



Fizjologia układu oddechowego

Agnieszka Toroń

**Oddział Anestezjologii i Intensywnej Terapii
Szpitala Wojewódzkiego w Tychach**

Funkcja płuc

pozaoddechowa

oddechowa

Ochrona przed infekcjami:

- nawilżanie, ogrzewanie, filtracja
- obrona komórkowa

Funkcje metaboliczne:

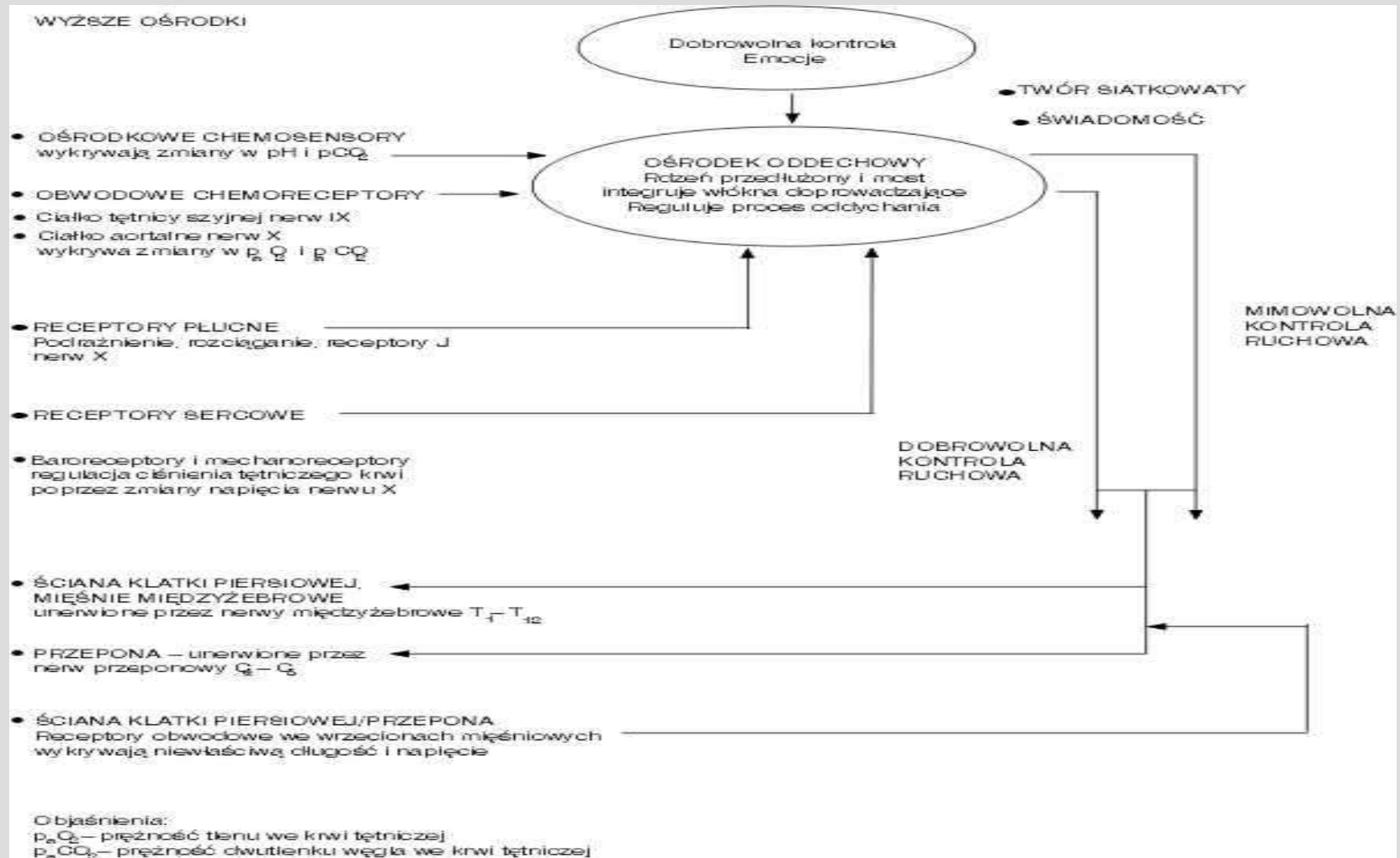
- uwalnianie histaminy, serotoniny, wazoaktywnych peptydów i katecholamin
- przemiana lipidowa

