

# ΟΞΕΟΒΑΣΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

**Θεόδωρος Κασιμάτης**  
**Νεφρολόγος, Επιμελητής Β΄**  
**Νοσ. Ασκληπιείο Βούλας**

# Εισαγωγή

- Η διατήρηση της συγκέντρωσης των  $H^+$  εντός ενός στενού εύρους τιμών (35-45nmol/L) είναι ζωτικής σημασίας για μια σειρά από κυτταρικές διεργασίες (έντονη αντιδραστικότητα των  $H^+$  με τις πρωτεΐνες).
- Το pH αντιπροσωπεύει τον αρνητικό λογάριθμο της συγκέντρωσης ιόντων  $H^+$  ( $pH = -\log[H^+]$ ).

# Φυσιολογικές τιμές παραμέτρων οξεοβασικής ισορροπίας

- pH: 7.4 (7.35-7.45)
- $p\text{CO}_2$ : 40 (36-44) mmHg
- $\text{HCO}_3^-$ : 24 (22-26) mEq/L

# Υπολογισμός του pH του αίματος

- **Εξίσωση Henderson-Hasselbalch:**

$$\text{pH} = 6.1 + \log\left(\frac{[\text{HCO}_3^-]}{0.03 \times \text{pCO}_2}\right).$$

- **Εξίσωση Kassirer-Bleich:**

$$[\text{H}^+] = 24 \times \text{pCO}_2 / [\text{HCO}_3^-].$$

Υπό φυσιολογικές συνθήκες:

$$[\text{H}^+] = 24 \times (40/24) = 40 \text{ nEq/L}.$$

# Ορισμοί

- Οξυαιμία: Ελάττωση του pH του αίματος σε τιμές  $<7.35$ .
- Αλκαλαιμία: Αύξηση του pH του αίματος σε τιμές  $>7.45$ .
- Οξέωση: Διεργασία που αυξάνει τη  $[H^+]$  αυξάνοντας το  $pCO_2$  ή ελαττώνοντας τα  $[HCO_3^-]$ .
- Αλκάλωση: Διεργασία που ελαττώνει τη  $[H^+]$  ελαττώνοντας το  $pCO_2$  ή αυξάνοντας τα  $[HCO_3^-]$ .

# Ρύθμιση της $[H^+]$ στον οργανισμό

## 1. Ρυθμιστικά διαλύματα (buffers):

- Εξωκυττάρια (κυρίως τα διττανθρακικά, αλλά και οι πρωτεΐνες του πλάσματος και τα φωσφορικά)-άμεση ρύθμιση
- Ενδοκυττάρια (πρωτεΐνες, φωσφορικά και η αιμοσφαιρίνη)-ρύθμιση μετά από 2-4 ώρες
- Οστά (πολύ σημαντική εστία εξουδετέρωσης οξέος-περίπου το 40% της εξουδετέρωσης ενός φορτίου οξέος συμβαίνει εδώ)

# Ρύθμιση της $[H^+]$ στον οργανισμό

## 2. Νεφρική ρύθμιση:

- Επαναρρόφηση διηθούμενων διαττανθρακικών
- Αποβολή ημερήσιου φορτίου οξέος μέσω:
  - Τιτλοποιήσιμων οξέων (κυρίως φωσφορικά)
  - Αποβολής αμμωνίου

## 3. Αναπνευστική ρύθμιση (μεταβολή στην αποβολή του $CO_2$ μέσω μεταβολών του κυψελιδικού αερισμού)

# Διαταραχή της οξεοβασικής ισορροπίας

- είναι η μεταβολή της φυσιολογικής τιμής του εξωκυττάρριου pH που μπορεί να συμβεί όταν υπάρχει διαταραχή της νεφρικής ή αναπνευστικής λειτουργίας ή όταν ένα φορτίο οξέος ή βάσεως υπερνικά την απεκκριτική ικανότητα του οργανισμού.



# Διαταραχές της οξεοβασικής ισορροπίας

- Απλές διαταραχές: Ύπαρξη μιας διαταραχής αναπνευστικής ή μεταβολικής
- Μικτές διαταραχές: Ταυτόχρονη εμφάνιση δύο ή περισσότερων απλών διαταραχών

# Αντιρροπιστικοί μηχανισμοί

- Μηχανισμοί οι οποίοι προσπαθούν να μετριάσουν τις επιδράσεις της πρωτογενούς διαταραχής στο pH ελαττώνοντας τη μεταβολή του λόγου  $p\text{CO}_2/[\text{HCO}_3^-]$

**Εξίσωση Kassirer-Bleich:**

$$[\text{H}^+] = 24 \times p\text{CO}_2 / [\text{HCO}_3^-].$$

- Δεν επαναφέρουν το pH στη φυσιολογική του τιμή!

