

RÓWNOWAGA KWASOWO-ZASADOWA



Katedra Analityki Medycznej

Wydział Nauk Medycznych

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

<http://www.uwm.edu.pl/wnm/analitikamedyczna/>

Patofizjologia równowagi kwasowo-zasadowej

- Stężenie **jonu wodorowego** we krwi utrzymywane jest w zakresie **35-45 mmol/l (pH 7,36-7,46)**.
- Dzieje się tak, pomimo że w wyniku przemian metabolicznych w organizmie człowieka powstaje ok. **20 moli/dobę CO₂** który po uwolnieniu tworzy kwasy węglowe zwany kwasem lotnym oraz ok. **1 mol/dobę tzw. kwasów nietlotnych**.
- **Kwasy nietlotne (siarkowy, fosforowy, mlekowy, acetooctowy, β-hydroksymaśłowy)** powstają głównie w toku metabolizmu fosfolipidów, trójglicerydów, aminokwasów zawierających siarkę i glikolizy.
- Z kolei **CO₂** powstaje głównie w przebiegu tlenowych etapów oddychania komórkowego.
- Utrzymanie w tych warunkach fizjologicznego stężenia jonu H⁺ wymaga **równowagi pomiędzy wytwarzaniem kwasów nietlotnych i CO₂, a eliminacją jonu H⁺ i CO₂ z organizmu**.

Patofizjologia równowagi kwasowo-zasadowej

- Wobec dużej ilości wytwarzanych w organizmie kwasów zakłócenie tej równowagi może spowodować duże zmiany pH płynów ustrojowych.
- Utrzymanie homeostazy jonu wodorowego zależy od prawidłowej **czynności nerek i płuc oraz krwiobiegu** integrującego funkcję całego systemu równowagi kwasowo-zasadowej.
- Zaburzenia równowagi kwasowo-zasadowej są łagodzone przez **wewnątrz- i zewnątrzkomórkowe układy buforowe**.

Układy buforowe

Bufor jest wodnym roztworem słabego kwasu i jego soli.

Układy buforowe cechują się zdolnością do niwelowania zmian stężenia jonu wodorowego w roztworach wodnych.

Do układów buforowych organizmu ludzkiego należą:

- **Wodorowęglanowy** układ buforowy odpowiadający za **52%** pojemności buforowej
- **Hemoglobinianowy** układ buforowy odpowiadający za **35%** pojemności buforowej
- **Białczanowy** układ buforowy odpowiadający za **8%** pojemności buforowej
- **Fosforanowy** układ buforowy odpowiadający za **5%** pojemności buforowej

Układy buforowe

- Suma stężeń komponent zasadowych (anionów) wszystkich układów buforowych nosi nazwę **zasad buforowych**.
- Pojawienie się we krwi zwiększonej ilości dysocjujących kwasów nietlotnych powoduje zużycie części zasad buforowych wiążących uwolniony H^+ .
- Ostry wzrost pCO_2 powoduje zwiększenie H_2CO_3 z jego natychmiastową dysocjacją do jonów H^+ i HCO_3^- .
- Jony wodorowe są wiązane przez aniony hemoglobinianowe i aniony innych buforów nietlotnych i całkowity zasób zasad buforowych, pozostają one niezmienione do uruchomienia mechanizmów kompensacyjnych.
- W przeciwnym kierunku przebiegają zmiany stężeń buforów nietlotnych i HCO_3^- powodowane ostrym spadkiem pCO_2 .

Regulacja równowagi kwasowo-zasadowej

- **Ciągła wymiana CO_2** między krwią i powietrzem pęcherzyków płucnych ma **charakter układu otwartego**.
- **Kwas węglowy** ulega w tkankach spontanicznej **dehydratacji do CO_2** , przyspieszonej przez **anhydrazę węglanową**.
- Dzięki temu, że **w powietrzu pęcherzykowym ciśnienie parcjalne CO_2 jest regulowane i wynosi 40 mmHg** (około 200-krotnie wyższe niż w powietrzu atmosferycznym), możliwe jest usuwanie CO_2 z płuc i utrzymanie stabilności całego układu.

