

## Οξεοβασική ισορροπία

**Θεόδωρος Βασιλακόπουλος**

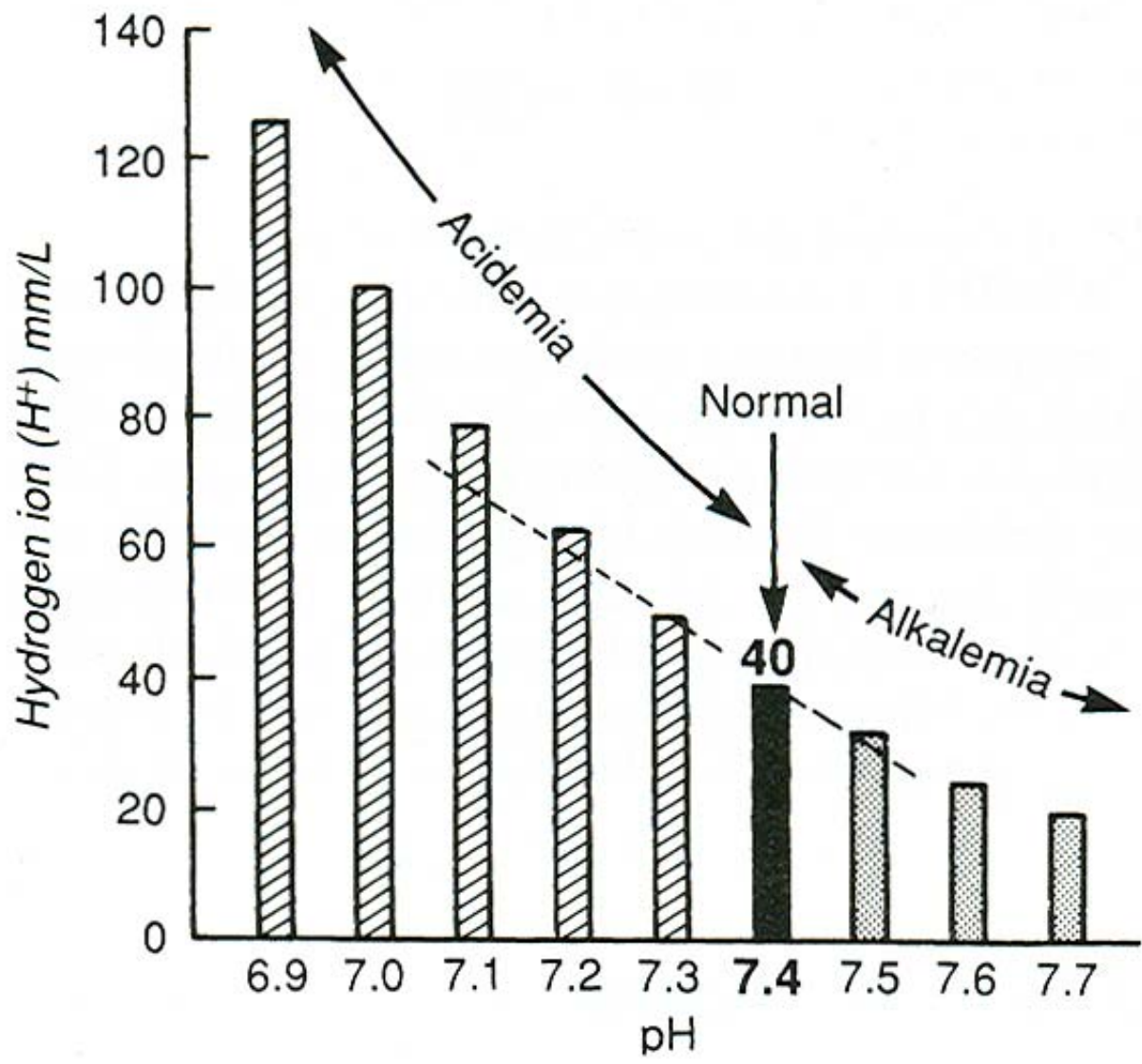
Καθηγητής Πνευμονολογίας-Εντατικής Θεραπείας

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Adjunct Professor, McGill University, Montreal, Quebec, Canada