Πρωτοπαθής διαταραχή	Αρχική μεταβολή	Αντισταθμιστική απόκριση	Αντισταθμιστικός μηχανισμός	Αναμενόμενο μέγεθος αντιστάθμισης
Μεταβολική οξέωση	↓HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	↓PCO <sub>2</sub>	Υπεραερισμός	PCO <sub>2</sub> = (1.5 × [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]) + 8 ± 2
				↓PCO <sub>2</sub> = 1.2 × Δ [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]
				PCO <sub>2</sub> = τελευταία 2 ψηφία του pH
Μεταβολική αλκάλωση	↑HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	↑PCO <sub>2</sub>	Υποαερισμός	PCO <sub>2</sub> = (0.9 × [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]) + 16 ± 2
				↑PCO <sub>2</sub> = 0.7 × Δ [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]
Αναπνευστική οξέωση	↑PCO <sub>2</sub>	↑HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
Οξεία			Ενδοκυττάρια ρύθμιση (Hb, ενδοκυττάρια πρωτεΐνες)	↑[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] = 1 mEq/L για κάθε 10 mm Hg ΔPCO <sub>2</sub>
Χρόνια			Δημιουργία νέων HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μέσω της ↑αποβολής αμμωνίου (3-5 ημέρες)	↑[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] = 3.5 mEq/L για κάθε 10 mm Hg ΔPCO <sub>2</sub>
Αναπνευστική αλκάλωση	↓PCO <sub>2</sub>	↓HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
Οξεία			Ενδοκυττάρια ρύθμιση	↓[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] = 2 mEq/L για κάθε 10 mm Hg ΔPCO <sub>2</sub>
Χρόνια			Μειωμένη επαναρόφηση HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , μειωμένη αποβολή αμμωνίου (2-3 ημέρες)	↓[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] = 4 mEq/L για κάθε 10 mm Hg ΔPCO <sub>2</sub>

# Take home points

1. Compensatory responses never return the pH to normal
2. The basis of compensatory responses is to maintain the  $p\text{CO}_2/[\text{HCO}_3^-]$  ratio
3. Therefore, the direction of the compensatory response is always the same as that of the initial change

# Take home points

4. Compensatory response to respiratory disorders is two-fold; a fast response due to cell buffering and a significantly slower response due to renal adaptation
5. Compensatory response to metabolic disorders involves only an alteration in alveolar ventilation
6. Metabolic responses cannot be defined as acute or chronic in terms of respiratory compensation because the extent of compensation is the same in each case

# Επιπλοκές της οξέωσης

## Αναπνευστικό σύστημα

- Υπεραερισμός (Αναπνοή Kussmaul) (μεταβολική οξέωση)
- Μετακίνηση της καμπύλης αποδέσμευσης της οξυαιμοσφαιρίνης προς τα δεξιά
- Ελάττωση του 2,3 DPG στα ερυθρά. (Συμβαίνει 6 ώρες μετά)

## Καρδιοαγγειακό σύστημα

- Καταστολή της μυοκαρδιακής συσταλτικότητας (κυρίως σε  $\text{pH} < 7.2$ )
- Ενεργοποίηση συμπαθητικού (ταχυκαρδία, αγγειοσύσπαση)
- Διαστολή περιφερικών αρτηριών
- Σύσπαση περιφερικών φλεβών
- Επιδράσεις της υπερκαλιαιμίας στην καρδιά

## ΚΝΣ

- Αύξηση της ενδοκρανιακής πίεσης (στην οξεία αναπνευστική οξέωση)
- Πολύ υψηλά επίπεδα  $\text{pCO}_2$  προκαλούν κεντρική καταστολή

## Άλλες

- Επαναρρόφηση οστών (μόνο στη χρόνια μεταβολική οξέωση)
- Υπερκαλιαιμία (κυρίως στη μεταβολική οξέωση)

# Επιπλοκές της αλκάλωσης

## Αναπνευστικό σύστημα

- Μείωση του αναπνευστικού ερεθίσματος (μεταβολική αλκάλωση)
- Μετακίνηση της καμπύλης αποδέσμευσης της οξυαιμοσφαιρίνης προς τα αριστερά
- Αύξηση του 2,3 DPG στα ερυθρά

