



ODRŽAVANJE ACIDO-BAZNE RAVNOTEŽE

(računalna simulacija)

Lada Radin, dr. vet. med.

Ana Shek-Vugrovečki, dr. vet. med.



pH KRVI

- ***pH označava koncentraciju vodikovih iona u tjelesnim tekućinama***
 - **pH vrijednosti recipročne su s koncentracijom H⁺ iona (zbog njihovih ekstremno niskih koncentracija)**
 - **pH = -log [H⁺]**
 - **dvostruka promjena u konc. H⁺ iona, mijenja pH za 0,3**
 - **pH krvi i tkivnih tekućina oko 7,4**
 - **ACIDOZA – pH ispod 7,35**
 - **ALKALOZA – pH iznad 7,45**



Otkud H^+ ioni? Kako su regulirani?

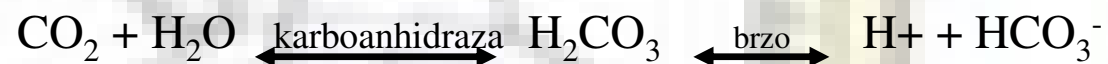
- najviše H^+ iona nastaje:
 - tijekom transporta CO_2 iz tkiva u pluća
 - produkt metabolizma proteina, masti, i oksidacije glukoze u stanicama
- u patološkim stanjima: povećano stvaranje ili smanjena eliminacija (plućima i bubrezima)
- **puferski sustavi, pluća i bubreg** reguliraju koncentraciju H^+ iona u organizmu
 - pluća reguliraju pCO_2 , a bubrezi koncentraciju HCO_3^-
 - pluća –respiratorne, bubrezi – metaboličke probleme



KISELINE I BAZE

- **KISELINE** su proton donori – otpuštaju H^+
- **BAZE** su proton akceptori – vežu se na H^+
- **Jaka kiselina** – potpuno disocira otpuštajući H^+ (HCl)
- Slaba kiselina – disocira djelomično (H_2CO_3)
- **Jaka lužina** (HCO_3^-) – ima veliku sposobnost vezanja H^+ (uklanja H^+ iz otopine)

Henderson Hasselbachova jednadžba



**odnos vode, CO₂,
vodikovih iona i
bikarbonatnih iona u
tijelu**

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{O}][\text{CO}_2]}$$

$$\text{pH} = \text{pK}_a' + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

$$\text{pH} = 6.1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{0.03 \text{ PCO}_2}$$

- primarni pufer u tijelu je bikarbonatni (HCO₃⁻) koji je u stalnoj ravnoteži s vodom i CO₂



Što ustvari govori HH jednažba?

$$\text{kiselost (pH)} = \frac{\text{bikarbonat}}{\text{ugljik dioksid}}$$

$$A = \frac{B \text{ (bicarbonate)}}{C \text{ (carbon)} / D \text{ (dioxide)}}$$

$$pH = pK + \frac{\text{bubrezi}}{\text{pluca}}$$

- pH ovisi o odnosu konc. baze (HCO_3^-) i nedisocirane kiseline (H^+)
- porast bikarbonata – raste pH (lužnato)
- porast ugljik dioksida – pada pH (kiselo)

Što to ustvari znači?

A-B poremetnja	Primarni poremećaj
metabolička acidoza	$\downarrow \text{pH} = \frac{\downarrow \text{HCO}_3}{\text{CO}_2}$
metabolička alkalozna	$\uparrow \text{pH} = \frac{\uparrow \text{HCO}_3}{\text{CO}_2}$
respiratorna acidoza	$\downarrow \text{pH} = \frac{\text{HCO}_3}{\uparrow \text{CO}_2}$
respiratorna alkalozna	$\uparrow \text{pH} = \frac{\text{HCO}_3}{\downarrow \text{CO}_2}$

PUFERSKI SUSTAVI U ORGANIZMU

Što su puferi?