Rola nerek w regulacji równowagi kwasowo-zasadowej

- Obok układu oddechowego, odgrywają kluczową rolę w regulacji równowagi kwasowo-zasadowej.
- **W kanalikach proksymalnych** następuje **resorpcja zwrotna wodorowęglanów** przesączonych w kłębuszkach.
 - **Resorpcja jonów HCO_3^-** odbywa się równoległe do **aktywnego wchłaniania kationów sodowych**, czemu towarzyszy **bierne wchłanianie chlorków**.
 - W warunkach prawidłowych w tej części nefronu reabsorpcji ulega około **90% przesączonych jonów Na^+ i HCO_3^-** .
- Wobec względnie stabilnej resorpcji sodu zmiany resorpcji wodorowęglanów pociągają za sobą przeciwstawne zmiany resorpcji chlorków.

Badanie gazometryczne krwi tętniczej

Oznaczenie	Zakres referencyjny
pH	7,36-7,46
Stężenie jonu wodorowego [H ⁺]	35-45 nmol/l
Ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla (pCO ₂)	35-45 mmHg
Ciśnienie parcjalne tlenu (pO ₂)	80-100 mmHg
Wysycenie tlenem (sat. O ₂)	94-98%
Aktualne stężenie wodorowęglanów [HCO ₃ ⁻]akt.	20-27 mmol/l
Standardowe stężenie wodorowęglanów [HCO ₃ ⁻]st.	24 mmol/l
Nadmiar zasad (BE)	0±2 mmol/l

Badania laboratoryjne stosowane w diagnostyce zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej

- Podstawowym badaniem laboratoryjnym w diagnostyce zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej jest **badanie gazometryczne krwi**.
- Powinny być wykonane **z pełnej krwi tętniczej** pobranej z dużego nieuciśniętego naczynia (np. tętnicy promieniowej).
- Jako antykoagulant stosuje się **heparynę, 5-10 j/ml**.
- Pobrana krew nie może mieć kontaktu z powietrzem atmosferycznym.
- Przechowywanie i transport próbki do laboratorium nie może trwać dłużej niż godzinę.
Przy dłuższym przechowywaniu materiał powinien zostać schłodzony w naczyniu z wodą i lodem, aby spowolnić proces glikolizy w krwinkach wiodący do wytwarzania kwasu mlekowego *in vitro*.

Badania laboratoryjne stosowane w diagnostyce zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej

- Przy braku możliwości uzyskania krwi tętniczej badanie można wykonać w **pełnej krwi włośniczkowej, arterializowanej** (przez ogrzanie miejsca pobrania, np. opuszki palca), pobranej do **heparynizowanych kapilar** przy ograniczeniu do minimum kontaktu z powietrzem atmosferycznym.
- Po pobraniu krew w kapilarach musi zostać dokładnie wymieszana i dostarczona do laboratorium zgodnie z zasadami podanymi wcześniej dla krwi tętniczej, przy czym badanie gazometryczne we krwi włośniczkowej powinno być wykonane w ciągu **15-30 min od pobrania materiału**.

Podział zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej

- **Zasadowica oddechowa** – powstaje w następstwie spadku ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla na skutek nadmiernej jego eliminacji przez płuca.
- **Kwasica metaboliczna** – powstaje w wyniku nadmiernej podaży lub wytwarzania w organizmie kwasów, upośledzonej regeneracji wodorowęglanów przez nerki albo zwiększonej ich utraty przez nerki lub przewód pokarmowy.
 - dochodzi do zmniejszenia stężenia wodorowęglanów.
- **Kwasica oddechowa** – jest wynikiem kumulacji dwutlenku węgla (wzrost $p\text{CO}_2$) na skutek upośledzonej jego eliminacji przez płuca
- **Zasadowica metaboliczna** – jest następstwem utrąty kwasów (np. solnego w wyniku uporczywych wymiotów) lub podaży egzogennych zasad.
 - dochodzi do wzrostu stężenia wodorowęglanów.