wymiana gazowa

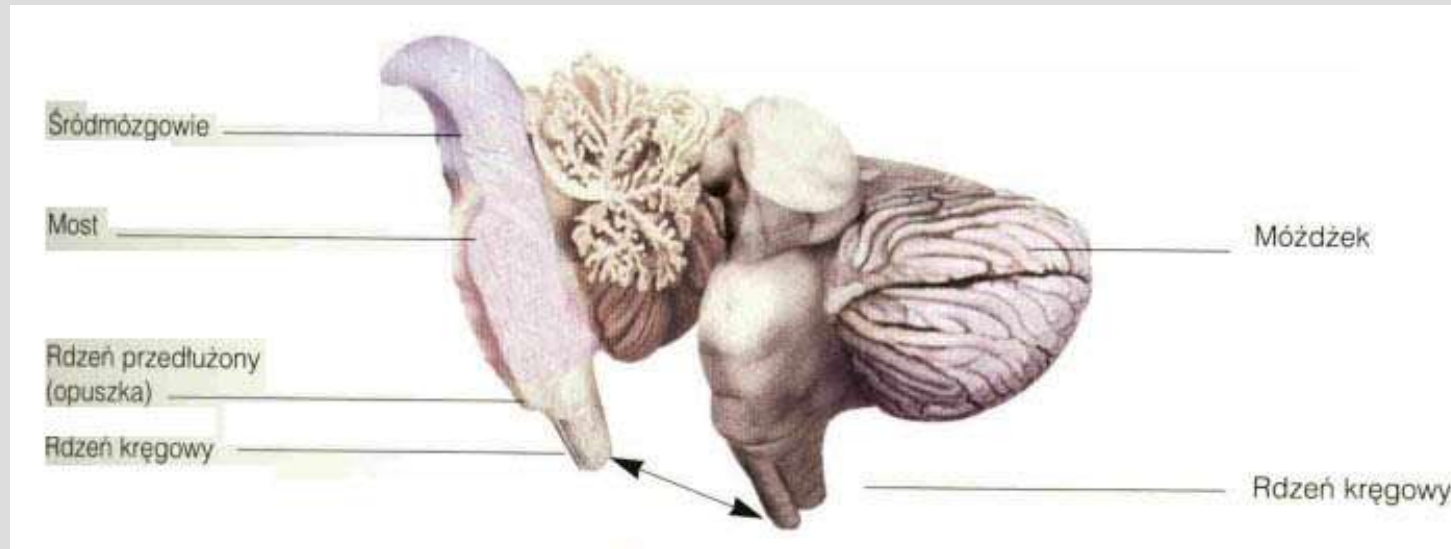
Regulacja oddychania

ośrodkowa

obwodowa



Regulacja ośrodkowa



- dno komory czwartej w rdzeniu przedłużonym z chemoreceptorami stymulowanymi przez wzrost PaCO_2 i spadek pH .
- neurony wdechowe i wydechowe - jądro dwuznaczne nerwu błędnego

Regulacja chemiczna

- Chemoreceptory ośrodkowe (pień mózgu)
- Chemoreceptory obwodowe (kłębek szyjny, kłębki łuku aorty)
- Obniżenie p_{aO_2} powoduje pobudzenie chemoreceptorów obwodowych, co prowadzi do zwiększenia \dot{V}_E i przyspieszenia częstości oddechów
- Podwyższenie p_{aO_2} prowadzi do zmniejszenia wentylacji

Inne czynniki

- niezależne, zależne od woli sterowanie oddychaniem
- zwiększenie wentylacji związane z wysiłkiem
- odruchy z baroreceptorów (obniżka RR = zwiększenie wentylacji, wyżka RR = zmniejszenie wentylacji)
- odruchy krtaniowe i tchawicze (chemo- i mechano-receptory)
- odruch rozciągania płuc Heringa-Breuera (n.X)
- zwiększenie objętości komórkowej = zahamowanie wdechu (odruch rdzeniowy)

Regulacja oddychania w POChP

- pacjenci z POChP wykazują zmniejszoną wrażliwość chemoreceptorów na PaCO₂ z powodu przewlekłej hiperkapni (u zdrowych ludzi PaCO₂ jest najważniejszym czynnikiem regulacji oddychania)
- regulacja napędu oddechowego następuje głównie przez PaO₂ (*hypoxic respiratory drive*)
- wysokie stężenia wdychowe tlenu może prowadzić do hipowentylacji z powodu zahamowania hipoksycznego mechanizmu napędowego

Powietrze
atmosferyczne

tlen – 20,9%
azot – 79,0%
CO₂ – 0,04%
H₂O – 0,06%

100%

Pęcherzyki
płucne

tlen – 20,9%
azot – 79,0%
CO₂ – 0,04%
H₂O – 0,06%

100%

Powietrze
wydychane

tlen – 20,9%
azot – 79,0%
CO₂ – 0,04%
H₂O – 0,06%

100%

Zużycie i wytwarzanie tlenu

- Zużycie tlenu $\dot{V}O_2 = 3-5 \text{ ml/kg/min}$ (+-300 ml)
- Wytwarzanie CO_2 $\dot{V}CO_2 = 3 \text{ ml/kg/min}$ (+-250 ml)

Współczynnik oddechowy (RQ = *Respiratory Quotient*)
to stosunek $\dot{V}CO_2$ do $\dot{V}O_2$:

$$RQ = \dot{V}CO_2 : \dot{V}O_2$$

Norma i zaburzenia

- $RQ = 0,8$
- Niskie RQ - odżywianie bogate w tłuszcze
- Wysokie RQ – odżywianie bogate w węglowodany

Mięśnie oddechowe są odpowiedzialne za 1-2% VO_2 w spoczynku, w trakcie wysiłku wartość ta może znacznie wzrosnąć.

Mechanika oddychania

- mechanika oddychania to zależność pomiędzy objętością a przepływem
- siłą napędową wentylacji jest różnica ciśnień pomiędzy pęcherzykami a powietrzem atmosferycznym (które umownie określa się jako 0)
- ciśnienie w drogach oddechowych jest równe atmosferycznemu na końcu spokojnego wydechu

Przepona i jama opłucnowa

Przepona:

- główny mięsień oddechowy
- unerwniona przez nerw przeponowy (C3 i C4)
- 60% udziału w wentylacji (pozostały odsetek: mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne)

Jama opłucnowa:

- pomiędzy blaszkami opłucnej cienka warstwa płynu
- ciśnienie od -4 do -8 cm H_2O (od -40 do $+40$)

Ciśnienie parcjalne

- Ciśnienie parcjalne mieszaniny gazów jest sumą ciśnień parcjalnych poszczególnych gazów
- Ciśnienie parcjalne = $(P_{\text{atm}} - P_{\text{H}_2\text{O}}) \times \text{FiO}_2$ gazu
- Stężenie gazu w vol% $\times 7 =$ ciśn. parcjalne w mmHg