Διευθυντής Γ' Κλινικής Εντατικής Θεραπείας,

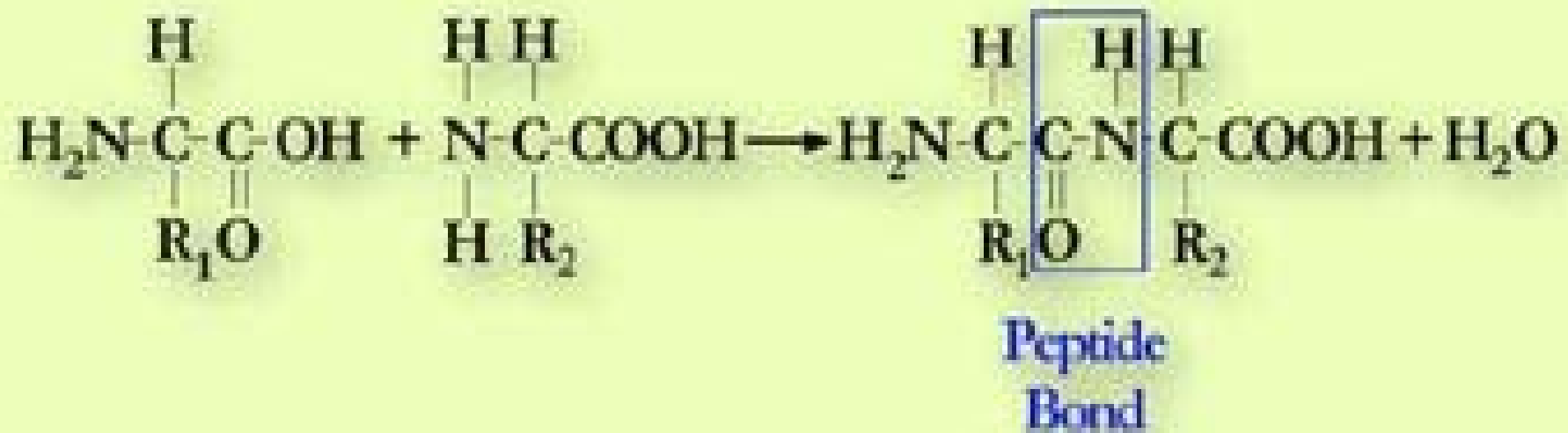
Ευγενίδειο Θεραπευτήριο



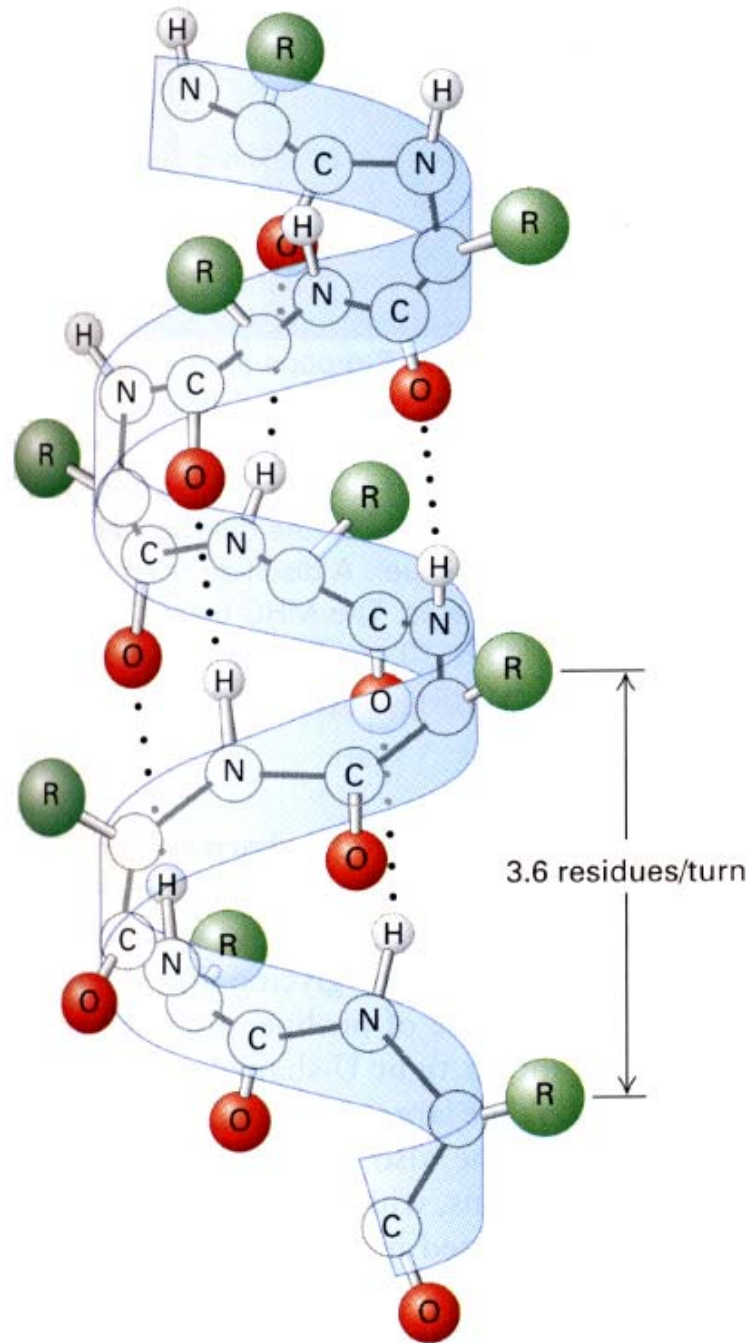
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

- $[\text{H}^+]$  σε **mol/L** ή **Eq/L**
- $[\text{H}^+] = 40 \text{ nEq/L} = 40 \times 10^{-9} \text{ Eq/L}$
- $[\text{HCO}_3^-] = 24 \text{ mEq/L} = 24 \times 10^{-3} \text{ Eq/L}$
- $[\text{H}^+] < [\text{HCO}_3^-]$  **1.000.000 φορές !**

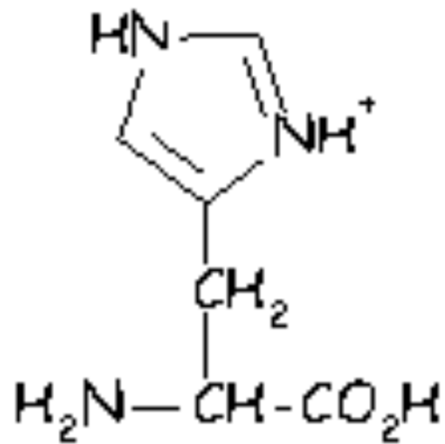
Γιατί μας ενδιαφέρει η οξεοβασική  
ισορροπία;



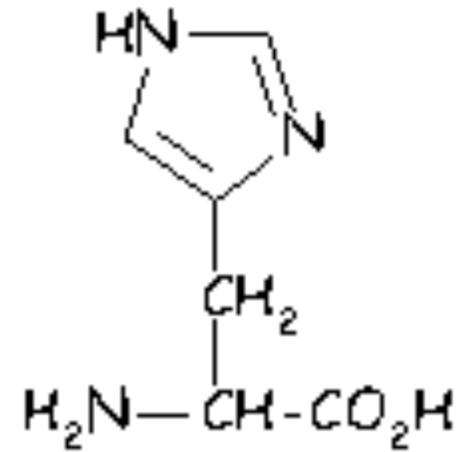
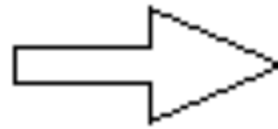
## Polypeptide Formation from Amino Acids