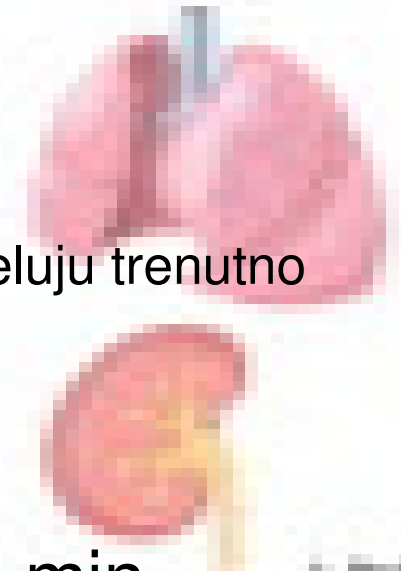
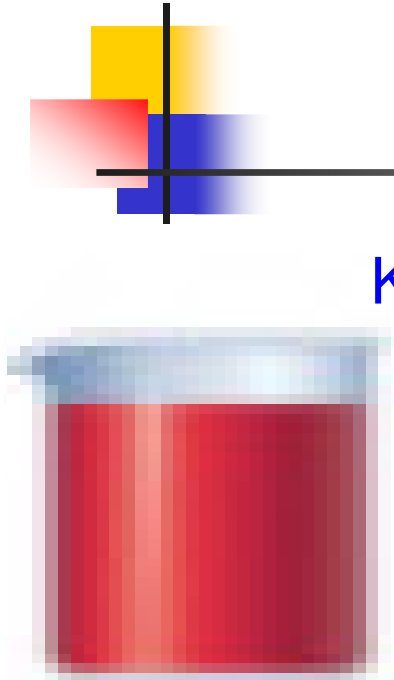
KEMIJSKI PUFERI

- BIKARBONATNI (53%)
- PROTEINSKI (42%)
- FOSFATNI (5%)

} djeluju trenutno

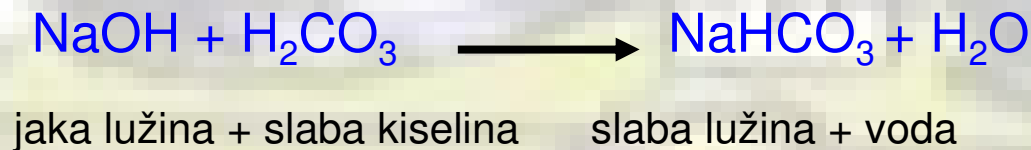
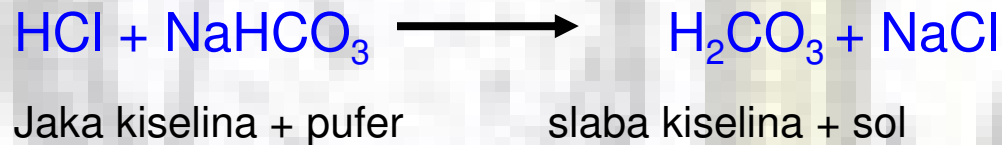
RESPIRATORNI SUSTAV – 1 do 15 min

BUBREŽNI SUSTAV – više min i dana



• BIKARBONATNI PUFER

- Smjesa H_2CO_3 i NaHCO_3 – izvan stanice
- Glavni pufer izvanstanične tekućine



Le Chatelierov princip





- **PROTEINSKI PUFER**

- **Bjelančevine** stanica i plazme (hemoglobin! 35%)
- 3/4 snage kemijskih puferskih sustava

- **FOSFATNI PUFER**

- Smjesa H_2PO_4^- i HPO_4^{2-} uz Na^+
- Važan u tubulskoj tekućini bubrega zbog visoke koncentracije fosfata
- Važan u staničnoj tekućini

RESPIRATORNI SUSTAVI KOMPENZACIJE

Respiratorna acidoza



- rezultat smanjene respiracije ili hipoventilacije
- nakuplja se CO_2 u krvi, nastaje H_2CO_3

