

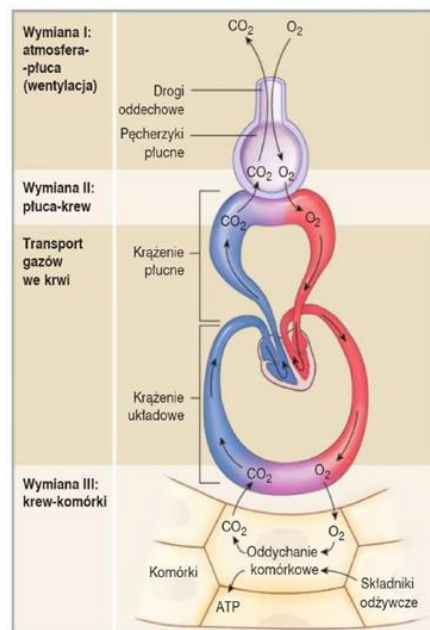
FIZJOLOGIA ĆW 1 układ oddechowy – podstawowe zagadnienia, pikflometria i jej zastosowanie

1. Układ oddechowy funkcja

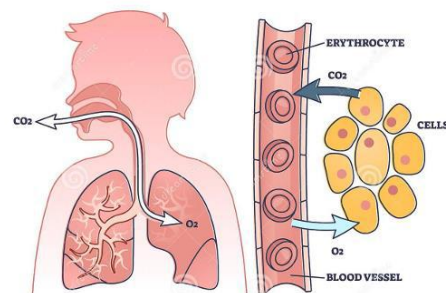
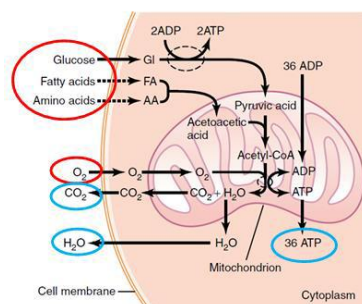
- Podstawowa – dostarczanie tlenu i eliminacja dwutlenku węgla
- Termoregulacyjna
- Usprawnia powrót żylny („pompa oddechowa”)
- Utrzymanie prawidłowej równowagi kwasowo – zasadowej
- Wokalizacja
- Funkcja ochronna
- Funkcja metaboliczna
- Nos służy jako narząd węchu

2. Etapy oddychania zewnętrznego

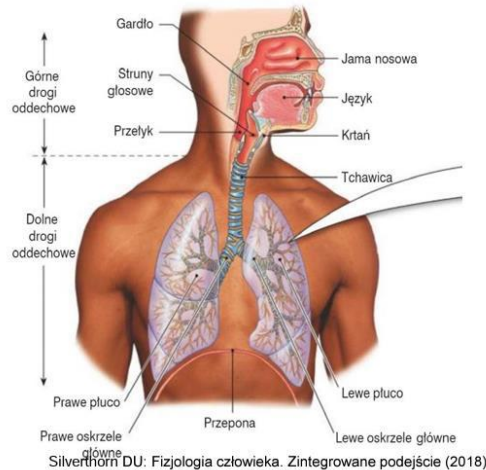
- w małym krwiobiegu tętnicami – od serca – płynie krew odtlenowana, a żyłami – do serca – transportowana jest krew utlenowana



3. Oddychanie wewnętrzne



- Gazy pary – dyfuzja prosta
 - Substancje lotne, dobrze rozpuszczalne w wodzie wchłaniają się w górnych drogach oddechowych: amoniak, chlorowodór, etanol
 - Słabo rozpuszczalne trafiają prawie w całości do pęcherzyków płucnych: tlenki azotu, ozon, fosgen, benzen



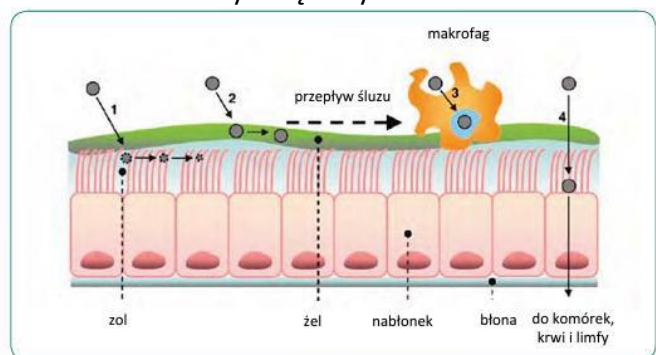
Silverthorn DU: Fizjologia człowieka. Zintegrowane podejście (2018)

C4-C7

- 3 parzyste chrząstki (nalewkowata, różkowata, klinowata) i 3 nieparzyste chrząstki (pierścieniowata, tarczowata, nagłośniowa), połączone za pomocą stawów i więzadeł; błona śluzowa: nabłonek wielorzędowy migawkowy

C6-Th5

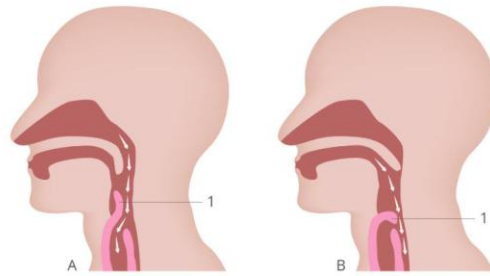
- 15-20 chrząstek szklanych o kształcie podkowiastym, więzadła obrączkowe z włóknami sprężystymi, tylna ściana błoniasta z mięśniówką gładką; wewnątrz: błona śluzowa: nabłonek wielorzędowy walcowaty urzęsiony



Rys. 3. Mechanizmy oczyszczania układu oddechowego: 1 – rozpuszczanie, 2 – oczyszczanie śluzowo-rzęskowe, 3 – fagocytoza, 4 – translokacja [16]
 Fig 3. Respiratory system's clearance mechanisms: 1 – dissolution, 2 – mucociliary clearance, 3 – phagocytosis, 4 – translocation [16]

4. Nagłośnia – ruchoma chrząstka między gardłem i krtanią

- Działa jak zastawka, która podczas oddychania i mówienia uniesiona jest do góry, co umożliwia transport wdychanego powietrza do krtani i tchawicy



Położenie nagłośni (1) przy wdechu (A) i podczas jedzenia (B)

• Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

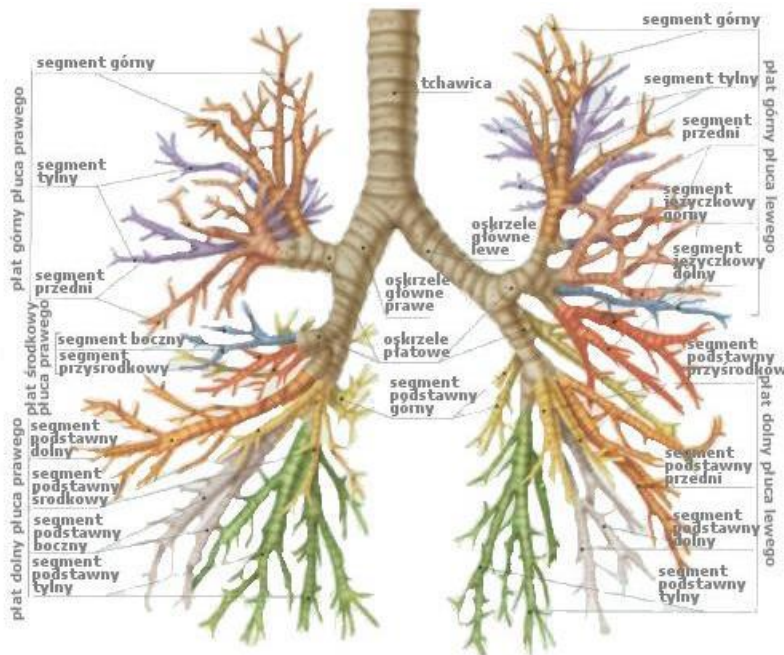
- Podczas przetykania nagłośni opada i zamyka wejście do krtani



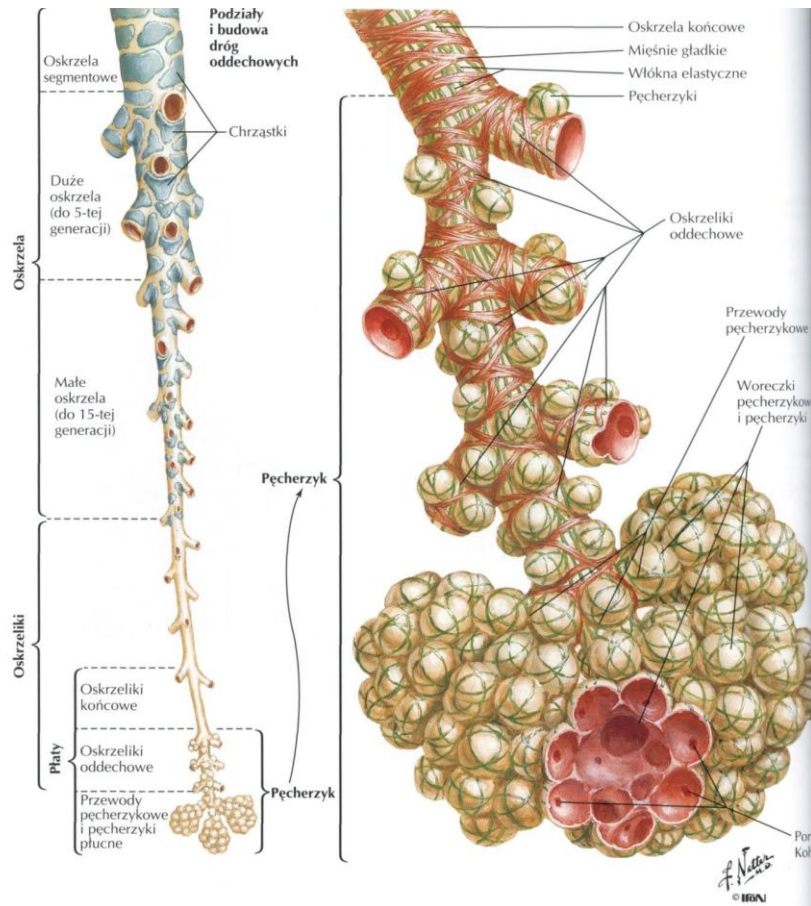
• Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

5. Głośnia – największy odcinek krtani (miejsce powstawania dźwięków)

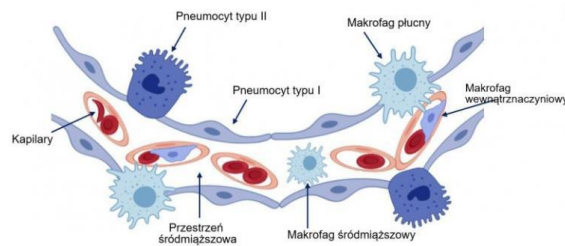
- Błona śluzowa tworzy w niej poprzeczne fałdy – struny głosowe, między którymi znajduje się szpara głosowa



6.