Όταν αλλάζει το pH αλλάζει το φορτίο

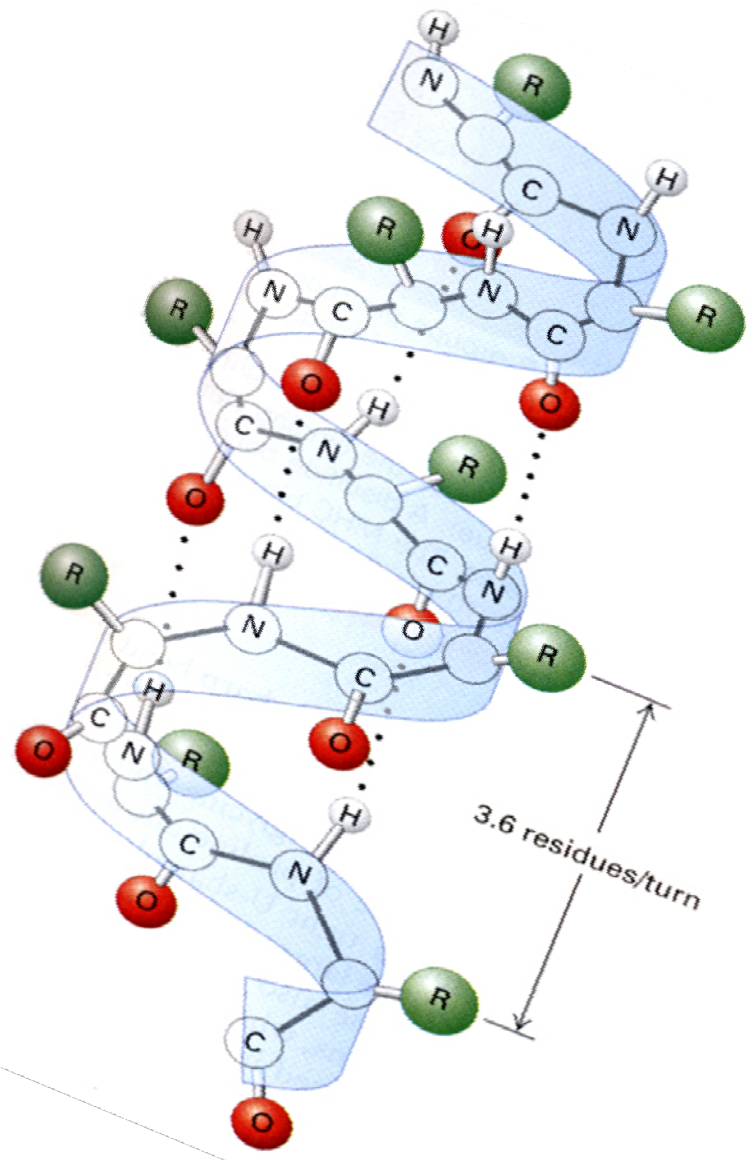


Neutral pH

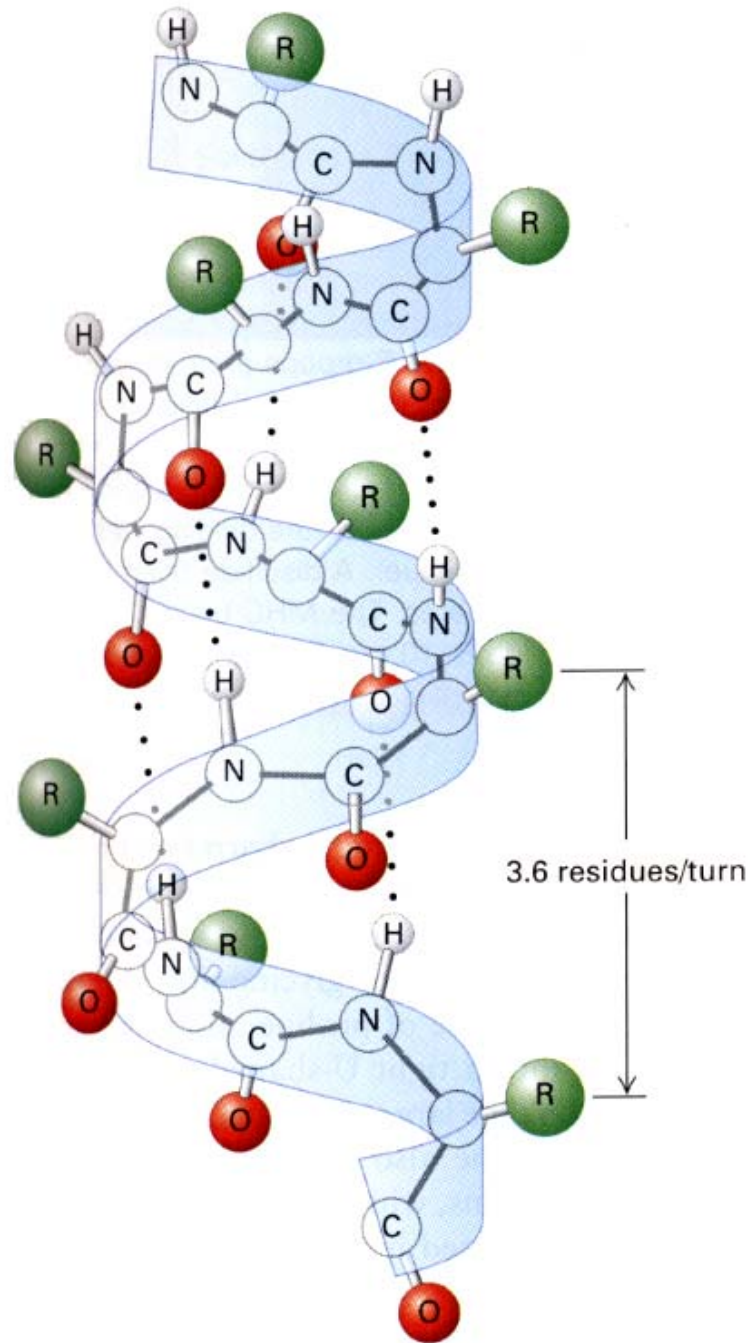


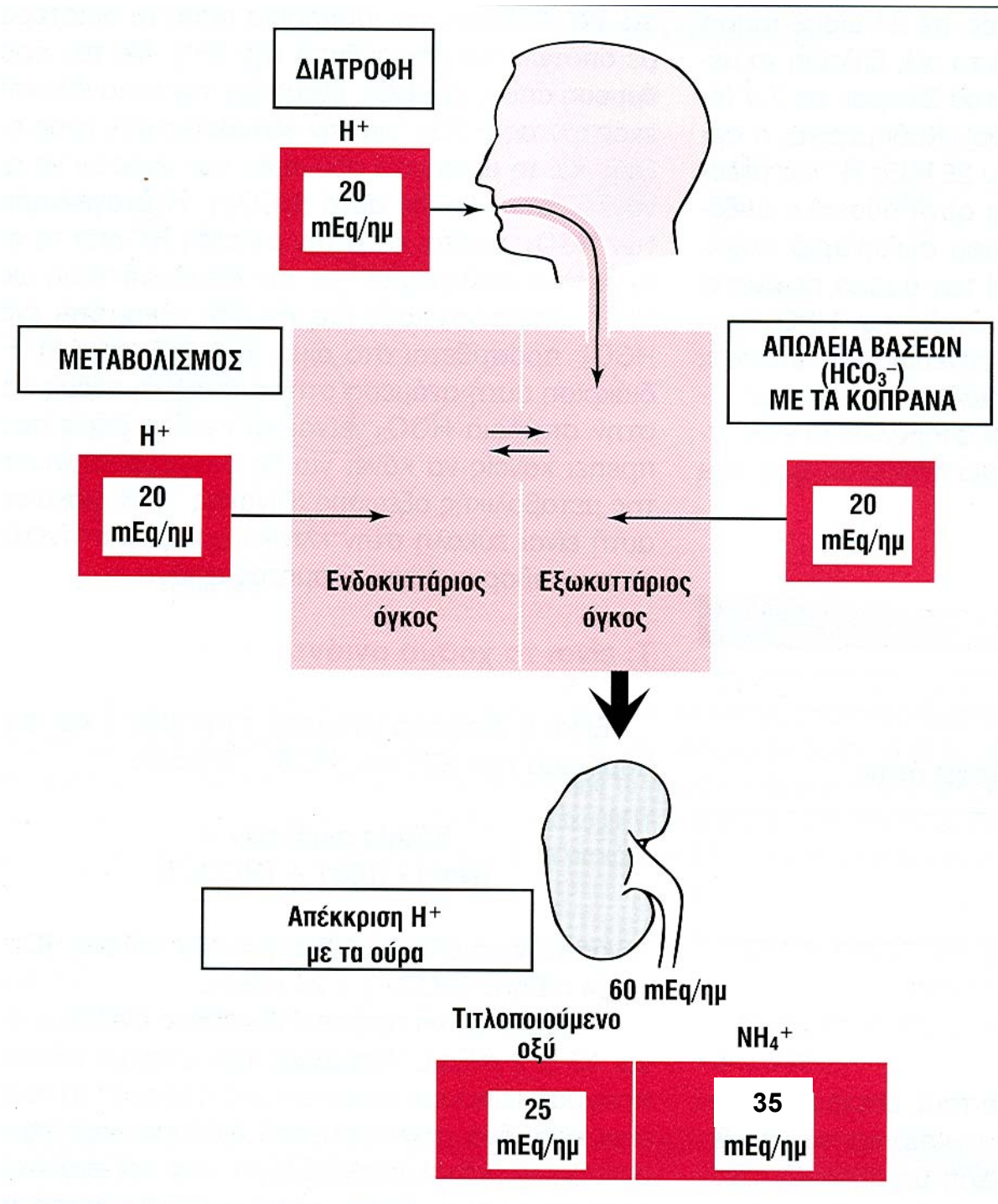
Alkaline pH

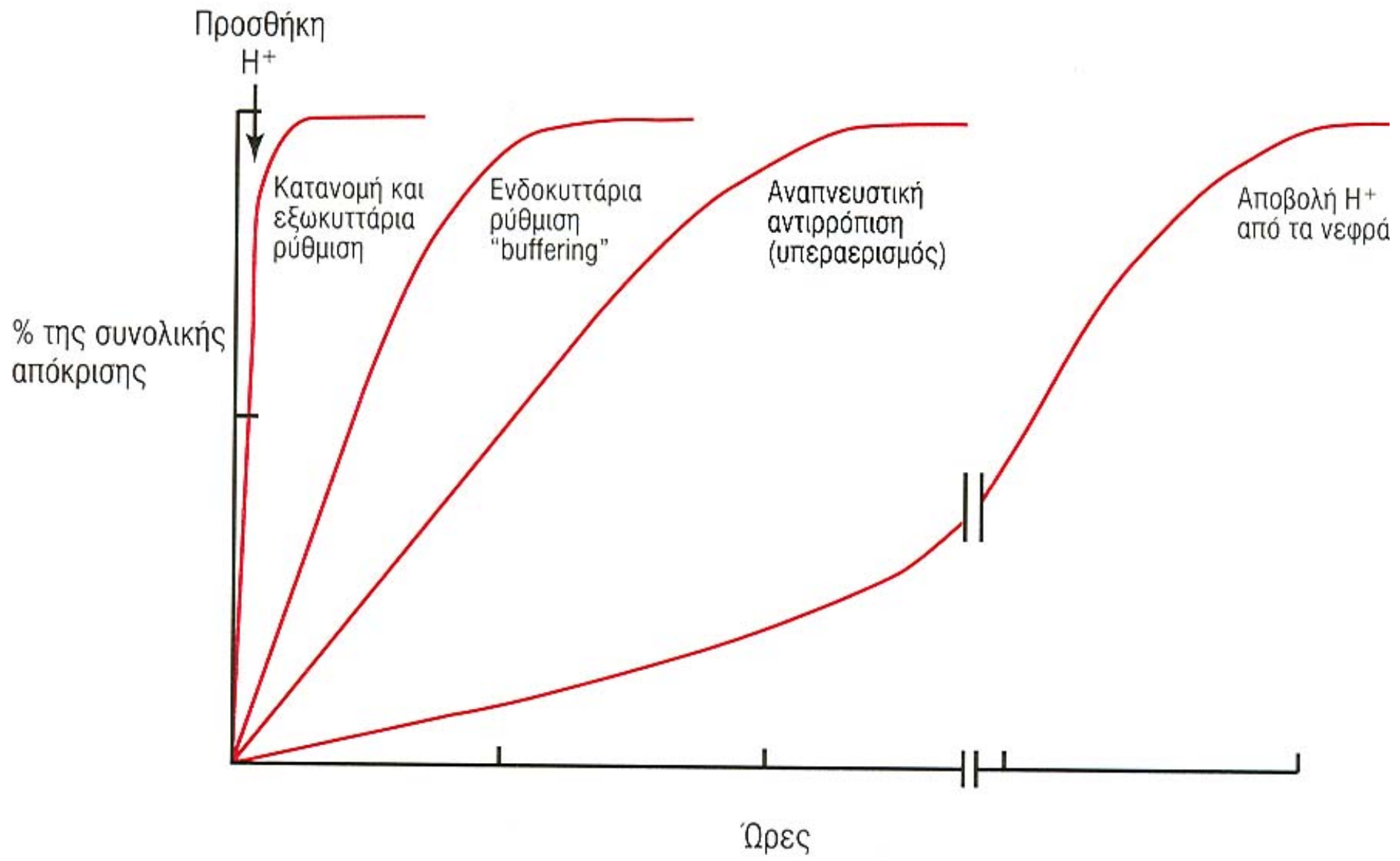
ιστιδίνη



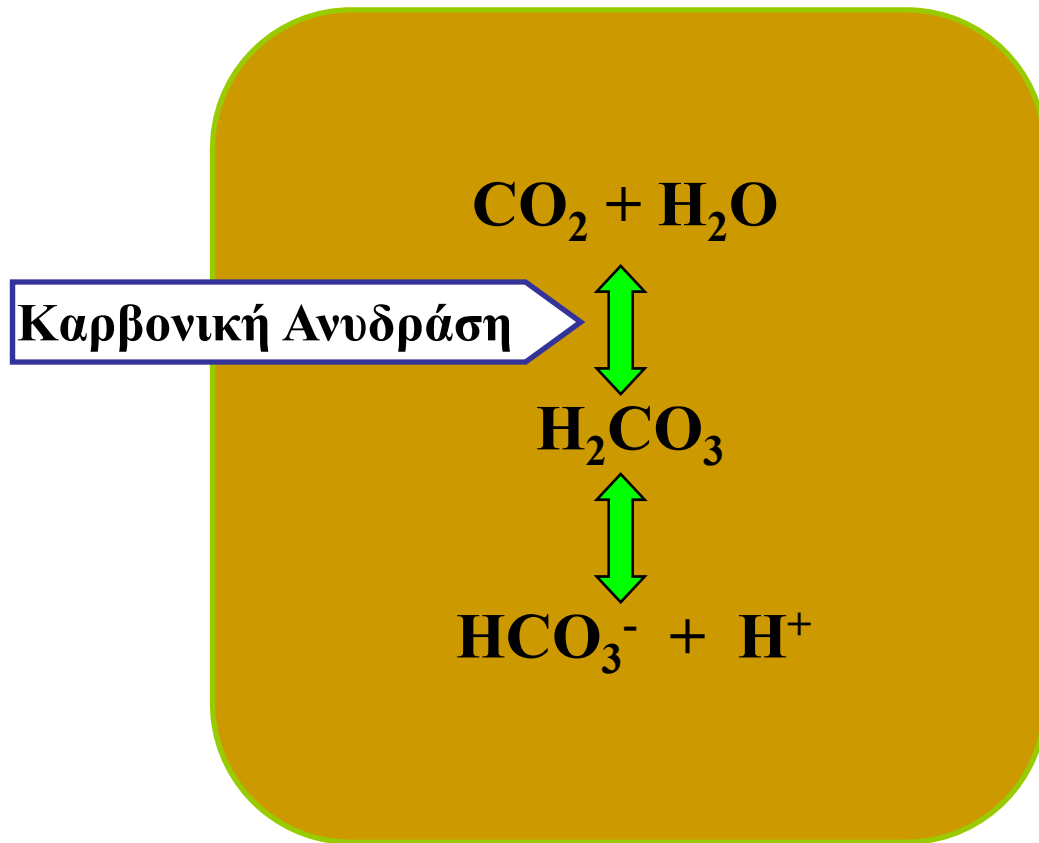






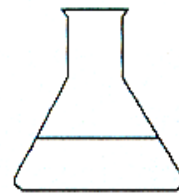
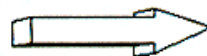
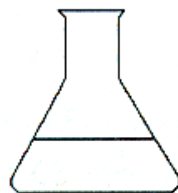


# Ρυθμιστικό διάλυμα $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$



WATER

4 mEq HCl

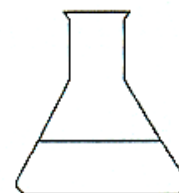