↑ pCO_2

↑ H^+

pH krvi ↓

$$\text{Acidity} = \frac{\text{Bicarbonate}}{\text{Carbon Dioxide}}$$

UZROCI

- depresija centra za disanje
- ozljede prsnog koša
- teške bolesti pluća

iscrpljenost
sedativi
sepsa
teške opekotine

SIMPTOMI

Ubrzano, plitko disanje
Dispenja
Dezorientiranost
Slabost
Nizak pH i visok CO_2



Rješenje:

- 1. aktiviraju se puferski sustavi (primarno hemoglobin!)
- 2. disanje se ubrza, dublje je (izbacivanje CO_2)
- 3. bubreg se uključuje kako bi kroz duže vrijeme vratio koncentracije na fiziološku razinu (izbacivanje viška H^+ , stvaranje HCO_3^-)
- acidobazna ravnoteža vraća se u potpunosti na normalnu kada je riješen primarni uzrok nastanka

BUBREŽNI ODGOVOR NA RESPIRATORNU ACIDOZU



- u krvi je povećana koncentracija H^+ iona, a smanjen udio HCO_3^-
- više H^+ se secernira u tubule i spaja s HCO_3^- , nastaje

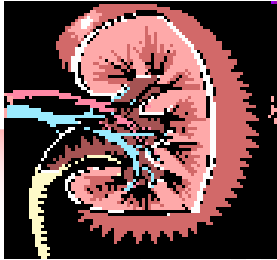


Na^+ se reapsorbira u zamjenu za secernirani H^+

- CO_2 difundira u stanice epitela tubula gdje s H_2O daje H_2CO_3



BUBREŽNI ODGOVOR NA RESPIRATORNU ACIDOZU



- mokraća se zakiseljuje
- u krvi raste udio Na^+ i HCO_3^-
- pH krvi se povećava

*višak secerniranih H^+ iona u tubulima se puferira pomoću fosfatnog i amonijskog pufera čime se regulira kiselost mokraće, koja ne može biti niža od pH 4,5

PhysioEx 7.0 - Microsoft Internet Explorer

Go To Experiment Tools Help Respiratory Acidosis / Alkalosis

pH meter

Start Normal

Normal Breathing ■■■■■ PCO₂

Hyperventilation ■■■■■ Maximum PCO₂

Rebreathing ■■■■■ Minimum PCO₂

	Condition	Min. PCO ₂	Max. PCO ₂	Min. pH	Max. pH
Record Data					
Delete Line					
Clear Table					

Stabler i sur. (2008): PhysioEx 7.0 for human physiology. Pearson Benjamin Cummings, San Francisco, SAD.

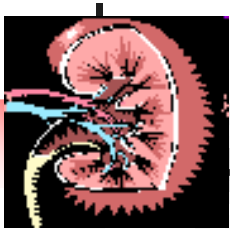
BUBREŽNI ODGOVOR NA
RESPIRATORNU ACIDOZU



Vježba 4.

$p\text{CO}_2$	pH krvi	H^+ u urinu	HCO_3^- u urinu

BUBREŽNI ODGOVOR NA RESPIRATORNU ACIDOZU



Vježba 6.

$p\text{CO}_2$	pH krvi	H^+ u urinu	HCO_3^- u urinu

Respiratorna alkalozna

- uslijed hiperventilacije
- smanjuje se parcijalni tlak CO₂ u krvi

↓ pCO₂

↓ H⁺

pH krvi ↑

$$\text{Acidity} = \frac{\text{Bicarbonate}}{\text{Carbon Dioxide}}$$

UZROCI

Panika
Jaka bol
Vrućica

Trovanje (pretjerano nakupljanje)
amonijakom
Upala i ozljede pluća
Ascites
Anestezirija (supresija CNS-a)