- 7.
8. Pęcherzyki płucne: średnica 100-200 μm ; 500-700 mln; powierzchnia 60-80 m^2 ; grubość ściany pęcherzyka 0,15-0,2 μm ; sieć naczyń oplatających pęcherzyki stanowi 60 m^2 powierzchni.
9. Ściana pęcherzyka płucnego



Ryc. 2: Schemat ściany pęcherzyka płucnego.

-
- Nabłonek wyściełający pęcherzyki:
 - Pneumocyty typu I – płaskie komórki, które pokrywają większość powierzchni pęcherzyków płucnych, udział w transporcie gazów
 - Pneumocyty typu II – występują same lub w małych grupach wśród pneumocytów typu I; morfologia od zaokrąglonej do sześcienniej, z niewielką ilością mikrokosmków na wolnej powierzchni. W cytoplazmie ciążka blaszkowate (cytosomy) – surfaktant

- Przepływ krwi przez płuca: pojemność minutowa serca, wysięk, stany emocjonalne, temperatura

10. Surfaktant

- Zmniejsza napięcie powierzchniowe – działa jak detergent
- Wydzielany przez pneumocyty typu II
- Mieszanina lipidów (ok 90%) i białek
- Zwiększa podatność płuc – sprawia, że płuca łatwiej się rozciągają podczas wdechu
- Stabilizuje rozmiary pęcherzyków, zapobiega ich zapadaniu umożliwiając wymianę gazową
- Fosfolipidy: 80-90% masy czynnika powierzchniowego. Głównie: fosfatydylocholina(70-80 %) i fosfatydyloglicerol(10 %). W znacznie mniejszych ilościach obecne też są: fosfatydyloseryna, fosfatydyloetanolamina, sfingomielina, tłuszcze obojętne i glikolipidy.
- Białka stanowią 5-15% masy surfaktantu

11. Niedobór surfaktantu

- Surfaktant zaczyna być syntezowany 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)

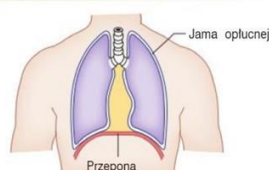
12. Opłucna

- Opłucna pokryta jest jednowarstwowym nabłonkiem płaskim
- Błona surowicza tworząca oddzielną worki dla płuca lewego i prawego
- Jama opłucnej
- Unerwienie opłucnej płucnej charakteryzuje się brakiem włókien bólowych, tylko włókna układu autonomicznego
- Opłucna ścienna unerwiona przez nn. Międzyżebrowe, n. przeponowy i n. błędny

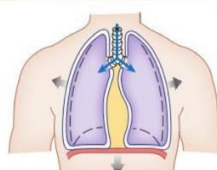
13. Wdech – proces czynny, skurcz przepony

- Wzrost wymiaru piersiowego (górno – dolny)
- Wzrost wymiaru strzałkowego (przednio – tylny)
- Wzrost wymiaru poprzecznego (boczny)

(a) W spoczynku: przepona rozluźniona

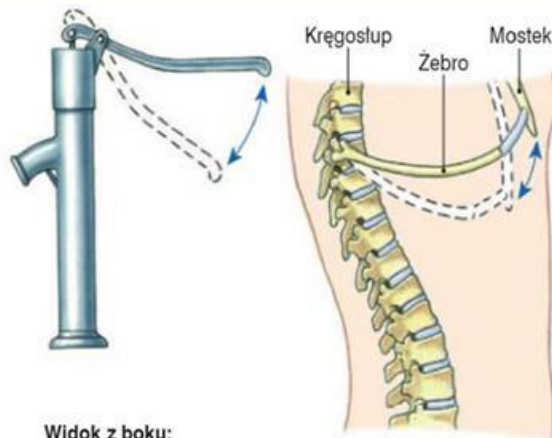


(b) Wdech: objętość klatki piersiowej zwiększa się.



Przepona kurczy się i spłaszcza

W trakcie wdechu wymiary klatki piersiowej zwiększają się.

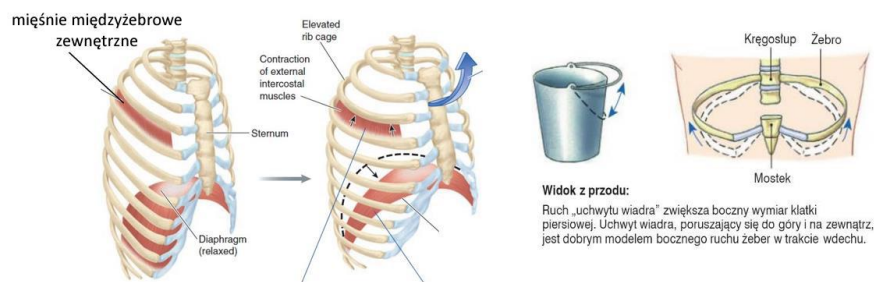


Widok z boku:

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

-
- Ruch sześciu górnych żeber i mostka – skurcz mięśni międzyżebrowych zewnętrznych

14. Wdech – proces czynny, skurcz mięśni międzyżebrowych zewnętrznych

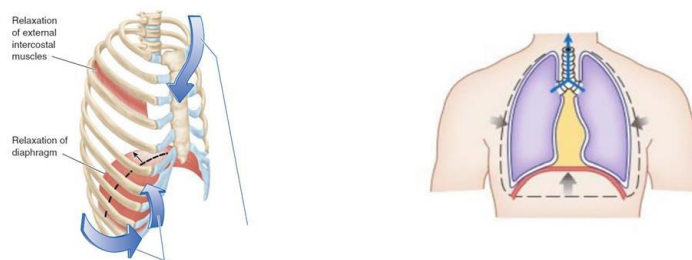


Widok z przodu:

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

-
- Typ oddychania „dolnożebrowego” – częściej spotykany u mężczyzn

15. Wydech – proces bierny, rozkurcz przepony i mięśni międzyżebrowych zewnętrznych

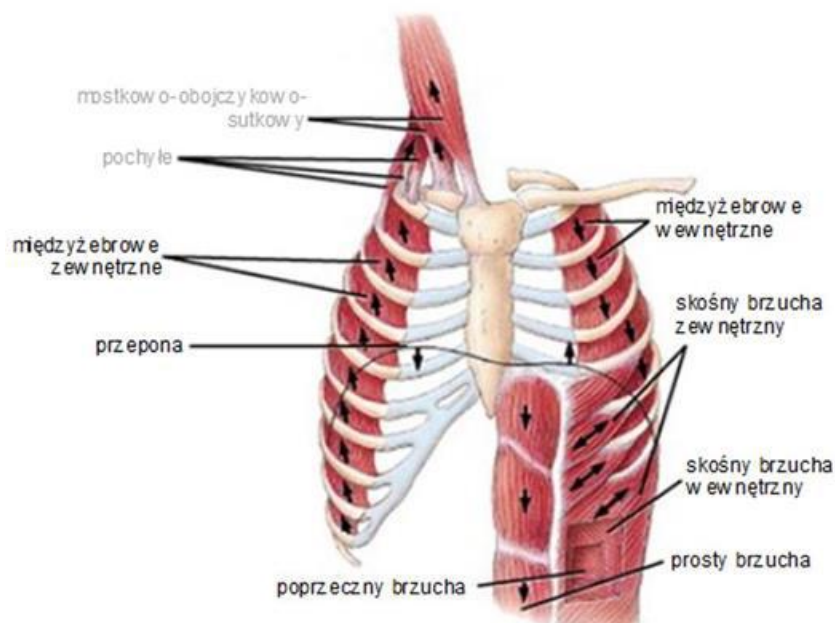


16. Mięśnie wdechowe:

- przepona i mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne
- spokojny wydech to proces bierny

Mięśnie pomocnicze wdechowe	Mięśnie pomocnicze wydechowe
• mięśnie piersiowe większe i mniejsze • mięśnie zębate przednie • mięśnie zębate tylne górne • mięśnie pochyłe • mięśnie mostkowo-obojczykowo-sutkowe • mięśnie dźwigacze łopatek • mięśnie czworoboczne • mięśnie równoległoboczne mały i duży • mięśnie prostowniki kręgosłupa • mięśnie skrzydełek nosowych • mięśnie dźwigacze podniebienia miękkiego i języka • mięsień bródkowo-językowy • mięśnie otwierające jamę ustną	• mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne • mięsień poprzeczny klatki piersiowej • mięśnie najszerze grzbietu • mięśnie poprzeczne brzucha • mięśnie skośne zewnętrzne i wewnętrzne brzucha • mięsień prosty brzucha • mięśnie zębate tylne dolne • mięśnie czworoboczne lędźwi • mięśnie biodrowo-lędźwiowe

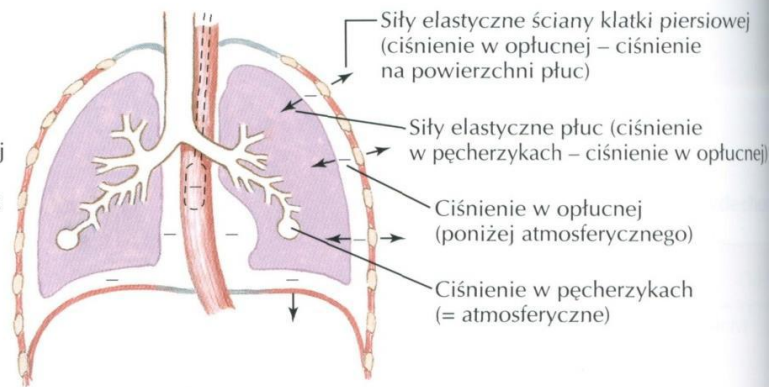
17. Mięśnie pomocnicze wdechowe i wydechowe



18. Siły retrakcji – siły sprężyste, które powstają głównie dzięki elastynie we włóknach sprężystych pęcherzyków płucnych. Siły te dążą do zapadnięcia się płuc i ułatwiają opróżnianie pęcherzyków podczas wydechu