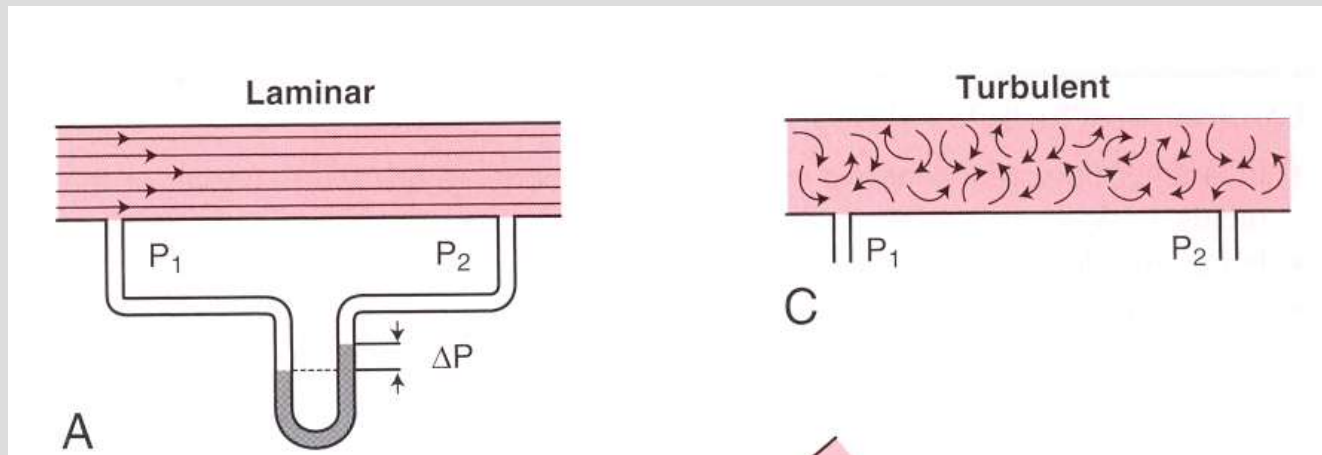
Ciśnienia w klatce piersiowej

- Ciśnienie pęcherzykowe = średnie ciśnienie w drogach oddechowych
- Ciśnienie śródopłucnowe = ciśnienie w jamie opłucnowej = +/- ciśnieniu w dolnym odcinku przełyku
- Ciśnienie przezścienne = ciśnienie pęcherzykowe – ciśnienie śródopłucnowe

Ciśnienie przezścienne determinuje skuteczność wentylacji i powstawanie obszarów niedodmy!

Opór dróg oddechowych

- dwukrotnie zmniejszenie promienia przewodu wymaga 16-krotnego wzrostu ciśnienia (aby przepływ został niezmienny (prawo Hagen'a – Poiseuille'a, odnosi się do przepływu laminarnego)
- przy przepływie turbulentnym opór przepływu wzrasta z kwadratem prędkości przepływu(V)



Parametry mechaniki oddychania

- **Opór (R)** - miara oporu przepływu gazów, wywołany przez wewnętrzne tarcie przepływu powietrza oddechowego, a także tarcie pomiędzy powietrzem oddechowym a drogami oddechowymi. Jednostka: $\text{cmH}_2\text{O}/\text{l}/\text{s}$
- **Podatność (C)** - zdolność płuc do rozszerzania się, definiowana jako zmiana objętości płuc (ΔV) przypadająca na jednostkę zmiany ciśnienia (ΔP). Jednostka: $\text{ml}/\text{cmH}_2\text{O}$
- **Praca oddychania (WoB)** – praca do pokonania objętości (J/l). Jednostka: J/l

Co wpływa na opór dróg oddechowych?

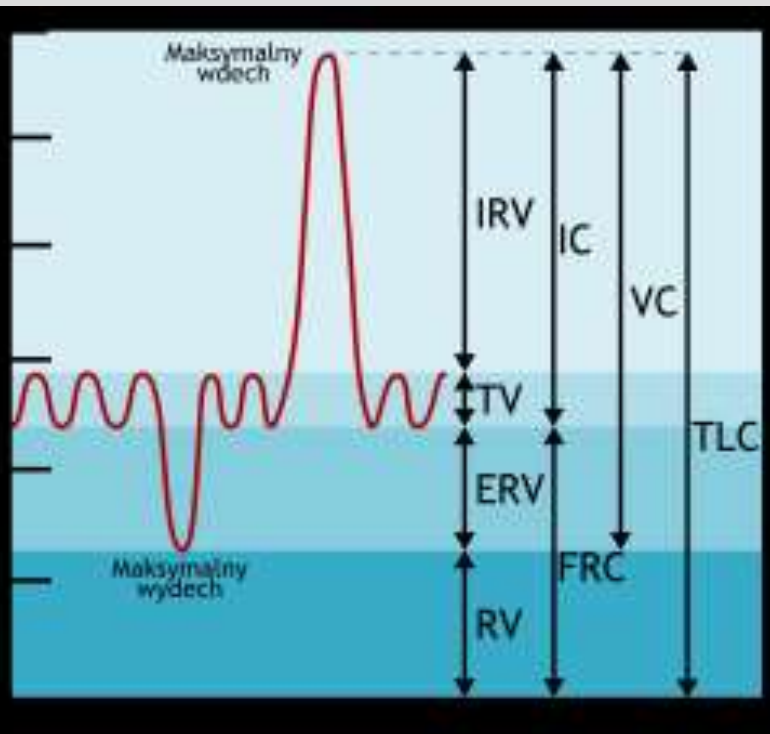
Objętość płuc:

- Przy zwiększeniu objętości płuc – zmniejsza się opór dróg oddechowych.
- Przy zmniejszeniu objętości płuc – zwiększa się opór dróg oddechowych.