## Καρδιοαγγειακό σύστημα

- Καταστολή της μυοκαρδιακής συσταλτικότητας
- Αρρυθμίες

## ΚΝΣ

- Εγγκεφαλική αγγειοσύσπαση (σύγχυση, μούκλονος, αστηριξία, σπασμοί). **Μόνο σε οξεία αναπνευστική αλκάλωση**
- Αύξηση νευρομυϊκής ευερεθιστότητας (παραισθησίες, καρποποδικός σπασμός)  
**Συμβαίνει κυρίως σε οξεία αναπνευστική αλκάλωση**

## Άλλες

- Υποκαλιαιμία

# Χάσμα ανιόντων ορού

- Για να διατηρηθεί η ηλεκτρική ισορροπία στον οργανισμό θα πρέπει να ισχύει:

$\text{Na}^+$  μη μετρήσιμα κατιόντα =  $\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-$  + μη μετρήσιμα ανιόντα  $\Rightarrow$

**Χάσμα ανιόντων (ΧΑ) = μη μετρήσιμα ανιόντα - μη μετρήσιμα κατιόντα =  $\text{Na}^+ - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ .**

- Σε φυσιολογικές συνθήκες η τιμή του ΧΑ είναι  $12 \pm 4$  meq/L και οφείλεται στις αρνητικά φορτισμένες πρωτεΐνες του πλάσματος.
- Ο υπολογισμός του είναι πολύ χρήσιμος στη διαφορική διάγνωση της μεταβολικής οξέωσης



# Αιτίες μεταβολικής οξέωσης

Αυξημένο ΧΑ (>16 meq)-KULT	Φυσιολογικό ΧΑ (8-16 meq)
<p data-bbox="131 551 865 601"><b>Αυξημένη ενδογενής παραγωγή:</b></p> <p data-bbox="131 672 877 772">Κετοοξέωση (Διαβητική κετοοξέωση, αλκοολισμός, νηστεία)</p> <p data-bbox="131 846 498 889">Γαλακτική οξέωση</p> <p data-bbox="131 963 324 1006">Ουραιμία</p>	<p data-bbox="1062 354 1686 404"><b>Απώλεια διαπτανθρακικών:</b></p> <p data-bbox="1062 475 1783 746">Διάρροια Αναστολείς καρβονικής ανυδράσης Τύπου 2 ΝΣΟ Παγκρεατική, χολική, εντερική fistula</p> <p data-bbox="1062 782 1522 832"><b>Εξωγενής χορήγηση:</b></p> <p data-bbox="1062 903 1300 946">NH<sub>4</sub>Cl ή HCl</p> <p data-bbox="1062 989 1744 1039"><b>Ελλατωμένη απέκκριση οξέος:</b></p> <p data-bbox="1062 1110 1493 1210">Τύπου 1, 4 ΝΣΟ Νεφρική ανεπάρκεια</p>
<p data-bbox="131 1239 479 1289"><b>Δηλητηριάσεις:</b></p> <p data-bbox="131 1360 884 1403">Μεθανόλη, παραλδεΰδη, σαλικυλικά</p>	<p data-bbox="1062 1239 1193 1289"><b>Άλλα:</b></p> <p data-bbox="1062 1360 1367 1403">Υπερκαλιαιμία</p>

# Θεραπεία μεταβολικής οξέωσης

- Ανάλογα με την αιτία
- Πότε χορηγούμε διττανθρακικά;
  - Σε  $\text{pH} < 7.1$  ή καρδιακή αστάθεια
  - Στόχος:  $\uparrow \text{pH}$  σε 7.2
  - Κίνδυνοι:
    - Παράδοξη οξέωση ΕΝΥ
    - Υποκαλιαιμία
    - Κυκλοφοριακή υπερφόρτωση
    - Ιστική υποξία
  - Αμφισβητείται η χορήγησή τους σε γαλακτική οξέωση (επιδείνωση οξέωσης, overshoot alkalosis)

# Μεταβολική αλκάλωση-παθογενετικός μηχανισμός

Εναρκτήριοι παράγοντες	Παράγοντες συντήρησης	
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Απώλεια H<sup>+</sup> από το ΓΕΣ</li><li>2. Χορήγηση αλκάλεως</li><li>3. Ελάττωση εξωκυττάριου όγκου</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Ελαττωμένος εξωκυττάριος όγκος-ελαττωμένο GFR και αυξημένη επαναρρόφηση HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></li><li>2. Υποκαλιαιμία (διακυτταρική μεταφορά K<sup>+</sup>-H<sup>+</sup>, επαγωγή αμμωνιαγένεσης)</li></ol>	Ανταποκρινόμενη στη χορήγηση N/S (Cl ούρων <25meq/L)
<ol style="list-style-type: none"><li>1. ↑ αλατοκορτικοειδών</li><li>2. Σοβαρή υποκαλιαιμία</li></ol>	Υποκαλιαιμία	Μη ανταποκρινόμενη στη χορήγηση N/S (Cl ούρων >40meq/L)