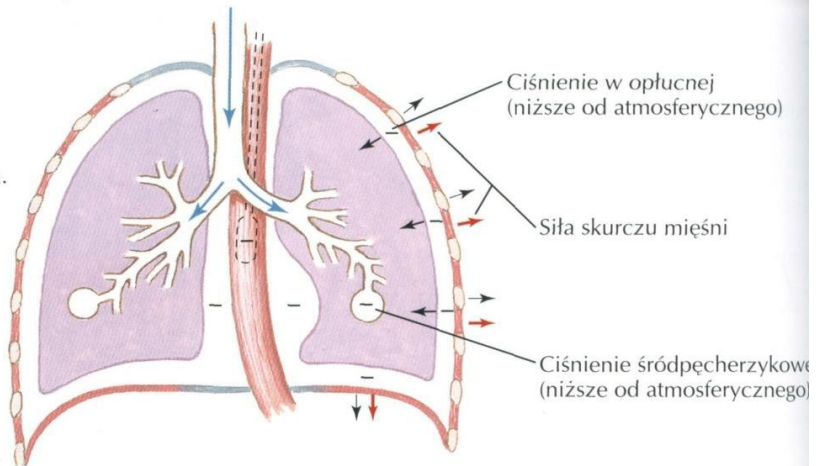
A. W spoczynku

1. Mięśnie oddechowe nie pracują
2. Siły elastyczne płuc i klatki piersiowej są równe, ale przeciwnie skierowane
3. Ciśnienie w drzewie oskrzelowym jest równe atmosferycznemu
4. Nie ma przepływu powietrza



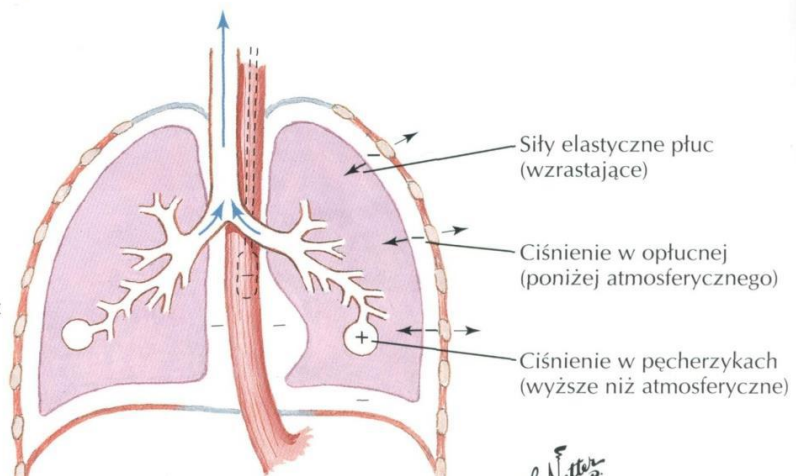
B. Podczas wdechu

Mięśnie wdechowe kurczą się, pojemność klatki piersiowej wzrasta. Ciśnienie śródopłuczek spada poniżej wartości ciśnienia atmosferycznego ze względu na poszerzenie dróg oddechowych. Powietrze przemieszcza się do płuc.



C. Podczas wydechu

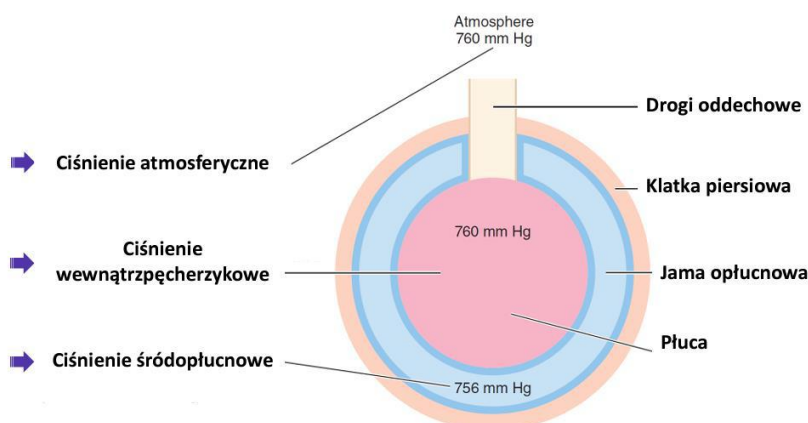
Mięśnie wdechowe ulegają rozluźnieniu. Siły elastyczne płuc powodują podniesienie ciśnienia gazów powyżej ciśnienia atmosferycznego. Powietrze przemieszcza się z płuc na zewnątrz.



19. Płuca są rozciągnięte nawet w spoczynku

- Ściana klatki piersiowej i płuca utrzymywane są w bliskim kontakcie dzięki dwóm siłom: kohezji płynu śródopłucznego i ciśnienia transmuralnego (różnica między ciśnieniem wewnątrzopłuczkowym a pśródoopłuczkowym)
- Zarówno płuca jak i klatka piersiowa nieustannie starają się przyjąć swoje naturalne rozmiary (płuca – mniejsze, klatka piersiowa – większe)
- Ciśnienie transmuralne i siły kohezji płynu śródopłucznego zapobiegają oddzieleniu tych struktur od siebie. Dlatego ciśnienie śródopłuczek (756

mmHg) jest średnio o 3-4 mm Hg niższe od atmosferycznego (760 mm Hg)



● Sherwood L: Human Physiology From Cells to Systems (9th ed)

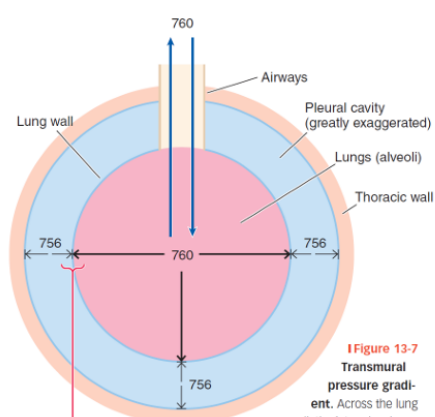


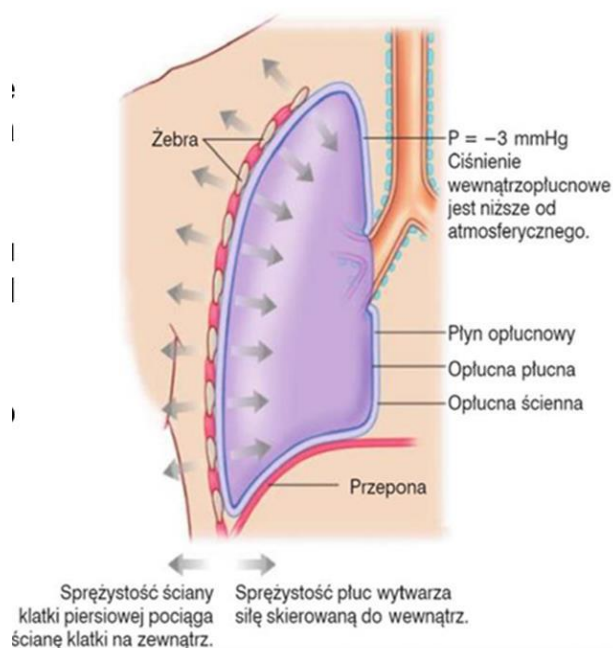
Figure 13-7
Transmurial pressure gradient.

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 transmurial pressure gradient that pushes out on the lungs, stretching them to fill the larger thoracic cavity.

Ciśnienie transmurialne

Numbers are mm Hg pressure.

●

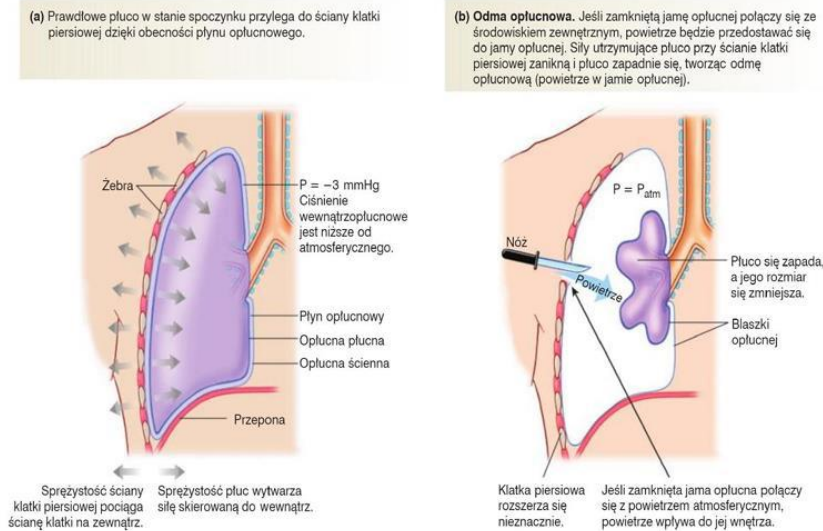


●

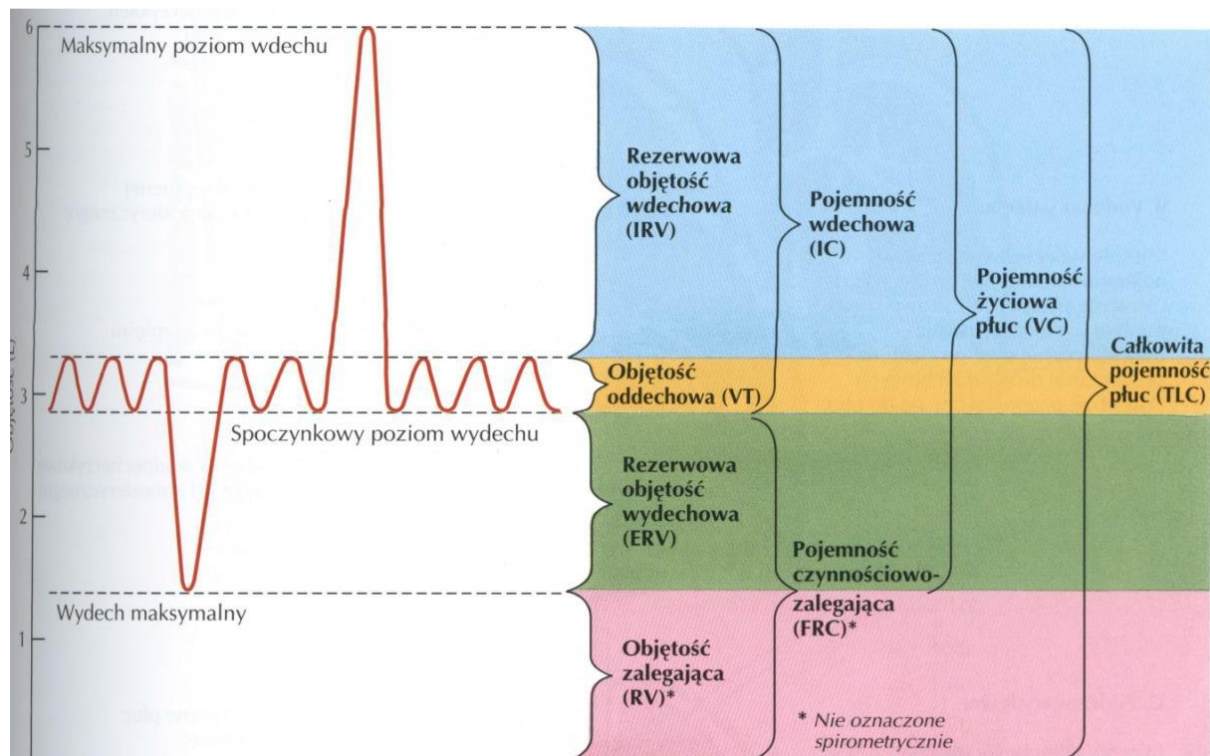
20. Odma opłucnowa

- Odma – znika ujemne ciśnienie śródplucne, płuco przestaje się rozprężać
- Na zewnątrz pęcherzyków płucnych w klatce piersiowej panuje ciśnienie niższe od atmosferycznego
- Ujemne ciśnienie w jamie opłucnej pomaga utrzymywać płuca rozprężone