Nerwowa regulacja oporu dróg oddechowych:

- Eferentne impulsy przywspółczulne- pobudzenie receptorów muskarynowych.
- Układ współczulny - ???
- Receptory beta 2 – bardzo.
- Receptory alfa - słabo

Statyczne objętości i pojemności płuc



VT – objętość oddechowa

IRV – zapasowa objętość wdechowa

ERV – zapasowa objętość wydechowa

RV – objętość zalegająca

TLC – całkowita pojemność płuc

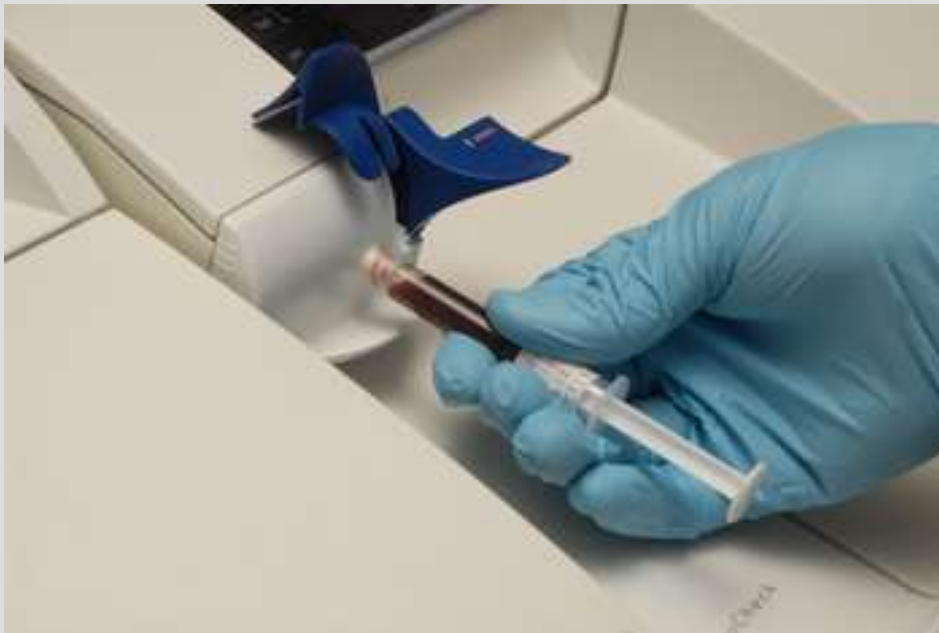
VC – pojemność życiowa

IC – pojemność oddechowa

FRC – czynnościowa pojemność zalegająca

Testy

- VC i FEV1 (mała spirometria) – mechanika oddychania
- gazometria tętnicza – wymiana gazowa



VC (Vital Capacity)

- objętość wydychana po maksymalnym wdechu
- aby kaszel był skuteczny: $VC > 3 \times VT$
- czyli VC powinno być większe od 20 ml/kg
- czyli VC powinno przekraczać 1,5 – 1,7 l

- spirometrię często podaje się w % normy
- **VC < 50% normy lub < 1,75 l = u 30% chorych wystąpi niewydolność oddechowa po operacji**

FEV₁ (forced vital capacity)

- objętość wydychana z płuc w czasie pierwszej sekundy natężonego wydechu
- osoba zdrowa w pierwszej sekundzie wydycha 70-80% VC, resztę przez kolejne 2 sekundy
- obturacja powoduje ↓ FEV1, ale VC pozostaje w normie
- restrykcja powoduje ↓ FEV1 i proporcjonalne do tego ↓ VC

Przestrzeń martwa

- **Anatomiczna (VD)** – objętość, która pozostaje w drogach oddechowych przewodzących i nie bierze udziału w wymianie gazowej (około 2 ml/ kg).
- **Pęcherzykowa (VD_{alv})** – powietrze które dociera do pęcherzyków ale nie uczestniczy w wymianie ze względu na niewystarczającą perfuzję
- **Fizjologiczna (czynnościowa)** – objętość, która nie bierze udziału w wymianie gazowej i stanowi sumę anatomicznej przestrzeni beзуżytecznej i pęcherzyków nadmiernie wentylowanych (daremna wentylacja).

Wentylacja przestrzeni martwej

- Wentylacja bez perfuzji = wzrost czynnościowej przestrzeni martwej
- Wskaźnik przestrzeni martwej: **$VD / VT = 0,3$**

Wzrost wskaźnika gdy:

- wentylacja oddechowa
- okres pooperacyjny
- zaburzenia perfuzji

Wzrost wskaźnika $VD/VT > 0,5$ zazwyczaj powoduje retencję CO_2 .

Czynnościowa pojemność zalegająca

- **40-50% TLC!!!**
- bufor zapobiegający silnym zmianom ciśnienia parcjalnego i prężności tlenu i dwutlenku węgla.
- wzrost FRC: choroby obturacyjne
- spadek FRC: choroby restrykcyjne, otyłość, niedodma, pozycja leżąca, zabiegi torakochirurgiczne i zabiegi w nadbrzuszu
- **kompensacja FRC wymaga PEEP 5-7 H₂O**

Pojemność zamykająca (CC)