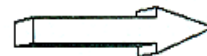
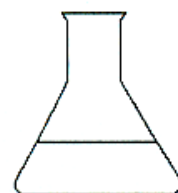


pH = 7.4  
[H<sup>+</sup>] = 40 nEq/L  
PCO<sub>2</sub> = 0  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 0

pH = 2.4  
[H<sup>+</sup>] = 4,000,000 nEq/L  
PCO<sub>2</sub> = 0  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 0

BUFFER

4 mEq HCl



pH = 7.4  
[H<sup>+</sup>] = 40 nEq/L  
PCO<sub>2</sub> = 40  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 24

pH = 6.7  
[H<sup>+</sup>] = 196 nEq/L  
PCO<sub>2</sub> = 160  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 20

BLOOD



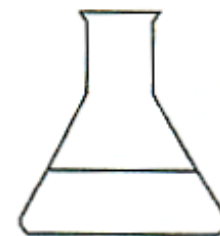
pH = 7.4  
[H<sup>+</sup>] = 40 nEq/L  
PCO<sub>2</sub> = 40  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 24

pH = 6.7  
[H<sup>+</sup>] = 196 nEq/L  
PCO<sub>2</sub> = 160  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 20



4 mEq HCl

BLOOD,  
CONSTANT  
PCO<sub>2</sub>



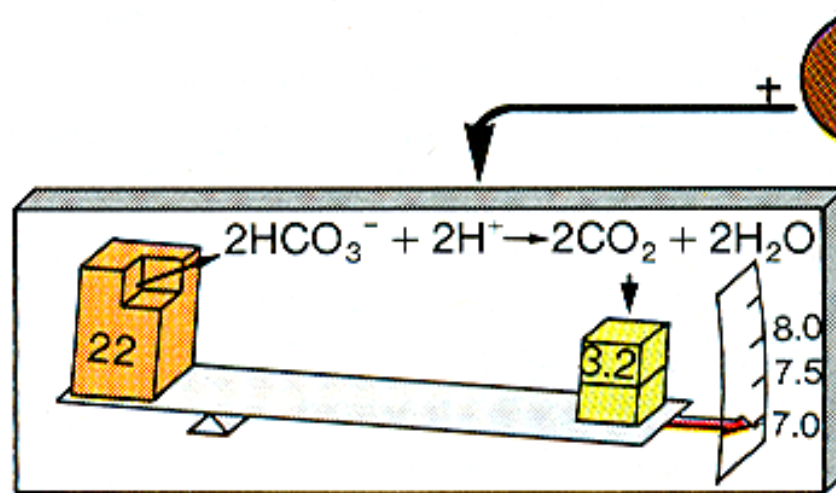
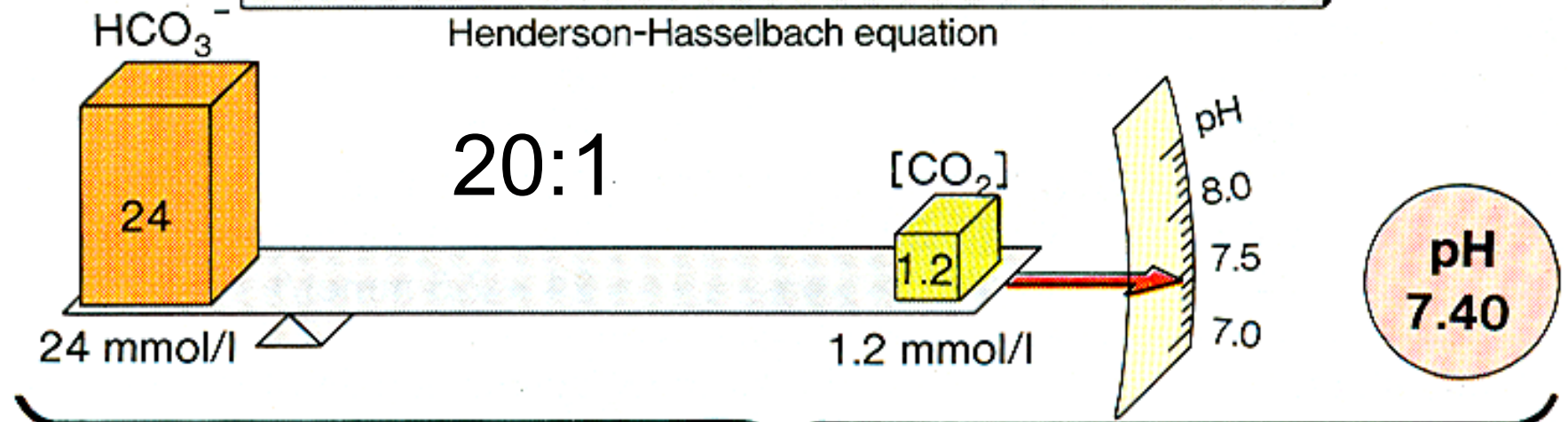
pH = 7.4  
[H<sup>+</sup>] = 40 nEq/L  
PCO<sub>2</sub> = 40  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 24