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

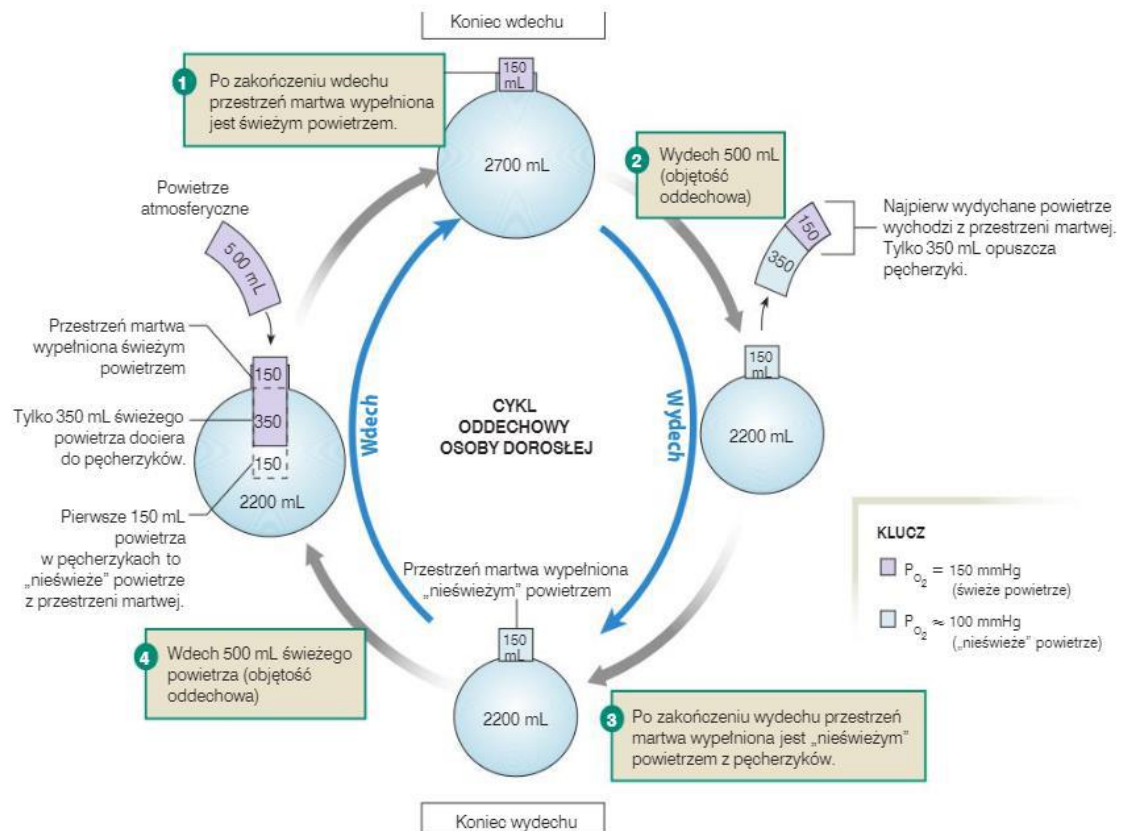


21. Spirometria statyczna odzwierciedla własności sprężyste płuc i ściany klatki piersiowej, opisują ją objętości i pojemności płuc



- **VC-pojemność życiowa płuc** [największa objętość powietrza, którą można wciągnąć do płuc albo wydmuchać pomiędzy maksymalnym wydechem a maksymalnym wdechem, $VC = IRV + VT + ERV$]

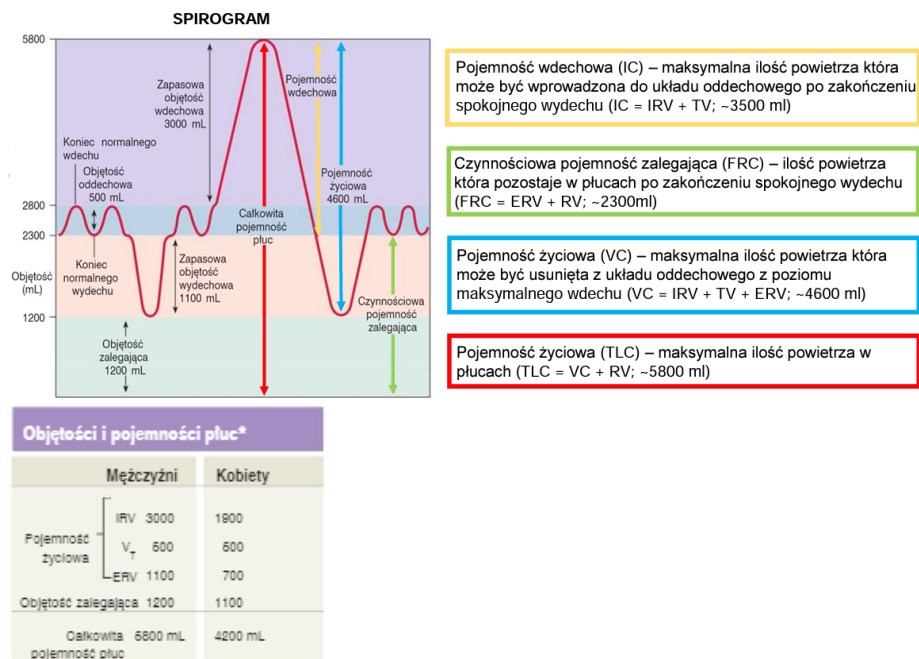
-



22. Wentylacja płuc

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

23. Spirogram



24. Obliczenia objętości i pojemności oddechowych, wentylacji minutowej

- Całkowita pojemność płuc TLC wg Baldwina i Cournandaw ml:
 - Kobiety $TLC = (28,6 - (0,06 \times WIEK)) \times WZROST$
 - Mężczyźni $TLC = (36,2 - (0,06 \times WIEK)) \times WZROST$
- Pojemność życiowa (VC) wg Cournandaw ml
 - Kobiety $VC = (21,78 - (0,101 \times WIEK)) \times WZROST$
 - Mężczyźni $VC = (27,63 - (0,112 \times WIEK)) \times WZROST$

Gdzie : WIEK [LATA] a WZROST [cm]
- Na podstawie wyliczonej wartości TLC i VC można ustalić pozostałe objętości i pojemności płuc, uwzględniając poniższą informację wskazujący jaki stanowią odsetek VC lub TLC:
 - $VC = 72 \% TLC$
 - $V = 15 \% VC$
 - $IRV = 65 \% VC$
 - $ERV = 20 \% VC$
 - $RV = 20-35 \% TLC$
 - $FRC = 40-50 \% TLC$

- Inne wyliczenia należnej pojemności życiowej (VC): -wg Ludwiga, z uwzględnieniem masy ciała [kg] i wzrostu [cm]
 - Kobiety $VC = (40 \times \text{WZROST}) + (10 \times \text{MASA CIAŁA}) - 4400$
 - Mężczyźni $VC = (40 \times \text{WZROST}) + (10 \times \text{MASA CIAŁA}) - 3800$

25. Typy i rodzaje wentylacji

TABELA 14.3 Typy i rodzaje wentylacji		
Nazwa	Opis	Przykłady
Prawidłowy oddech	Normalne, spokojne oddychanie	
<i>Hiperpnoë</i>	Zwiększona częstość oddechów i/lub objętość oddechowa w odpowiedzi na przyspieszenie metabolizmu	Wysiłek fizyczny
Hiperwentylacja	Zwiększona częstość oddechów i/lub objętość oddechowa bez przyspieszenia metabolizmu	Hiperwentylacja emocjonalna; nadmuchiwanie balonika; zadyszka
Hipowentylacja	Zmniejszona wentylacja pęcherzykowa	Płytke oddychanie; astma, choroby restrykcyjne
<i>Tachypnoë</i>	Przyspieszony oddech; zwykle zwiększona częstość oddechów w połączeniu ze zmniejszoną ich głębokością	Zadyszka
<i>Dyspnoë</i> (duszność)	Utrudnione oddychanie (uczucie subiektywne, określane czasem jako „brak powietrza”)	Różne stany patologiczne oraz znaczny wysiłek
<i>Apnoë</i> (bezdech)	Zatrzymanie oddychania	Dobrowolne wstrzymanie oddechu; zahamowanie ośrodka oddechowego w OUN

26. Spirometria dynamiczna pozwala na pomiar przepływu powietrza (diagnoza możliwych zwężeń światła dróg oddechowych – obturacji) w poszczególnych fazach oddechu i ocenę natężonej pojemności płuc (natężone wydechy poprzedzone natężonymi wdechami)

- Przykładowe przyczyny obturacji, np. astma oskrzelowa, obrzęk krtani, porażenie strun głosowych
- Badania wymagają powtarzalności wydechów, poprawności wykonania, ważne w ocenie wyniku są: wysiłek poprzedzający badanie, posiłek, przyjęte leki, współpraca pacjenta z osobą badającą
- Norma dla wskaźnika Tiffaneau (stosunku procentowego FEV1/FVC) dla ludzi młodszych 82-84 % (dolna granica normy 71-73 %), a starszych 75-76 % (dolna granica normy 63-66 %).
- Wskaźniki spirometrii podlegają znacznej zmienności, zarówno w krótkich odstępach czasu jak i długich (dzień, tydzień, miesiąc, rok)

27. Pikflometr pozwala na monitorowanie szczytowego przepływu wydechowego (PEF)

- PEF jest to przepływ szczytowy, a więc maksymalna prędkość przepływu powietrza, jaką osiągnąć można w trakcie maksymalnego wydechu
- Wartość PEF uwarunkowana jest wielkością płuc, siłą mięśni wydechowych i średnicą oskrzeli
- Prawidłowa wartość PEF u osoby zdrowej to ok. 400-600l/minutę
- Odczyty podawane są na skali w litrach na minutę (l/min)

28. Wybrane parametry spirometrii dynamicznej

FVC

- Natężona pojemność życiowa, która odpowiada między innymi na **ilość powietrza wydychanego w trakcie natężonego wydechu, po maksymalnym, powolnym wdechu**. W przypadku, gdy FVC jest zaniżone, może to świadczyć o zmniejszonej ilości miąższu płuc, co dotyczy niektórych schorzeń układu oddechowego.