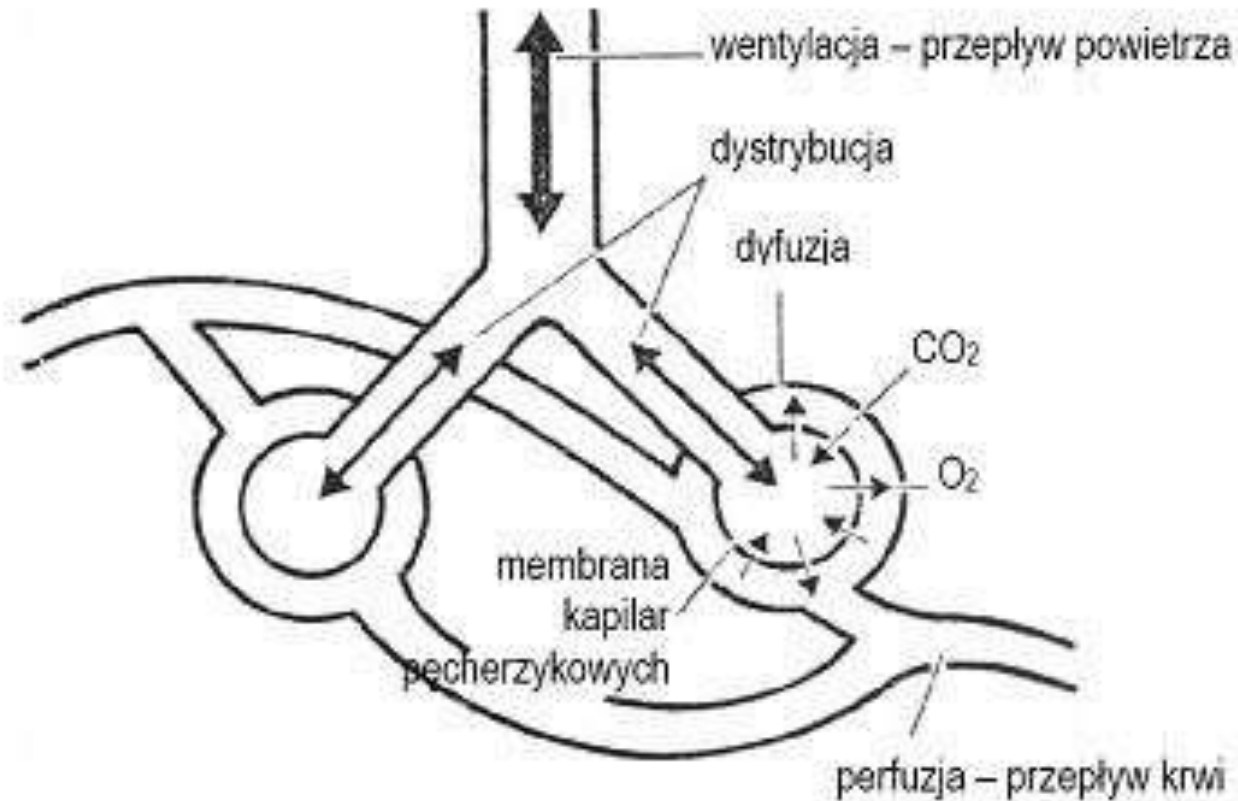
- objętość gazu znajdująca się w płucach w momencie rozpoczynania zamykania pęcherzyków płucnych
- jest mniejsza od FRC, wynosi ok. 40% TLC
- FRC/ CC powinno być > 1

Obniżenie FRC/ CC: okres pooperacyjny, podeszły wiek, otyłość, niewydolność krążenia, marskość wątroby, szybkie przetaczanie płynów

Dynamiczne objętości oddechowe

- $MV = TV \times f$
- FVC natężona pojemność życiowa
- FEV1 natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa, wartość prawidłowa 70%-80% VC lub FVC- wskaźnik Tiffeneau

Fizjologia wymiany gazowej



Procesy oddychania:

- wentylacja,
- dystrybucja,
- dyfuzja,
- perfuzja

Prawo Ficka

Przemieszczanie się tlenu przez błonę pęcherzykowo włośniczkową zależy od następujących czynników określanych **prawem Ficka**

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -K \times F \times \frac{\Delta c}{d}$$

d - grubość błony (0,1-1 μm)

F - powierzchnia dyfuzyjna (80-120 m^2)

Pęcherzykowo- tętnicza różnica ciśnień parcjalnych tlenu (AaDO₂)

Różnica pomiędzy ciśnieniem parcjalnym tlenu w gazie pęcherzykowym i we krwi tętniczej.

Wartości prawidłowe:

Powietrze: AaDO₂= 10-20 mmHg

100% tlen: AaDO₂= 25-70 mmHg

Wskaźnik oksigenacji (OI)

(wskaźnik Horowitza)