# Αιτίες μεταβολικής αλκάλωσης

## 1) Απώλεια H<sup>+</sup>

### A. Απώλειες από ΓΕΣ

1. Έμετοι ή ρινογαστρική αναρρόφηση
2. Chloride-losing διάρροια
3. Γαστροκολική fistula

### B. Νεφρικές απώλειες

1. Διουρητικά
2. Αυξημένα αλατοκορτικοειδή (Πρωτοπαθής αλδοστερονισμός, Cushing)
3. Μετά από χρόνια υπερκαπνία

### Γ. Μετακίνηση H<sup>+</sup> στα κύτταρα

1. Υποκαλιαιμία

## 2) Εξωγενές άλκαλι

### A. Χορήγηση διαττανθρακικών, κιτρικών

### B. Μεταγγίσεις

### Γ. Αντιόξινα- Milk alkali syndrome

## 3) Ελάττωση όγκου

Διουρητικά

## 4) Άλλα

### A. Σύνδρομο Bartter's

### B. Σύνδρομο Gitelman

# Θεραπεία μεταβολικής αλκάλωσης

- **A. Ανταποκρινόμενη σε χορήγηση N/S**
  - Αποκατάσταση όγκου με N/S
  - Αναπλήρωση K
  - PPIs σε εμέτους/ρινογαστρική αναρρόφηση
  - Παύση διουρητικών
  - Ακεταζολαμίδη σε ΣΚΑ (αντενδείκνυται ο N/S)
  - HCl ή NH<sub>4</sub>Cl σε επείγουσες καταστάσεις
- **B. Μη ανταποκρινόμενη σε χορήγηση N/S**
  - Αναπλήρωση K
  - Χειρουργική αφαίρεση όγκου
  - ΑΜΕΑ, αναστολείς αλδοστερόνης, παύση στεροειδών

# Αιτίες αναπνευστικής οξέωσης

## 1) Καταστολή ΚΝΣ

1. Οπιοειδή
2. Χορήγηση O<sub>2</sub> σε ασθενή με χρόνια υπερκαπνία
3. Κεντρική sleep apnea
4. Βλάβες ΚΝΣ

## 2) Νευρομυϊκές διαταραχές

1. Βαρεία μυασθένια
2. Guillain-Barre
3. Πολιομυελίτιδα
4. Μυϊκή δυστροφία

## 3) Διαταραχές θωρακικού κλωβού

1. Κυφοσκολίωση
2. Ασταθής θώρακας-Κάταγμα πλευράς

## 4) Διαταραχές που επηρεάζουν την ανταλλαγή αερίων

1. ΧΑΠ
2. Σοβαρό άσθμα ή πνευμονία
4. ΟΠΟ

## 5) Απόφραξη αεραγωγού

1. Ξένο σώμα
2. Αποφρακτική sleep apnea

# Θεραπεία αναπνευστικής οξέωσης

- Θεραπεία υποκείμενης διαταραχής
- Χορήγηση O<sub>2</sub>
- Κορτικοειδή και βρογχοδιασταλτικά αν απαιτείται
- Μηχανικός αερισμός

# Αιτίες αναπνευστικής αλκάλωσης

## 1) Διέγερση ΚΝΣ

1. Άγχος
2. Πόνος, ψύχωση
3. Πυρετός
4. ΑΕΕ
5. Φάρμακα

## 2) Υποξαιμία

1. Μεγάλο υψόμετρο
2. Πνευμονία, διάμεση ίνωση, ΠΕ
3. ΣΚΑ
4. Υπόταση

## 3) Διέγερση θωρακικών υποδοχέων

1. Ασταθής θώρακας
2. Αιμοθώρακας
3. ΠΕ

## 4) Διάφορα

1. Σήψη από Gram αρνητικά
2. Ηπατική ανεπάρκεια
3. Μηχανικός υπεραερισμός



# Θεραπεία αναπνευστικής αλκάλωσης

- Συνήθως αυτοπεριοριζόμενη
- Θεραπεία υποκείμενης διαταραχής
- Αναπνοή σε κλειστό σάκο σε καταστάσεις άγχους
- Σε διασωληνωμένους ασθενείς ελάττωση του κατά λεπτό αερισμού

**Ευχαριστώ!!!**