FEV1

- Jest to natężona objętość wydechowa pierwszo sekundowa, która dotyczy objętości powietrza wydychanego w pierwszej sekundzie natężonego wydechu. Dzięki temu parametrowi można ocenić między innymi drożność dróg oddechowych. Jeśli wynik jest poniżej normy, może świadczyć o chorobach związanych ze zwężeniem oskrzeli.

PEF

- Jest to przepływ szczytowy, a więc **maksymalna prędkość przepływu powietrza**, jaką osiągnąć można w trakcie maksymalnego wydechu.

MEF25,MEF50iMEF75

- **MEF są to wskaźniki, dzięki którym można ocenić przepływ powietrza w drobnych oskrzelach**. Wyniki podawane są w litrach na sekundę. MEF– 25%, 50%, 75%-maksymalny przepływ wydechowy po wypuszczeniu 75%, 50%, 25% powietrza; MEF50>60%

Wskaźnik Tiffeneau

- Wskaźnik Tiffeneau to jest wskaźnik, który określa między innymi stosunek FEV1 do pojemności życiowej-VC, który to wyraża się w procentach. Jeżeli wynik jest poniżej normy oznacza on między innymi obturacji dróg oddechowych. Pozwala więc zdiagnozować między innymi ciężki przebieg astmy, jak również i wczesne objawy POChP.
- **Norma dla wskaźnika Tiffeneau(stosunku procentowego FEV1/FVC) dla ludzi młodszych 82-84 % (dolna granica normy 71-73 %), a starszych 75-76 % (dolna granica normy 63-66 %).**

Stopniowanie ciężkości obturacji w zależności of FEV ₁	
Jeżeli FEV ₁ <VC max<DGN(dolna granica normy) i	
	Zaburzenie
FEV ₁ ≥100 nal.	może być fizjologiczne
70 % nal. ≤FEV ₁ ≥ 100% nal.	łagodne
60 % nal. ≤FEV ₁ ≥ 70% nal.	umiarkowane
50 % nal. ≤FEV ₁ ≥ 60% nal.	umiarkowane ciężkie
35 % nal. ≤FEV ₁ ≥ 50% nal.	ciężkie
FEV ₁ < 35 %	bardzo ciężkie

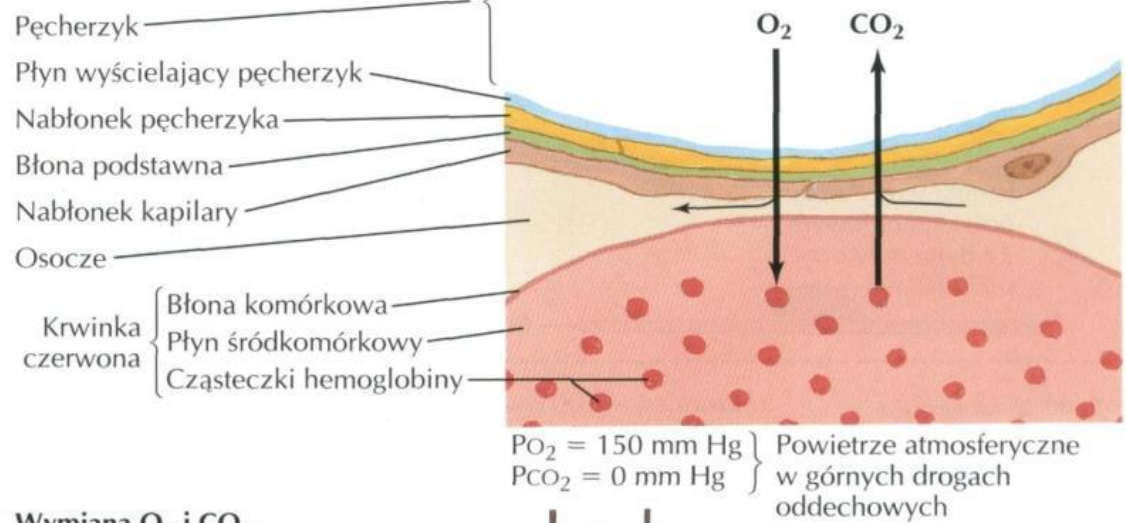
29. Wymiana gazowa

- Różnica ciśnień parcyjnych gazów pomiędzy powietrzem pęcherzykowym, a krwią żylną
- Gaz wędruje od ciśnienia wyższego do niższego, dążąc do wyrównania ciśnień parcyjnych
- Szybkość dyfuzji zależy od: różnicy stężeń po obu stronach błony pęcherzykowo – włośniczkowej. Większa różnica daje szybką dyfuzję
- Duże pole powierzchni dyfuzji; współczynnik dyfuzji, czyli pojemność dyfuzyjna – współczynnik dyfuzji CO₂ jest 25 razy większy niż O₂, dlatego rozpuszczalność dwutlenku węgla w wodzie jest większa niż tlenu, co wykorzystuje się praktycznie.

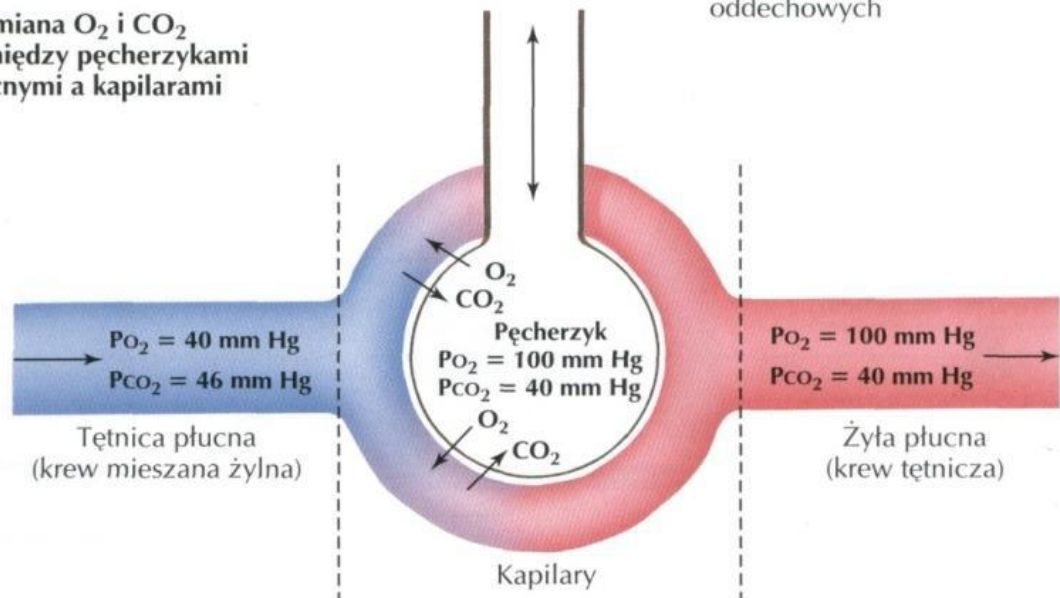
30. Mechanizm wymiany gazowej w płucach

- W krwiobiegu płucnym z prawej komory serca wychodzi pień płucny, który rozgałęzia się na dwie tętnice płucne, wchodzące do prawego i lewego płuca. Płynię nimi (w przeciwieństwie do innych tętnic) krew odtlenowana.
- Krew zaopatrzona w tlen opuszcza płuca 2 żyłami płucnymi prawymi oraz 2 żyłami płucnymi lewymi i trafia do lewego przedsionka