$$OI = PaO_2 / FiO_2$$

wartość prawidłowa > 450

patologia < 350

ARDS < 200

Stosunek wentylacji do perfuzji V/Q

Wentylacja pęcherzykowa = 4-5 L/min

Rzut serca (perfuzja płuc) = 5L/min

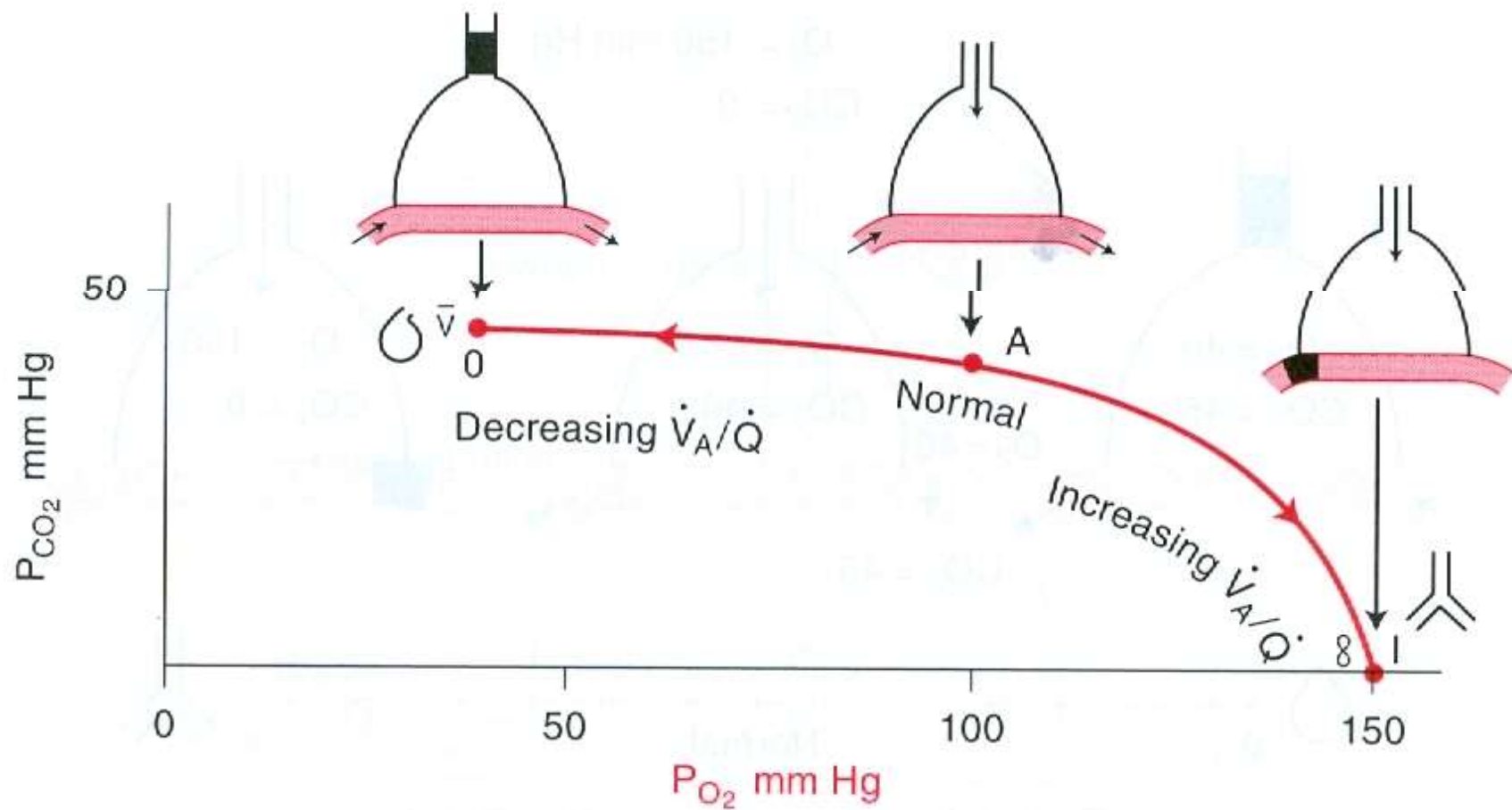
$$V/Q = 0,8$$

$V/Q = \infty$ nieskończoność („daremna wentylacja”)

$V/Q = 0$ („daremna perfuzja”)

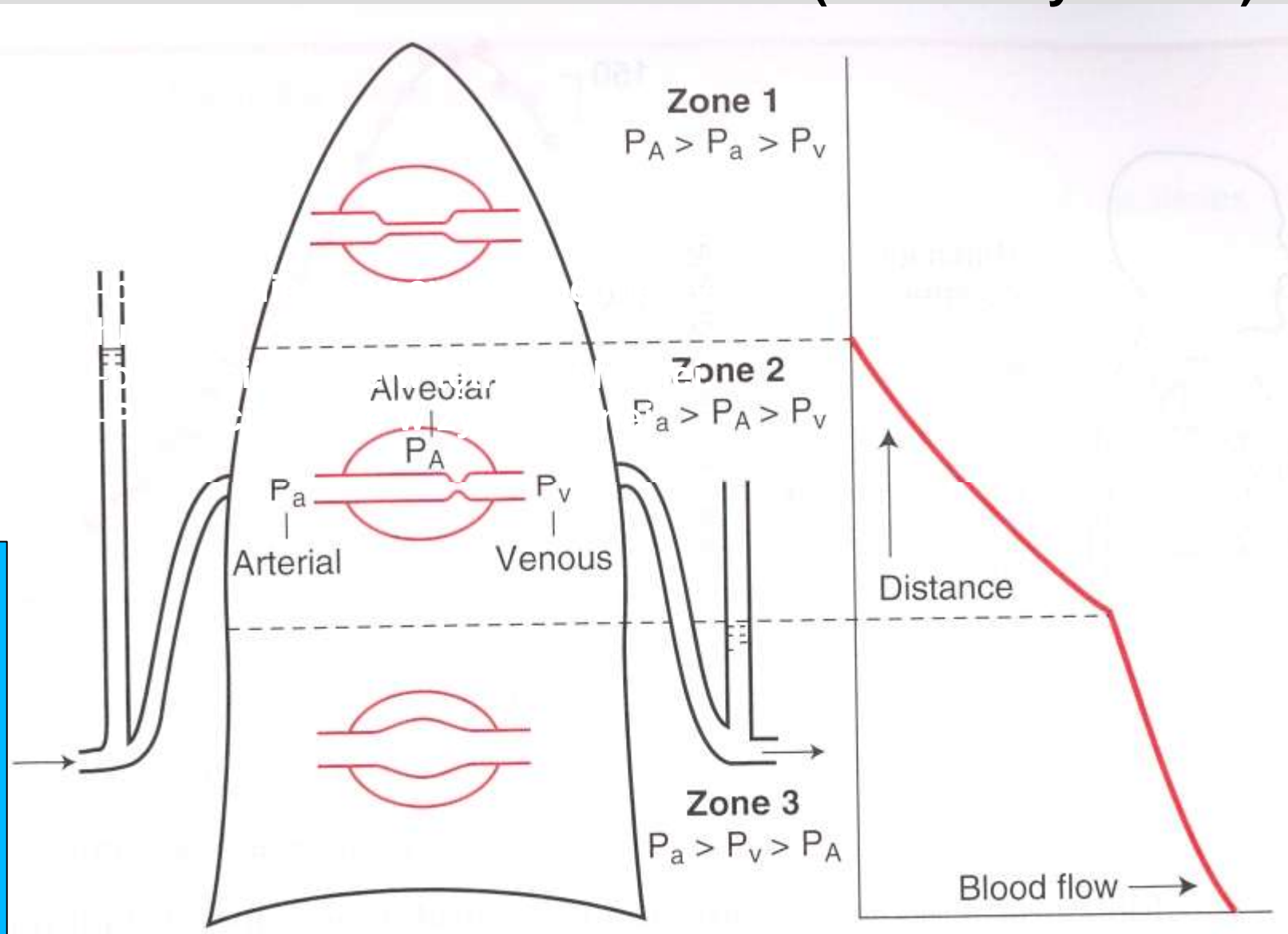
Wskaźnik odnosi się do płuc jako całości. W zdrowych płucach istnieją znaczne różnice regionalne wentylacji i perfuzji oraz ich wzajemnego stosunku, uzależnione od pozycji ciała.