Wyniki badania gazometrycznego w prostych zaburzeniach równowagi kwasowo-zasadowej

Para- metr	Kwasica				Zasadowica			
	metaboliczna		oddechowa		metaboliczna		oddechowa	
	N	W	N	W	N	W	N	W
pH	↓	P	↓	P	↑	P	↑	P
pCO ₂	P	↓	↑	↑	P	↑	↓	↓
HCO ₃ ⁻	↓	↓	P	↑	↑	↑	P	↓
BE	↓	↓	P	↑	↑	↑	P	↓

Przyczyny zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej

Kwasica oddechowa

- zaburzenia regulacji oddychania (choroby OUN, działanie leków neurotoksycznych, porażenia, niedowłady mięśni oddechowych)
- inne ograniczenia ruchomości klatki piersiowej (choroby, urazy części kostnych, uszkodzenie mięśni, choroby skóry)
- choroby dróg oddechowych, płuc i opłucnej (stany obturacji dróg oddechowych, zapalenia płuc i inne choroby miąższu płucnego, obecność płynu lub powietrza w jamach opłucnowych)
- niewydolność serca (obrzęk płuc)

Zasadowica oddechowa

- hiperwentylacja (stany emocjonalne, choroby OUN, indukowana przez leki, hipoksja, wentylacja mechaniczna)

Kwasica metaboliczna

- z prawidłową luką anionową (biegunka, nerkowa kwasica cewkowa, wczesny okres niewydolności nerek, niedoczynność kory nadnerczy, żywienie pozajelitowe)
- ze zwiększoną luką anionową (kwasica ketonowa, mleczanowa, mocznicowa, zatrucie glikolem etylenowym, metanolem, salicylanami)

Zasadowica metaboliczna

- utrata jonu H^+ (wymioty, utrata z moczem)
- nadmierna podaż zasad lub ich prekursorów (wodorowęglan, cytrynian)
- niedobór potasu

Interpretacja wyniku badania gazometrycznego

- Prawidłowa interpretacja wyniku badania gazometrycznego **umożliwia rozpoznanie zaburzenia oraz ocenę jego kompensacji.**
- Analizując wynik takiego badania należy pamiętać, że przedstawia on dwa przeciwstawne procesy – pierwotne zaburzenie (zaburzenia) równowagi kwasowo-zasadowej oraz nakładające się na nie mechanizmy kompensacyjne.
- Na pierwotną przyczynę zaburzenia najczęściej wskazuje parametr, którego zmiana jest zgodna ze zmianą pH, zwykle najbardziej odległy od wartości prawidłowych.

Interpretacja wyniku badania gazometrycznego

- **Procesy kompensacyjne (wyrównawcze)** mają na celu przywrócenie prawidłowej wartości pH poprzez zmianę $p\text{CO}_2$ i stężenia HCO_3^- (tym samym nadmiaru/niedoboru zasad, BE) w kierunku przeciwnym do zmiany wywołanej przez zaburzenie pierwotne.
- **Kompensacja zaburzeń metabolicznych** odbywa się w wyniku zmian eliminacji CO_2 przez płuca, a **zaburzeń oddechowych** – zmiana stężenia HCO_3^- zależnych od czynności nerek.
- **Oddechowa kompensacja zaburzeń metabolicznych** rozpoczyna się natychmiast (jeśli nie uniemożliwiają tego choroby układu oddechowego), natomiast **kompensacja metaboliczna zaburzeń oddechowych** rozwija się w ciągu 1-5 dni.
- **O pełnej kompensacji zaburzenia świadczy prawidłowa wartość pH.**
- Interpretację ułatwia ocena kilku kolejno wykonanych badań gazometrycznych analizowanych w kontekście całości obrazu klinicznego i wyników innych badań laboratoryjnych.