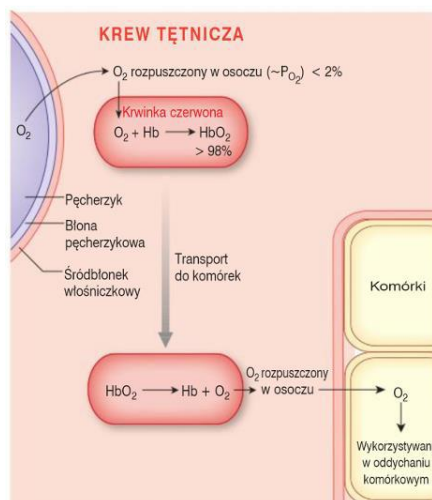
Drogi dyfuzji O_2 i CO_2

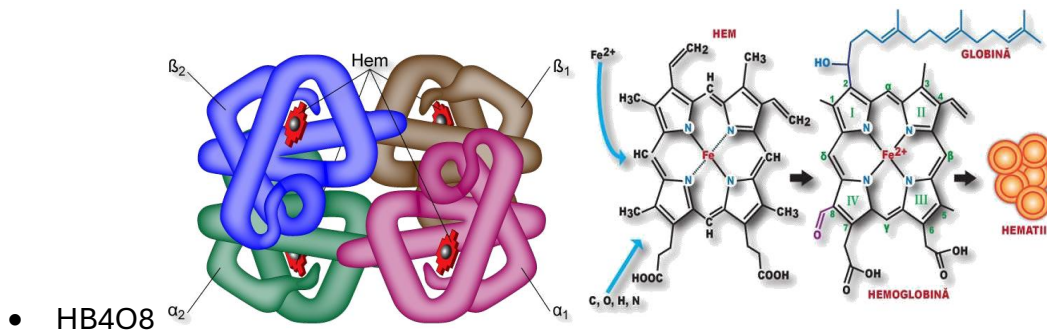


Wymiana O_2 i CO_2 pomiędzy pęcherzykami płucnymi a kapilarami

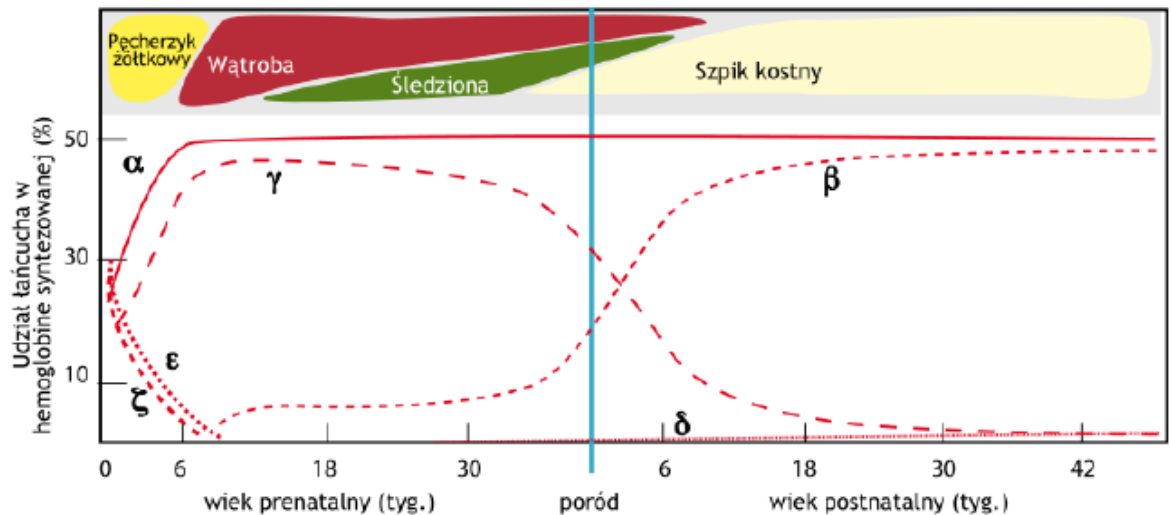


-
- 98% tlenu jest transportowane przez Hb
- 2% jest transportowane w postaci rozpuszczonej w osoczu





31. Miejsce i odsetek syntezy łańcuchów hemoglobiny w życiu pre- i postnatalnym



- Hemoglobina płodowa; ma większe powinowactwo do tlenu niż HbA, dzięki czemu jest w stanie pobrać tlen z krwi matki przez łożysko i uwolnić go w tkankach płodu. W życiu pozamacicznym jest zastępowana, gdyż słabiej uwalnia tlen w tkankach przy wyższym ciśnieniu parcjalnemu tlenu

32. Podsumowanie

- Wysycenie hemoglobiny tlenem (saturacja) zależy od :
 - **PaO2**
 - Stężenia 2,3-difosfoglicerynianu (2,3-DPG) w erytrocytach
 - pH
 - temperatury
- 1g hemoglobiny wiąże 1,39 ml O2. W celu utrzymania dostatecznej dostawy O2 do tkanek PaO2 nie powinno być mniejsze niż 70 mm Hg, a saturacja nie mniejsza niż 85%
- DPG zmniejsza powinowactwo Hb do tlenu (ułatwia odłączanie i oddawanie tlenu tkankom)

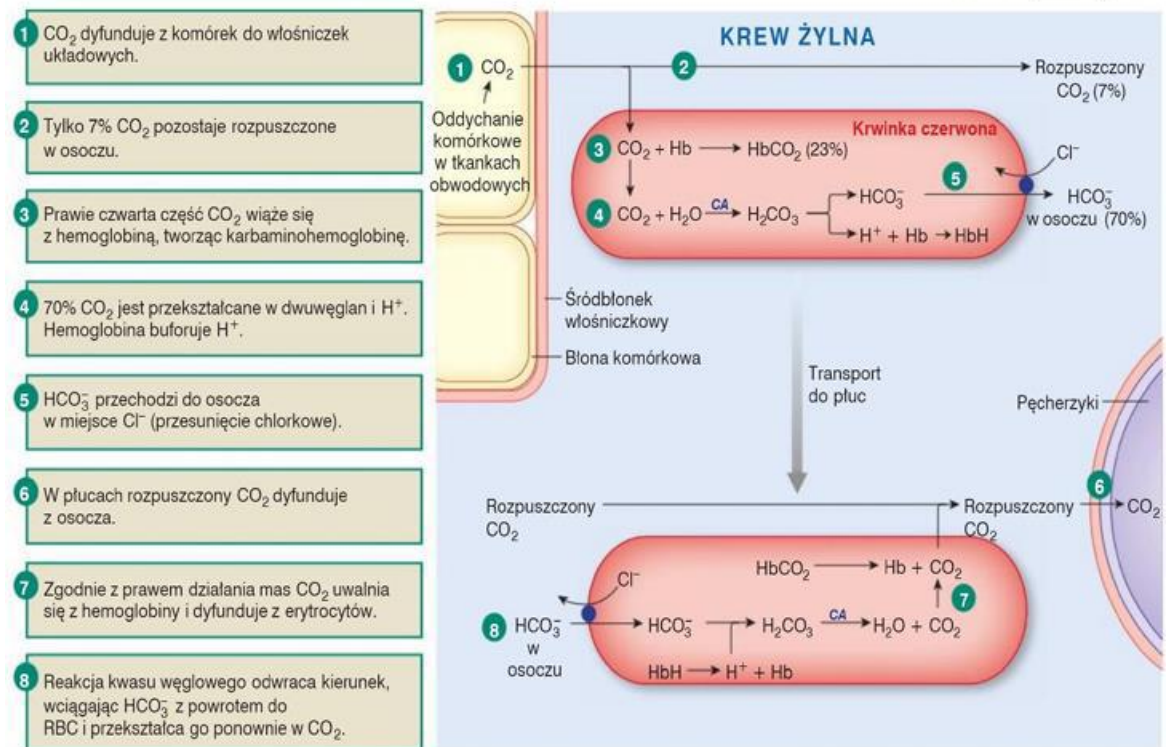
33. Powinowactwo hemoglobiny do CO

34. Transport dwutlenku węgla

Większość CO₂ we krwi jest przekształcana w HCO₃⁻.

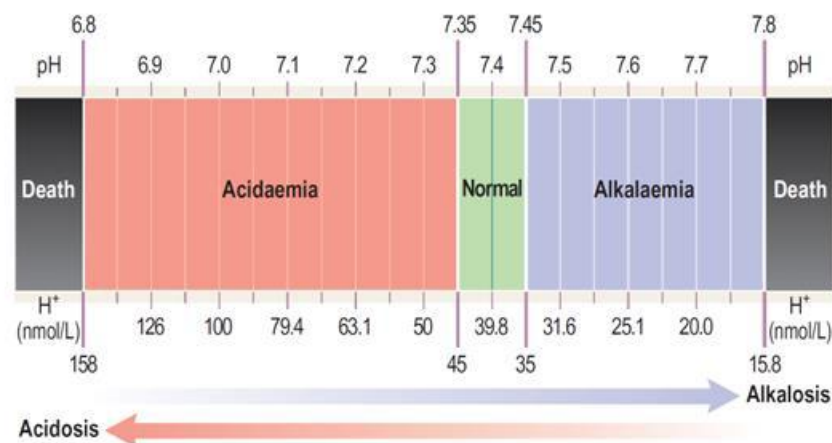
KLUCZ

CA = anhidraza węglanowa



35. Analiza gazometrii krwi tętniczej: równowaga kwasowo – zasadowa

- pH – pomiar kwasowości lub zasadowości na podstawie obecnych jonów wodoru (H⁺)



- Krew ludzka ma zwykle pH 7,35-7,45 (H⁺ = 35-45 nmol/L) i dlatego jest lekko zasadowa. Poniżej pH 7,35 rozpoznaje się kwasicę, powyżej normalnego zakresu pH 7,45 występują zasadowica

36. Układ oddechowy odgrywa kluczową rolę w regulacji pH krwi poprzez kontrolowanie poziomu dwutlenku węgla (CO₂)



- Rozpuszczanie CO₂ w osoczu powoduje powstawanie kwasu. Im więcej CO₂ we krwi tym więcej powstaje H₂CO₃, który dysocjując, uwalnia H⁺
- pH krwi zależy nie tylko od całkowitej ilości CO₂ lub HCO₃⁻, ale od stosunku CO₂ do HCO₃⁻. Dlatego zmiana stężenia CO₂ jeżeli jest równoważona przez zmianę stężenia HCO₃⁻, powodującą zachowanie stosunku CO₂ lub HCO₃⁻, nie prowadzi do zmiany pH krwi
- stężenie CO₂ jest regulowane przez oddychanie
- HCO₃⁻ przez wydalanie nerkowe

37. Mechanizm oddechowy

- CO₂ jest przenoszony z krwią do płuc. Im więcej CO₂ we krwi, tym więcej jest wytwarzane H₂CO₃, który dysocjuje z uwolnieniem H⁺
- Aktywacja płuc w celu wyrównania braku równowagi kwasowo – zasadowej rozpoczyna się w ciągu 1-3 minut
- ↑ H₂CO₃ we krwi
- ↓ pH krwi
- ↑ wentylacji płuc do czasu przywrócenia odpowiedniej ilości CO₂
- ↓ H₂CO₃ we krwi
- ↑ pH krwi
- ↓ wentylacji płuc do czasu przywrócenia odpowiedniej ilości CO₂
- Wzrost poziomu CO₂ (hipowentylacja)
 - CO₂ gromadzi się we krwi → więcej H₂CO₃ → więcej H⁺ → spadek pH (kwasica oddechowa)
 - Może wystąpić w chorobach płuc (POChP, astma), przy zatrzymaniu oddechu lub depresji ośrodka oddechowego
- Spadek poziomu CO₂ (hiperwentylacja)
 - CO₂ szybciej usuwany → mniej H₂CO₃ → mniej H⁺ → wzrost pH (zasadowica oddechowa)
 - Może być wynikiem stresu, lęku, gorączki lub pobudzenia ośrodka oddechowego
- Przy spadku pH (kwasicy) – oddychanie przyspiesza, aby usunąć więcej CO₂ i podnieść pH
- Przy wzroście pH (zasadowicy) – oddychanie zwalnia, aby zatrzymać CO₂ i obniżyć pH
- Układ oddechowy działa szybciej niż nerki – może w ciągu minut regulować pH poprzez zmianę częstości i głębokości oddechów