pH = 7.3  
[H<sup>+</sup>] = 48 nEq/L  
PCO<sub>2</sub> = 40  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 20



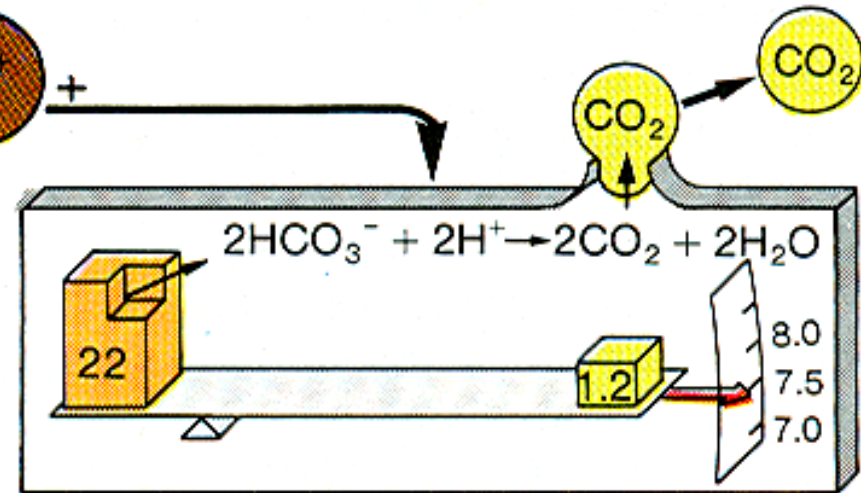
$$\text{pK (6.1)} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-] \text{ mmol/l}}{[\text{CO}_2] \text{ mmol/l}} = \text{pH}$$

Henderson-Hasselbalch equation



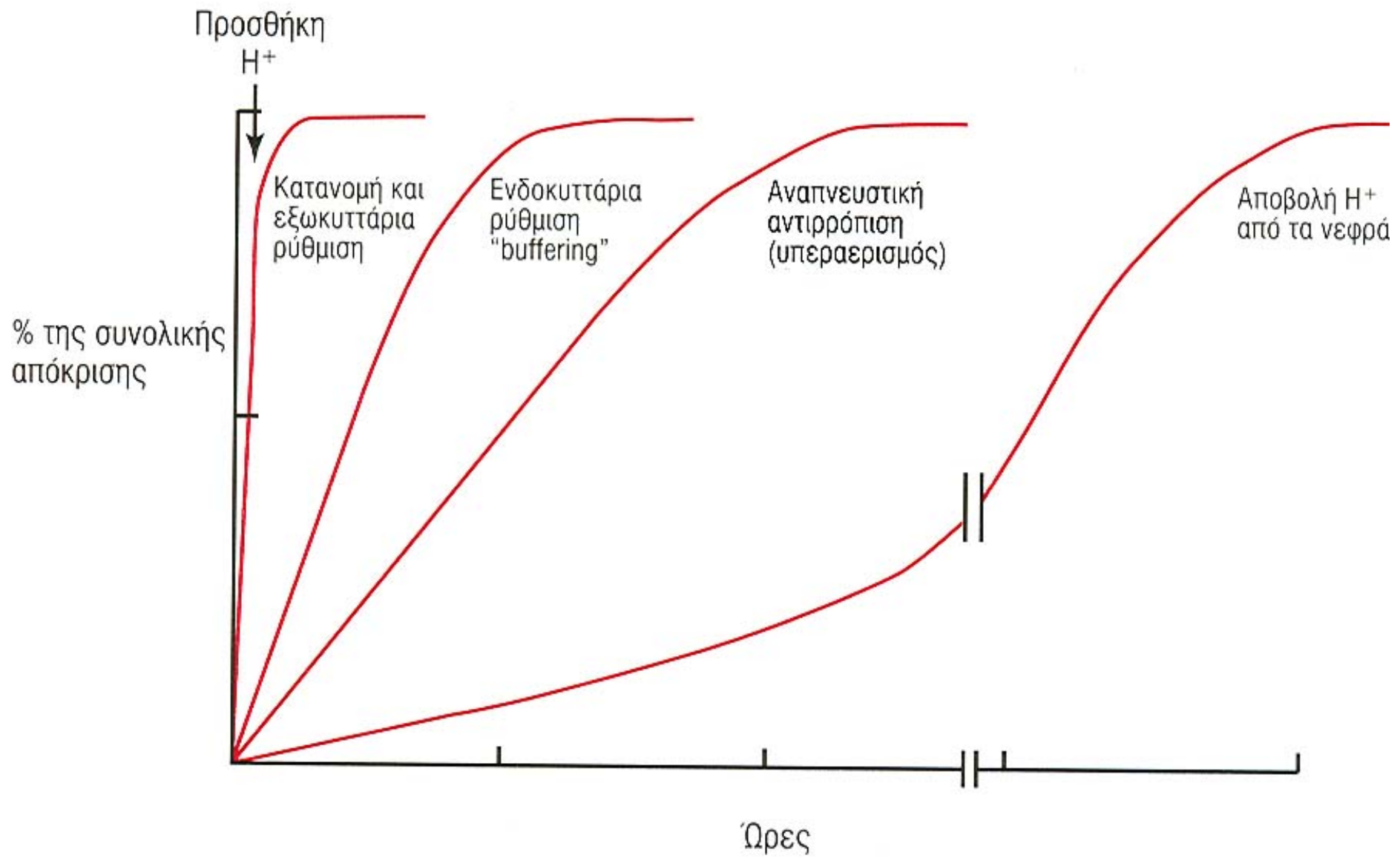
Closed system:

pH 6.93



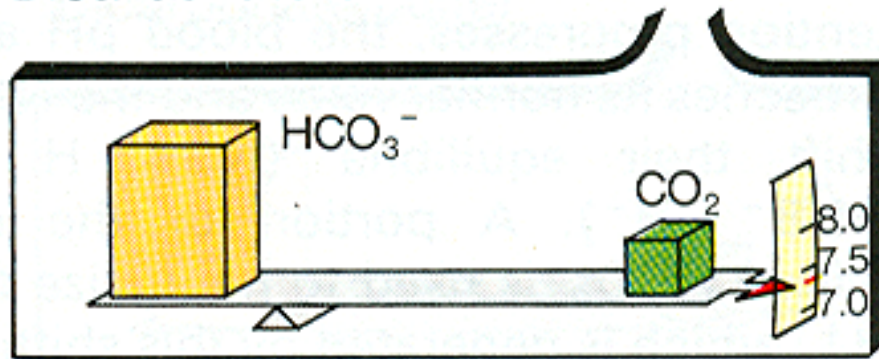
Open system:

pH 7.36

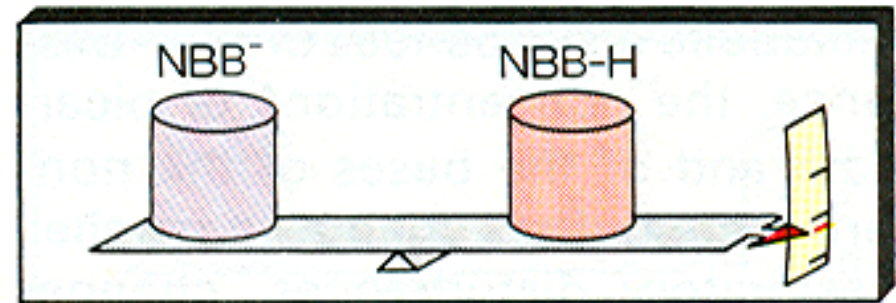




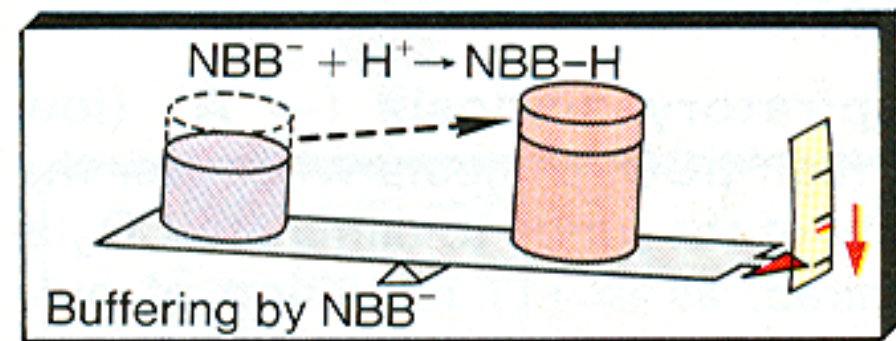
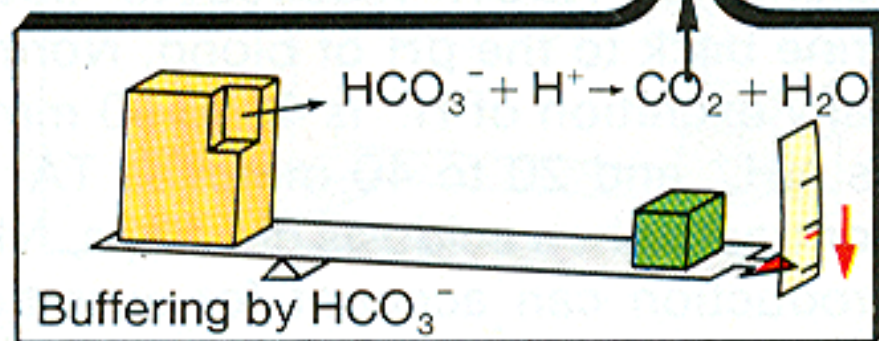
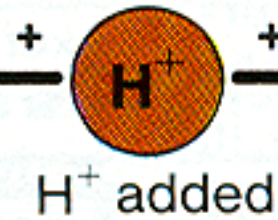
### Bicarbonate buffer