Współczynnik wentylacji do perfuzji V/Q



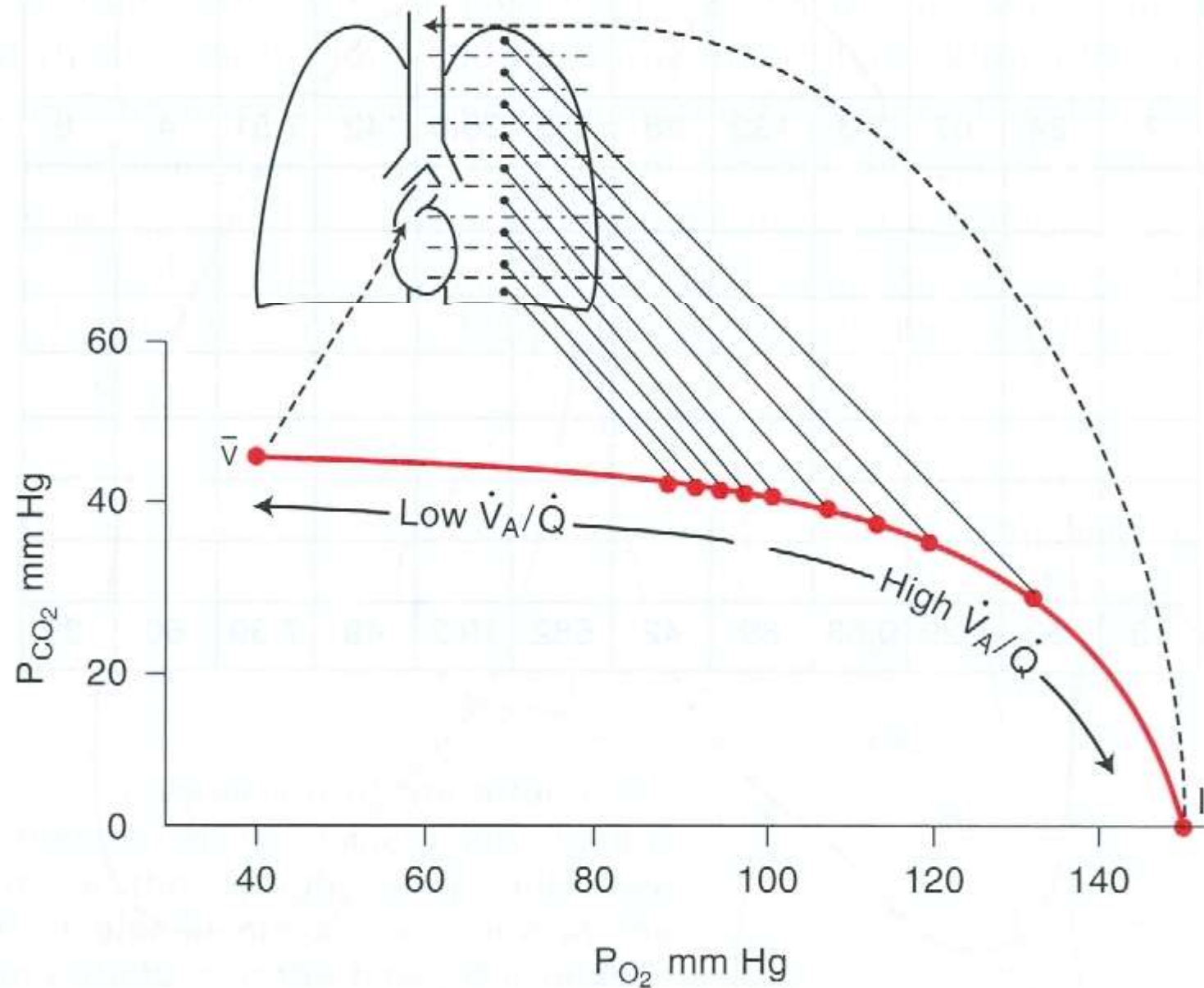
Perfuzja płuc

Strefy przepływu krwi zależne od siły ciężkości (tzw. strefy Westa)

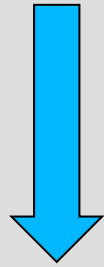


PA-ciśnienie w pęcherzyku płucnym
Ppa- ciśnienie w tętnicy płucnej
Ppv- ciśnienie w żyłę płucnej