SIMPTOMI

Ubrzano, duboko disanje
Napadaji
Zbunjenost
Trzanje mišića
Visok pH i nizak CO₂



Rješenje: rebreathing

- **Ponovno udisanje izdahnutog zraka**
- Izdahnuti zrak, u odnosu na vanjski, sadrži:
 - Manje kisika
 - Više ugljikovog dioksida
- U pluća se unosi više CO_2
- Raste pCO_2 u krvi, pada pH
- ako patološko stanje potraje, uključuje se bubreg →



BUBREŽNI ODGOVOR NA RESPIRATORNU ALKALOZU

- u krvi je smanjena koncentracija H^+
- više HCO_3^- dolazi glomerularnom filtracijom u tubule, manje H^+ se secernira
- HCO_3^- se izlučuje mokraćom vezan uz Na^+ ili drugi pozitivan ion
- **mokraća se zalužuje** – pH mokraće raste
- u krvi se smanjuje koncentracija HCO_3^- te se pH krvi normalizira

BUBREŽNI ODGOVOR NA RESPIRATORNU ALKALOZU



Vježba 5.

$p\text{CO}_2$	pH krvi	H^+ u urinu	HCO_3^- u urinu

BUBREŽNI SUSTAV KOMPENZACIJE



- Glavna uloga u održavanju ravnoteže tjelesnih tekućina i elektrolita u organizmu
- Najveći puferski kapacitet, ali treba najviše vremena da se aktivira (sati, dani)
- sprečava prekomjernu hidraciju i dehidraciju
- regulira izlučivanje iona



Kompenzacija

Kompenzirana respiratorna acidoza

- pH krvi unutar fizioloških granica
- $p\text{CO}_2$ ostaje **povišen** jer nije riješen primarni uzrok u dišnom sustavu

Kompenzirana respiratorna alkalozia

- pH krvi unutar fizioloških granica
- $p\text{CO}_2$ ostaje **snižen** jer nije riješen primarni uzrok poremećaja u dišnom sustavu



Metabolička acidoza

- **najčešći acidobazni poremećaj**
- rezultat povećanog katabolizma (više CO_2), nagomilavanja ketokiselina (šećerna bolest, ketoza), proljeva (gubitak HCO_3^-), teška dehidracija, bolesti bubrega

SIMPTOMI

Duboko, otežano disanje
Dezorijentiranost
Trzanje mišićja
Nizak pH i nizak HCO_3^-

DIŠNI ODGOVOR NA METABOLIČKU ACIDOZU

- disanje se ubrzava
- izbacuje se višak CO_2 disanjem
- koncentracija H^+ u krvi smanjuje se bubrežnom ekskrecijom, resorbira se više HCO_3^-
- pH krvi raste

DIŠNI ODGOVOR NA METABOLIČKU ACIDOZU

Vježba 7.

Intenzitet metabolizma	Udisaja/mi n	pH krvi	pCO ₂	H ⁺ u krvi	HCO ₃ ⁻ u krvi

DIŠNI ODGOVOR NA
METABOLIČKU
ACIDOZU



Vježba 8.

Intenzitet metabolizma	Udisaja /min	pH krvi	pCO ₂	H ⁺ u krvi	HCO ₃ ⁻ u krvi



Metabolička alkalozia

- rezultat **povračanja** ili začepa, ↑ unosa bikarbonata, torzije sirišta u preživača, hipokalemije
- povišena koncentracija HCO_3^- u plazmi, povišen pH krvi

SIMPTOMI

Ubrzano, plitko disanje
Dispneja
Dezorijentiranost
Slabost
Visok pH i nizak pCO_2

DIŠNI ODGOVOR NA METABOLIČKU ALKALOZU

- disanje se usporava
- disanjem se izbacuje manje CO_2
- u krvi raste koncentracija H^+ (smanjeno lučenje kroz bubrege)
- pH krvi pada dok ne dosegne normalu

DIŠNI ODGOVOR NA
METABOLIČKU
ACIDOZU



Vježba 9.

Intenzitet metabolizma	Udisaja /min	pH krvi	pCO ₂	H ⁺ u krvi	HCO ₃ ⁻ u krvi