38. Mechanizm nerkowy (metaboliczny)

- Nerki wydzielają H^+ do moczu, a zwrotnie wchłaniają z niego HCO_3^-
 - Anion HCO_3^- jest zasadą, która zmniejsza stężenie H^+ we krwi
 - Nerki mają zdolność dostosowania wydzielania H^+ oraz HCO_3^- do moczu, w zależności od zmiennego wytwarzania kwasów w procesach metabolicznych
 - Proces w nerkach może trwać od kilku godzin do kilku dni, aby skorygować brak równowagi
-
- ↓ pH krwi
 - ↑ HCO_3^- we krwi nerki kompensują zatrzymując HCO_3^-
-
- ↑ pH krwi
 - ↓ HCO_3^- we krwi nerki kompensują wydając HCO_3^-

39. Kwasica to każdy proces, który powoduje obniżenie pH krwi

- Jeśli jest to spowodowane wzrostem $PaCO_2$, to jest to kwasica oddechowa
- Jeśli jest to spowodowane inną przyczyną, to stężenie HCO_3^- jest niskie i jest to kwasica metaboliczna

40. Zasadowica to każdy proces, który powoduje wzrost pH krwi

- Jeśli jest to spowodowane spadkiem $PaCO_2$, to jest to zasadowica oddechowa
- Jeśli jest to spowodowane inną przyczyną, to stężenie HCO_3^- jest wysokie i jest to zasadowica metaboliczna

41. Ocena kwasicy/zasadowicy

	pH	$PaCO_2$	HCO_3^-
Kwasica oddechowa	↓	↑	w normie
Zasadowica oddechowa	↑	↓	w normie
Kwasica metaboliczna	↓	w normie	↓
Zasadowica metaboliczna	↑	w normie	↑

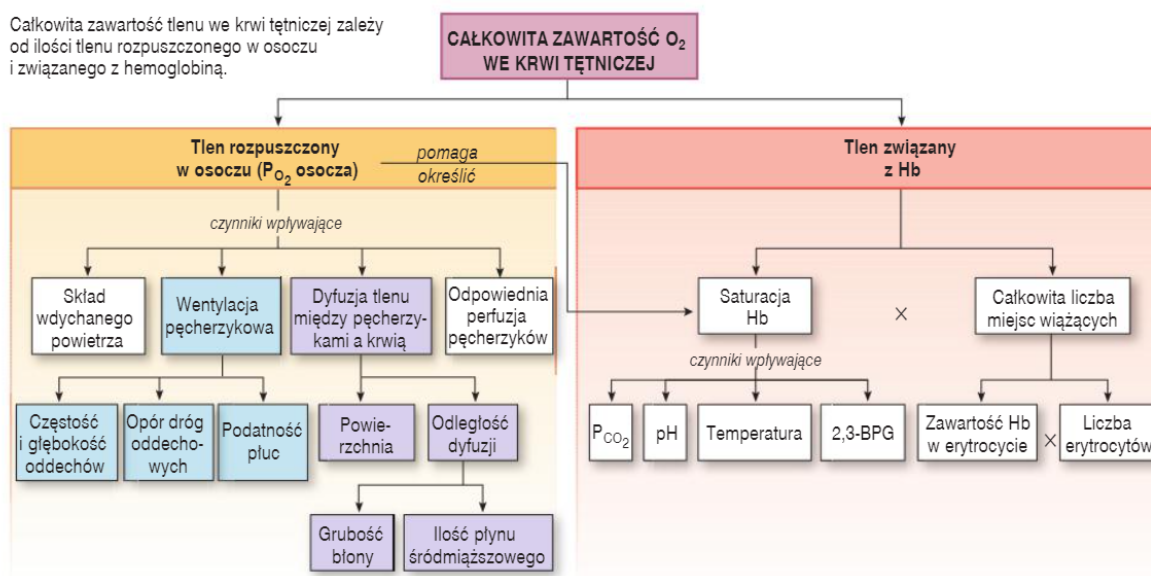
- ETAP 1 Ocena pH osocza, aby określić, czy wartość mieści się w zakresie normy (7,35-7,45), zasadowym (>7,45) lub kwasowym (<7,35)
- ETAP 2 Jeśli pH jest zasadowe lub kwaśne, należy ustalić, czy jest to spowodowane głównie przez problem oddechowy lub metaboliczny. Aby to zrobić, należy ocenić wartość $PaCO_2$. **W przypadku problemu z oddychaniem, gdy pH spada poniżej 7,35, wartość $PaCO_2$ powinna wzrosnąć. Jeśli pH wzrośnie powyżej 7,45, $PaCO_2$ powinno się zmniejszyć. Należy porównać wartości pH i $PaCO_2$. Jeśli pH i**

PaCO₂ poruszają się w przeciwnych kierunkach, to problem ma charakter głównie oddechowy.

- ETAP 3 Oceń wartość HCO₃. Przy zaburzeniu metabolicznym, w miarę wzrostu pH, HCO₃ powinno również wzrosnąć. Gdy pH spada, HCO₃ również powinien się zmniejszyć. Należy porównać wartości pH i HCO₃. **Jeśli pH i HCO₃ zmieniają się w tych samych kierunkach, problem ma przede wszystkim charakter metaboliczny.**

RYC. 15.10 Tlen we krwi tętniczej

Całkowita zawartość tlenu we krwi tętniczej zależy od ilości tlenu rozpuszczonego w osoczu i związanego z hemoglobiną.

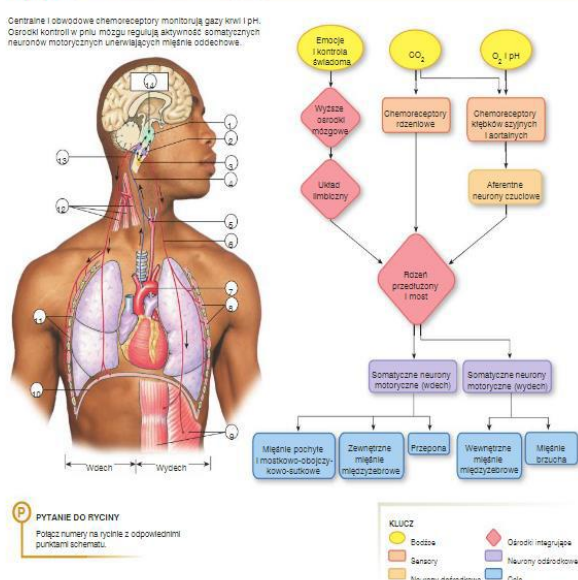


42.

43. Regulacja oddychania

RYC. 15.13 Odruchowa kontrola wentylacji

Centralne i obwodowe chemoreceptory monitorują gazy krwi i pH. Ośrodki kontroli w pniu mózgu regulują aktywność somatycznych neuronów motorycznych unerwiających mięśnie oddechowe.

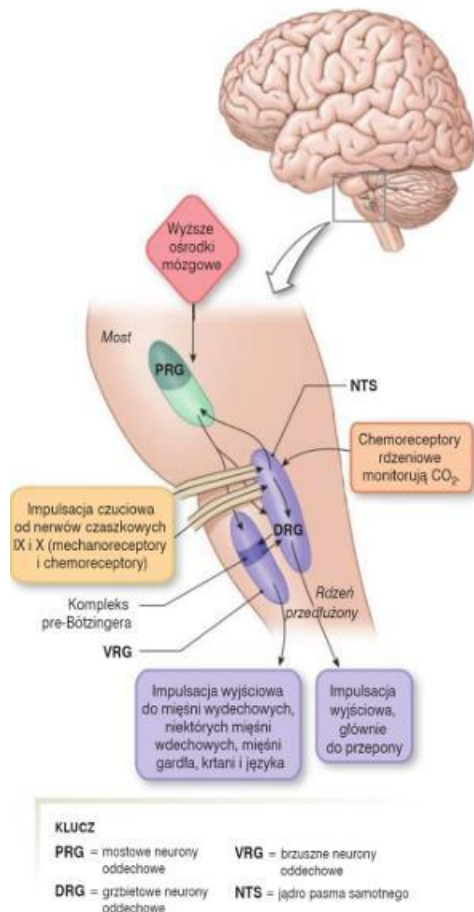


DRG – grzbietowa grupa neuronów oddechowych rdzenia przedłużonego – **neurony wdechowe** – aktywne podczas wdechu

VRG – brzuszna grupa neuronów oddechowych rdzenia przedłużonego – **neurony wdechowe i wydechowe** – aktywne podczas wysiłku

Kompleks pre-Bötzingera – neurony rozrusznikowe

- Ośrodek wdechu: neurony jądra samotnego i części przedniej jądra tylnego – dwuznacznego nerwu błędnego
- Ośrodek wydechu: neurony jądra dwuznacznego nerwu błędnego i części tylnej jądra tylnego – dwuznacznego nerwu błędnego
- Ośrodek pneumotaksyczny – ośrodek hamujący ośrodek wdechu
- Ośrodek apneustyczny – ośrodek pobudzający ośrodek wdechu