Rozdział wentylacji i perfuzji w płucach



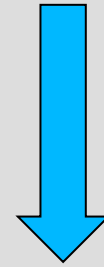
Regulacja perfuzji płuc



Bierna



Wzrost ciśnienia krwi powoduje poszerzenie naczyń i spadek oporu naczyń płucnych



Czynna



czynniki
neurogenne

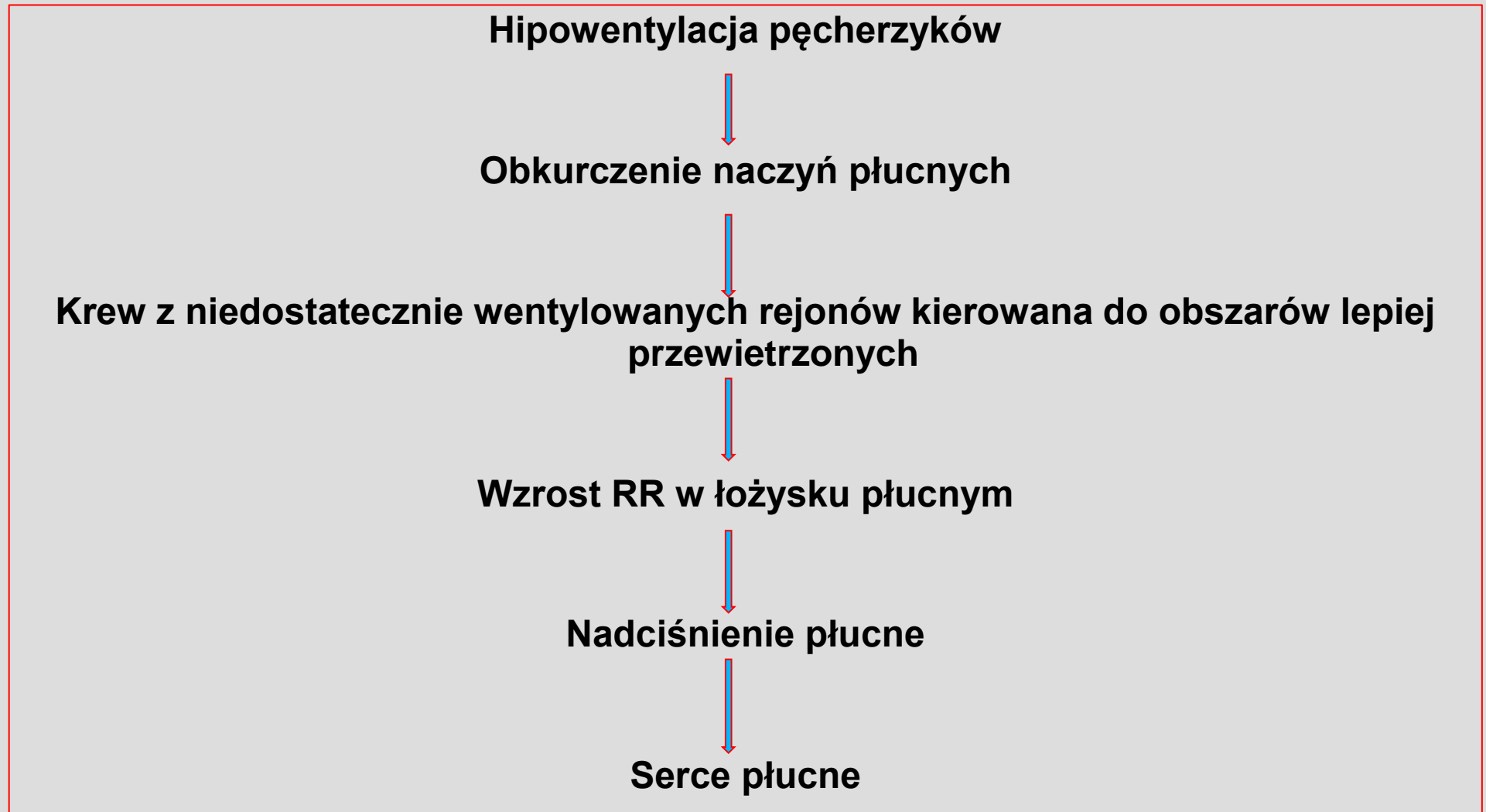


czynniki
humoralne



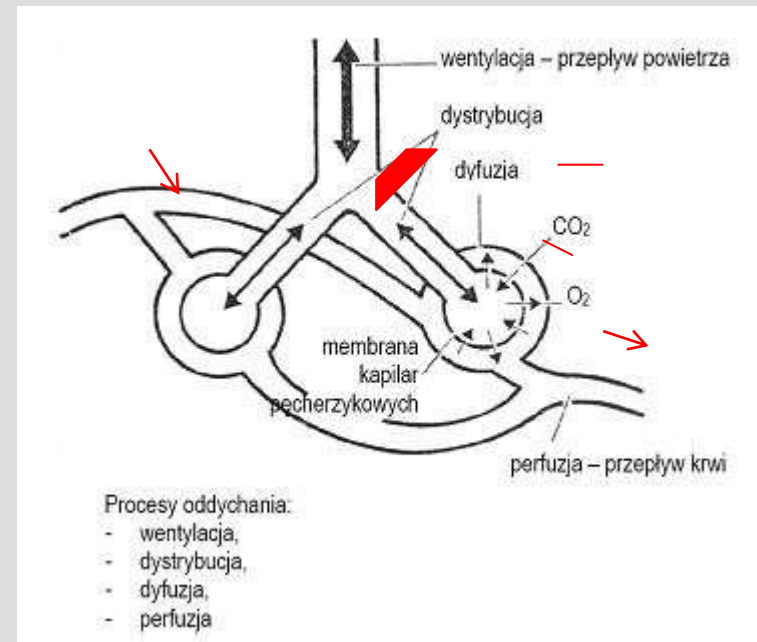
czynniki
chemiczne

Hipoksemiczne obkurczenie naczyń płucnych (HPV - odruch Eulera-Liljestranda)



Przeciek płucny (Q_s/Q_t)

- Występuje kiedy jest prawidłowa perfuzja, ale niewystarczająca wentylacja
- Jest to stosunek tej części rzutu serca, która przepływając przez płuca, nie bierze udziału w wymianie gazowej (Q_s), do całkowitego rzutu serca (Q_t)
- Prawidłowa wartość wynosi do 3-5%



Fizjologiczne parametry oddechowe u dorosłych

- Częstość oddechów (f) 12-20/min
- Objętość oddechowa(TV) 7-8 ml/kg
- Opór (R) 1-3 cm H₂O/l/s
- Podatność (C) 70-100ml/cmH₂O
- Anatomiczna przestrzeń martwa (VD) 2 ml/kg
- Płuczny przeciek prawo –lewy(Q_s/Q_t) 3-5%
- Pojemność życiowa(VC) 4,5-5 L
- Czynnościowa pojemność zalegająca(FRC) 2,5-3 L
- FEV₁ powyżej 75% VC
- Dostarczanie tlenu(DO₂I) 550-650 ml/min/m²
- Zużycie tlenu(VO₂I) 120-160 ml/min/m²