Procesy kompensacji zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej

Zaburzenie	Proces pierwotny	Kompensacja
Kwasica oddechowa < 24 godz. 3-5 dni	$\uparrow p\text{CO}_2 \circ 10 \text{ mmHg}$ $\uparrow p\text{CO}_2 \circ 10 \text{ mmHg}$	$\uparrow [\text{HCO}_3^-] \circ 1 \text{ mmol/l}$ $\uparrow [\text{HCO}_3^-] \circ 3-4 \text{ mmol/l}$
Zasadowica oddechowa < 12 godz. 1-2 dni	$\downarrow p\text{CO}_2 \circ 10 \text{ mmHg}$ $\downarrow p\text{CO}_2 \circ 10 \text{ mmHg}$	$\downarrow [\text{HCO}_3^-] \circ 1-3 \text{ mmol/l}$ $\downarrow [\text{HCO}_3^-] \circ 2-5 \text{ mmol/l}$
Kwasica metaboliczna	$\downarrow [\text{HCO}_3^-] \circ 1 \text{ mmol/l}$	$\downarrow p\text{CO}_2 \circ 1-1,5 \text{ mmHg}$
Zasadowica metaboliczna	$\uparrow [\text{HCO}_3^-] \circ 1 \text{ mmol/l}$	$\uparrow p\text{CO}_2 \circ 0,5-1 \text{ mmHg}$

Złożone zaburzenia równowagi kwasowo-zasadowej

- W przypadku **rozbieżności pomiędzy kompensacją oczekiwaną i obserwowaną** należy podejrzewać zaburzenia złożone.
- Jeżeli np. w trzeciej dobie trwania kwasicy oddechowej wzrośnie $p\text{CO}_2$ o 30 mmHg towarzyszy kompensacyjny wzrost stężenia wodorowęglanów o 2 mmol/l (zamiast spodziewanych 4-5 mmol/l), można podejrzewać, że z kwasicą oddechową współistnieje kwasica metaboliczna.
- Jeżeli wzrost stężenia wodorowęglanów wynosi 8-10 mmol/l, można podejrzewać współistnienie alkalozji metabolicznej.
- Tego rodzaju obliczenia wymagają przeprowadzenia kolejnych badań gazometrycznych oraz znajomości przebiegu choroby, aktualnego stanu pacjenta i wyników innych badań laboratoryjnych.

Różnicowanie prostych i złożonych zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej na podstawie kierunku zmian $p\text{CO}_2$ i stężenia HCO_3^-

Zaburzenia	Zmiana	
	$p\text{CO}_2$	HCO_3^-
Zaburzenia proste: <ul style="list-style-type: none">• kwasica metaboliczna, zasadowica oddechowa• zasadowica metaboliczna, kwasica oddechowa	↓ ↑	↓ ↑
Zaburzenia złożone: <ul style="list-style-type: none">• kwasica metaboliczna z nasiloną zasadowicą metaboliczną, zasadowica oddechowa i metaboliczna• kwasica oddechowa i metaboliczna	↓ ↑	↑ ↓

- Korelacja zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej musi przebiegać równoległe z wyrównywaniem współistniejących zmian gospodarki wodno-elektrolitowej.
- Postępowanie doraźne - monitorowane za pomocą badań gazometrycznych oraz oceniających gospodarkę wodno-elektrolitową powinno być jak najszybciej uzupełnione (zastąpione) leczeniem przyczynowym, którego podstawą jest pełna diagnostyka występujących u chorego zaburzeń.



Niezbędne informacje znajdują się w:

Dembińska-Kieć A., Naskalski J., „Diagnostyka laboratoryjna z elementami biochemii klinicznej”; Elsevier Urban&Partners, Wrocław 2013:

Str. 232-240 – 9.3 *Patofizjologia równowagi kwasowo-zasadowej*

Str. 928-932 – 25.2.5 *Zaburzenia metaboliczne*

Str. 1049 – 30.2 *Wartości alarmowe*

Pobieranie krwi włóśniczkowej

- Arterializacja
- Wybór miejsca pobrania i **prawidłowa jego dezynfekcja**
- **Wytarcie pierwszej kropli krwi** (domieszka płynu tkankowego)
- **NIE WOLNO WYCISKAĆ KRWI PRZY POBIERANIU oraz przedłużać czasu pobrania**
- Unikać **pęcherzyków powietrza** w kapilarach
- Opisać kapilary i jak najszybciej dostarczyć do laboratorium

