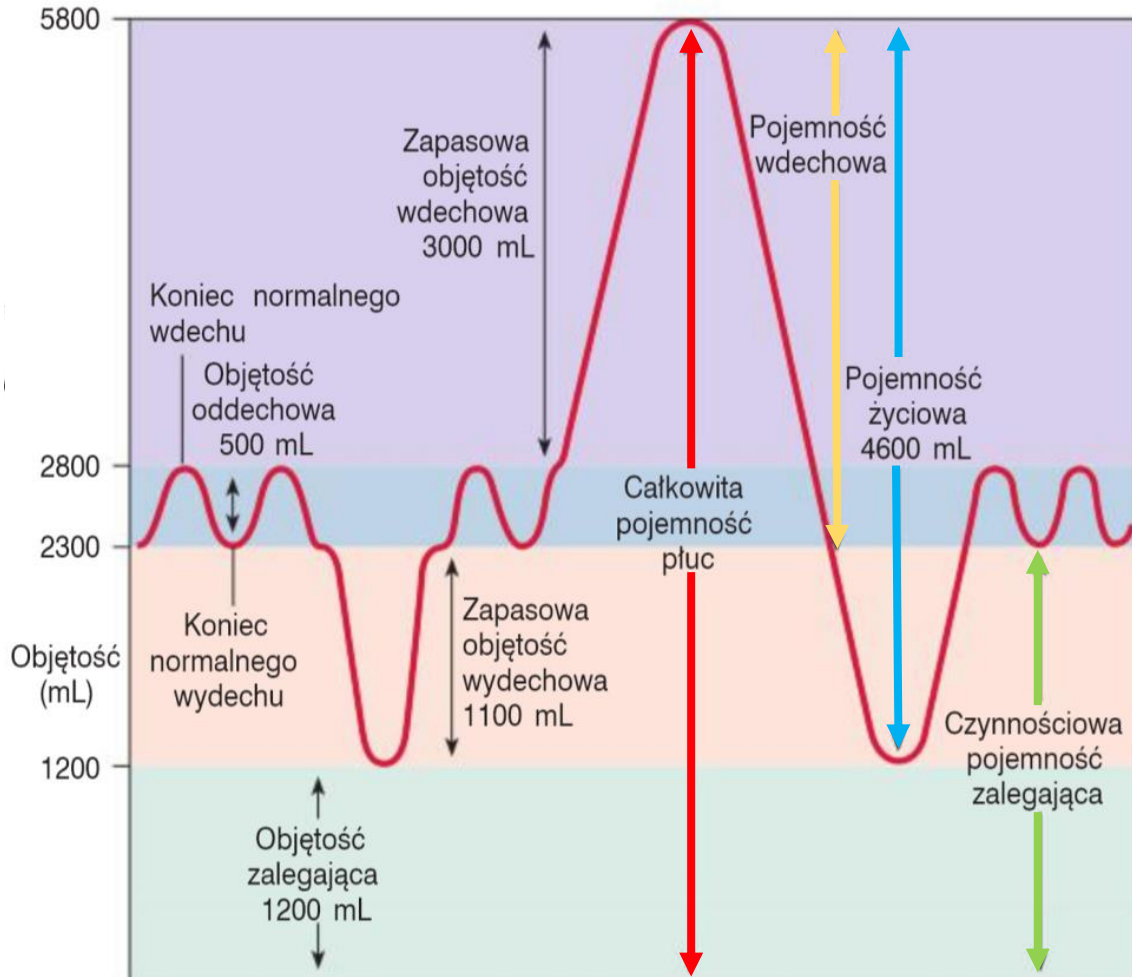
Zapasowa objętość wydechowa (ERV) – dodatkowa objętość powietrza która może być w sposób aktywny usunięta z układu oddechowego, po zakończeniu normalnego wydechu (**~1100 ml**)

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

*nie da się jej oznaczyć przy użyciu spirometeru

POJEMNOŚCI 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