44. Receptory dróg oddechowych i płuc

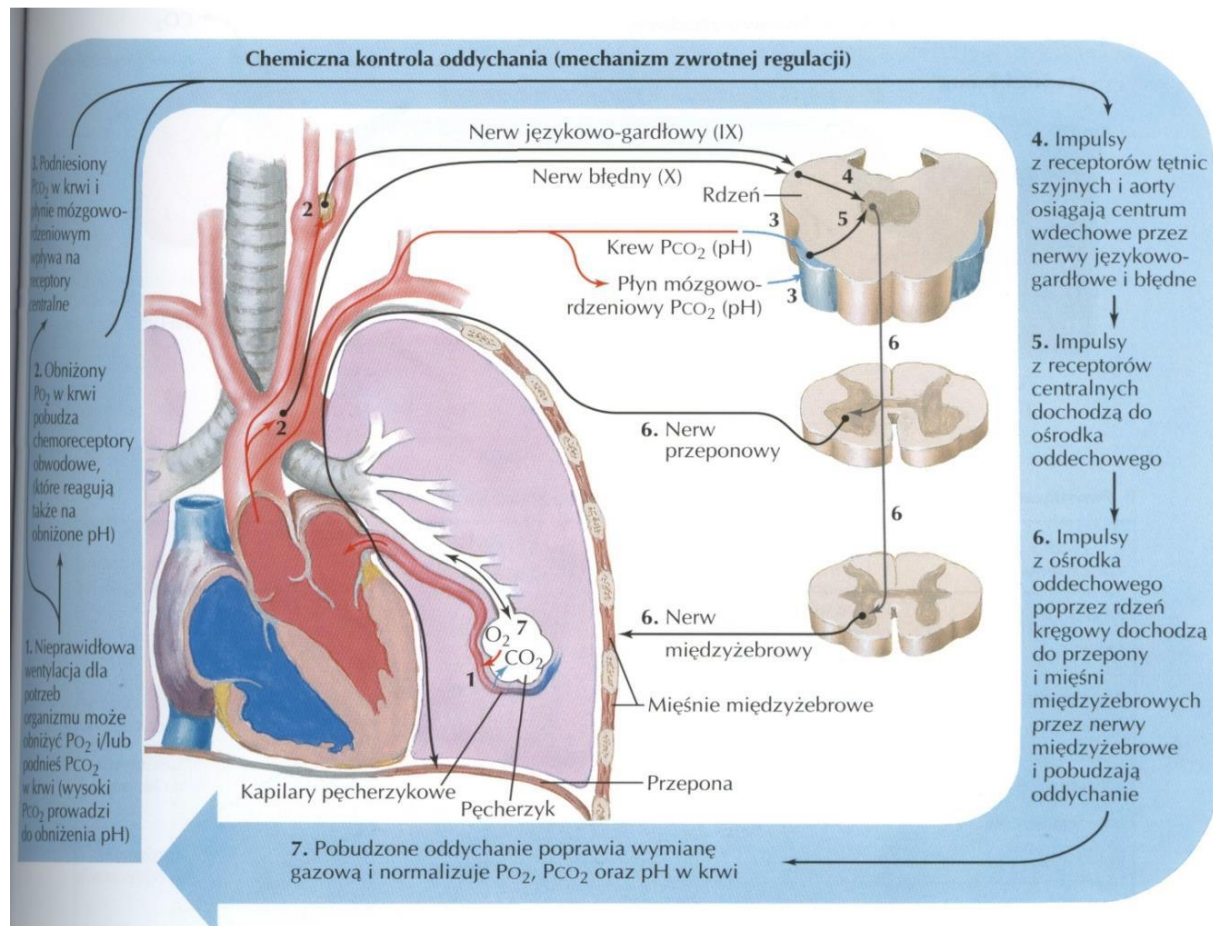
- Mechanoreceptory wolnoadaptujące (SAR)
 - Mięśnie gładkie dróg oddechowych: 15% w tchawicy, 85% w mniejszych oskrzelach, oskrzelikach; pobudzone przez naturalne ruchy oddechowe. Odruch Heringa – Breuera
- Mechanoreceptory szybkoadaptujące (RAR)
 - Podnabłonkowe głównie pod błoną śluzową tchawicy oraz w dużych i średnich oskrzelach wrażliwe na chemiczne czynniki drażniące – amoniak, SO₂, eter, dym tytoniowy, pobudzone także przez deflację
- Receptory C oskrzeli
 - Tchawica i całe drzewo oskrzelowe, reagują głównie na pobudzenia chemiczne (autokoidy płucne, alkaloidy)
- Receptory J tkanki płucnej

- o Zlokalizowane między naczyniami włosowatymi a pneumocytami. Pobudzone przez bodziec mechaniczny w tkance płucnej, oraz obrzęk płuc.

45. Odruch Heringa – Breuera – odruch z wolno adaptujących receptorów SAR, znajdujących się w mięśniówce gładkiej tchawicy i dużych oskrzeli, pobudzany przez rozciągnięcie płuc. Hamuje ośrodek wdechowy i pobudza wydechowy

46. Regulacja oddychania

- Wzrost prężności CO_2 w krwi tętniczej pobudza chemoreceptory centralne poprzez zmianę pH w płynie mózgowo – rdzeniowym
- Chemoreceptory obwodowe (tętnic szyjnych i aorty) są także wrażliwe na zmiany w krwi tętniczej PO_2 , PCO_2 , pH oraz na sygnały z nerwów czuciowych. Do ośrodków oddechowych bodźce te dochodzą za pośrednictwem nerwu IX i X



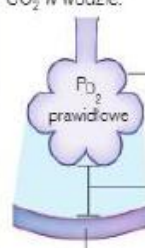
47.

TABELA 15.1 Klasyfikacja hipoksji (niedotlenienia)		
Typ	Definicja	Typowe przyczyny
Hipoksja hipoksyiczna	Niskie tętnicze P_{O_2}	Duża wysokość; hipowentylacja pęcherzykowa; zmniejszona pojemność dyfuzyjna płuc; patologicznie zmieniony współczynnik wentylacja/perfuzja
Hipoksja z niedokrwistości	Zmniejszona całkowita ilość O_2 związanego z hemoglobiną	Utrata krwi; niedokrwistość (niskie stężenie Hb lub patologiczne wiązanie tlenu w HbO_2); zatrucie tlenkiem węgla
Hipoksja niedokrwienna	Zmniejszony przepływ krwi	Niewydolność serca (hipoksja całego organizmu); wstrząs (hipoksja obwodowa); zatorowość (hipoksja pojedynczego narządu)
Hipoksja histotoksyczna	Niemożliwość wykorzystania O_2 przez komórki z powodu zatrucia	Zatrucie cyjankiem i inne zatrucia metaboliczne

TABELA 15.2 Normy w pulmonologii		
	Tętnicze	Żyłne
P_{O_2}	95 mmHg (85–100)	40 mmHg
P_{CO_2}	40 mm Hg (35–45)	46 mmHg
pH	7,4 (7,38–7,42)	7,37

48. Stany patologiczne powodujące hipoksję :

$$\text{Dyfuzja} \propto \text{powierzchnia} \times \text{przepuszczalność bariery/odległość}^2$$

Prawidłowe płuco	Rozedma	Zwłóknienie płuc	Obrzęk płuc	Astma
 P_{O_2} prawidłowe P_{O_2} prawidłowe	Uszkodzenie pęcherzyków oznacza zmniejszenie powierzchni wymiany gazowej  P_{O_2} prawidłowe lub obniżone P_{O_2} obniżone Powiększenie się przestrzeni powietrznych obwodowo od oskrzelików oraz uszkodzenie ścian pęcherzyków płucnych. Głównie u palaczy.	Pogrubione błony pęcherzykowe spowalniają wymianę gazową. Utrata podatności płuc może zmniejszyć wentylację pęcherzykową.  P_{O_2} prawidłowe lub obniżone P_{O_2} obniżone Odkładania się w mięszu płuc tkanki włóknistej (bliznowatej), w wyniku stanu zapalnego. Tkanka włóknista utrudnia wymianę tlenu w płucach pomiędzy pęcherzykami płucnymi a krwiobiegami.	Płyn w przestrzeni śródmiąższowej zwiększa odległość dyfuzji. Tętnicze P_{O_2} może być prawidłowe dzięki większej rozpuszczalności CO_2 w wodzie.  P_{O_2} prawidłowe P_{O_2} obniżone Prawidłowa powierzchnia wymiany Zwiększona odległość dyfuzji	Zwiększony opór dróg oddechowych zmniejsza wentylację pęcherzykową.  P_{O_2} obniżone Zwężone oskrzeliki • Infekcja układu oddechowego. • Alergeny, leki • Wysilek fizyczny, stres, bardzo silne emocje (śmiech, płacz) • Stres • Czynniki drażniące, np. dym tytoniowy, zanieczyszczenia powietrza (smog). • Refluks żołądkowo-przełykowy

-
- W warunkach prawidłowych nad płucami słyszalny jest szmer pęcherzykowy
- szmer oskrzelowy ma szerokie spektrum częstotliwości i prawidłowo słyszalny jest tylko nad tchawicą lub dużymi oskrzelami
- szmery powstają w wyniku przepływu powietrza przez kolejne odcinki układu oddechowego – krtań, tchawicę, oskrzela, oskrzeliki oraz pęcherzyki płucne
- ściszenie szmeru pęcherzykowego może być wynikiem np. upośledzenia przedostawania się powietrza do obwodowych części płuc (w rozedmie) albo osłabienia przenoszenia szmeru wskutek obecności płynu lub powietrza w jamie opłucnej lub deformacji klatki piersiowej

49. szmery oddechowe dodatkowe

- rzężenia to niedźwięczne, krótkie ($<0,25$ s) przerywane szmery oddechowe, wywoływane przez nagłe wyrównanie ciśnienia gazów pomiędzy dwoma obszarami płucnymi. Powstają one podczas otwarcia wcześniej zamkniętych małych dróg oddechowych
 - drobnobańkowe, tzn. trzeszczenia (o wyższej częstotliwości), których przyczynami może być między innymi zapalenie płuc, obrzęk płuc, włóknienie płuc
 - grubobańkowe (o niskiej częstotliwości), których przyczyną mogą być np. rozstrzenie oskrzeli
- świsty i furczenia to dźwięczne szmery o charakterze ciągłym ($>0,25$ s) o częstotliwości wysokiej (świsty) lub niskiej (furczenia)
 - świsty – to dźwięki o charakterze syczącym, świszczącym, powstają wskutek turbulentnego przepływu powietrza przez zwężone drogi oddechowe
 - furczenia wynikają głównie z obecności wydzieliny w drogach oddechowych
 - świsty wdechowe – dźwięki, które powstają wskutek zwężenia dróg oddechowych położonych poza klatką piersiową, czyli w obrębie szyi. Do ich przyczyn należą np. porażenie strun głosowych, zmiany zapalne krtani i tchawicy, ucisk na tchawicę z zewnątrz, ciało obce
 - stridor jest szczególnie głośnym tonem o stałej częstotliwości i wskazuje na zwężenie krtani lub tchawicy, występuje też w dysfunkcji fałdów głosowych. Świsty wdechowe oraz stridor mogą być głośne i słyszalne dla otoczenia chorego
 - świsty wydechowe powstają przy zwężeniu dróg oddechowych leżących wewnątrz klatki piersiowej. Do ich przyczyn należą np. astma, przewlekłe zapalenie oskrzeli, przewlekła obturacyjna choroba płuc (POCHP), zachłyśnięcie treścią pokarmową, rzadziej zatorowość płucna, niewydolność serca
- skrzeczenia to szmery o złożonej charakterystyce, składające się z krótkich świstów, którym towarzyszą trzeszczenia. Występują najczęściej u chorych na alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych, rzadziej u pacjentów z innymi chorobami śródmiąższowymi lub infekcyjnym zapaleniem płuc
- tarcie opłucnowe powstaje w wyniku ocierania się o siebie blaszek opłucnej ściennej i płucnej w przebiegu stanu zapalnego lub procesu nowotworowego