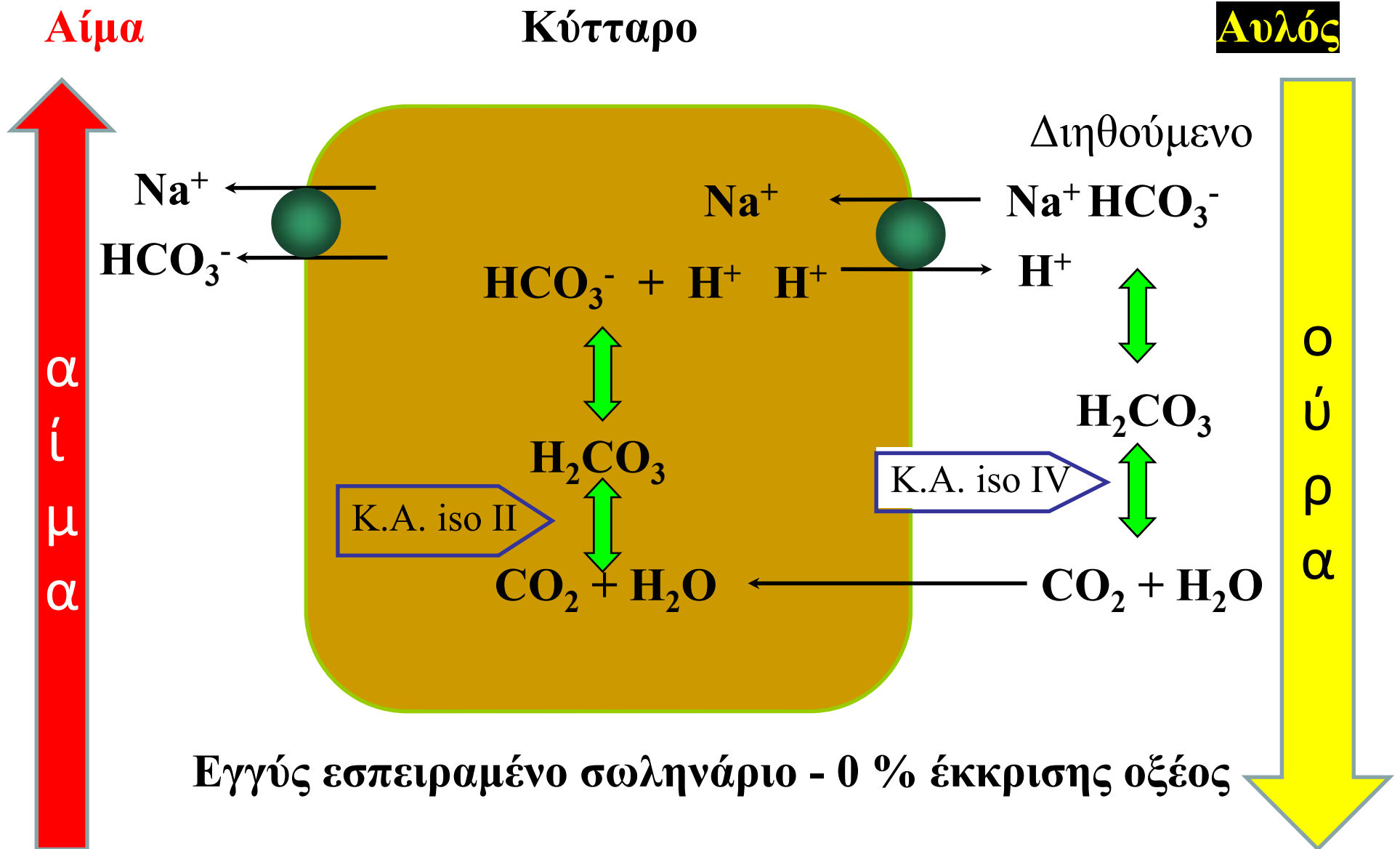
### Non-bicarbonate buffers (NBB)



Normal: pH 7.4



# Επαναρρόφηση $\text{HCO}_3^-$

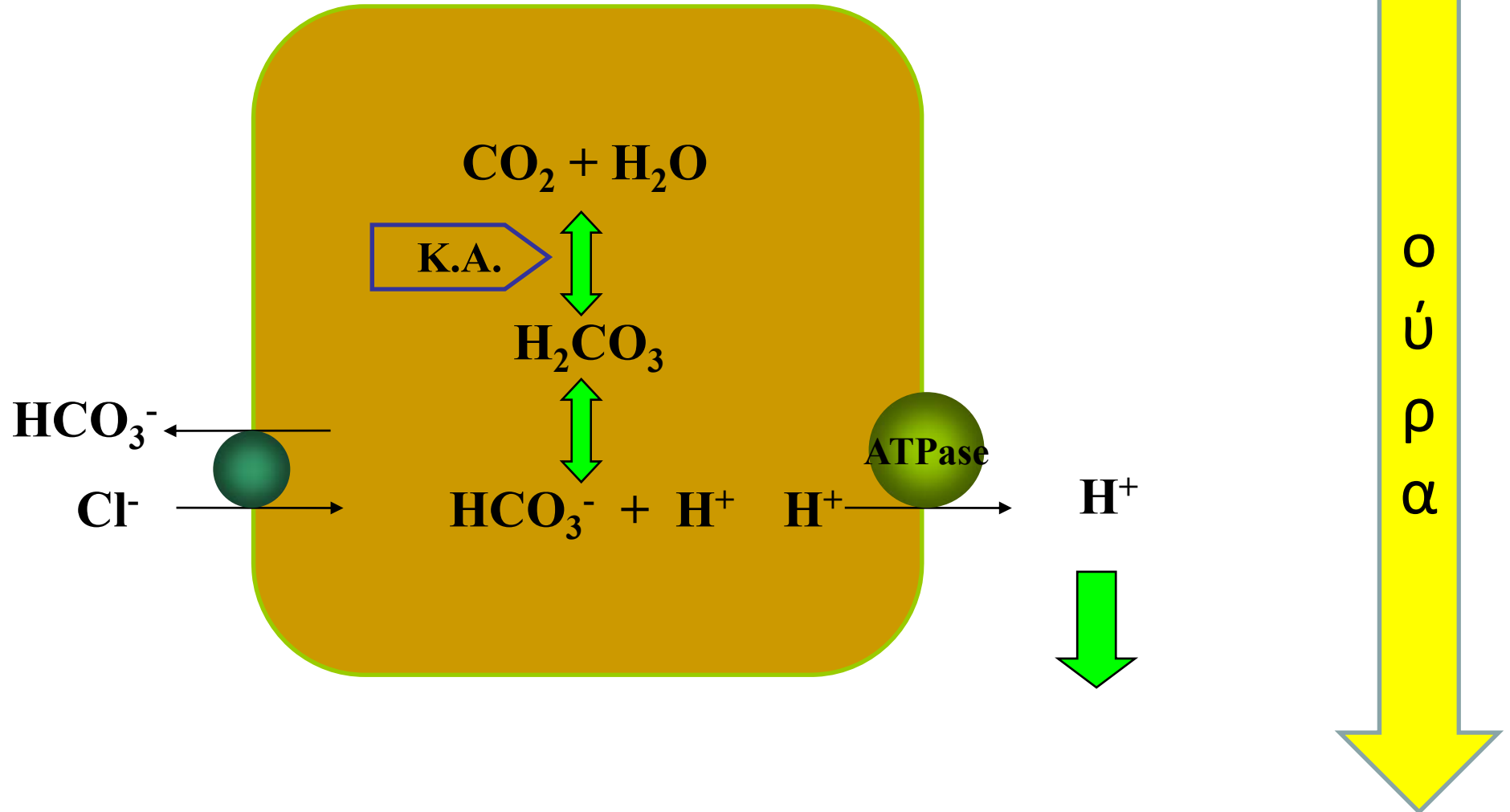


# Αποβολή $H^+$

Αίμα

Κύτταρο

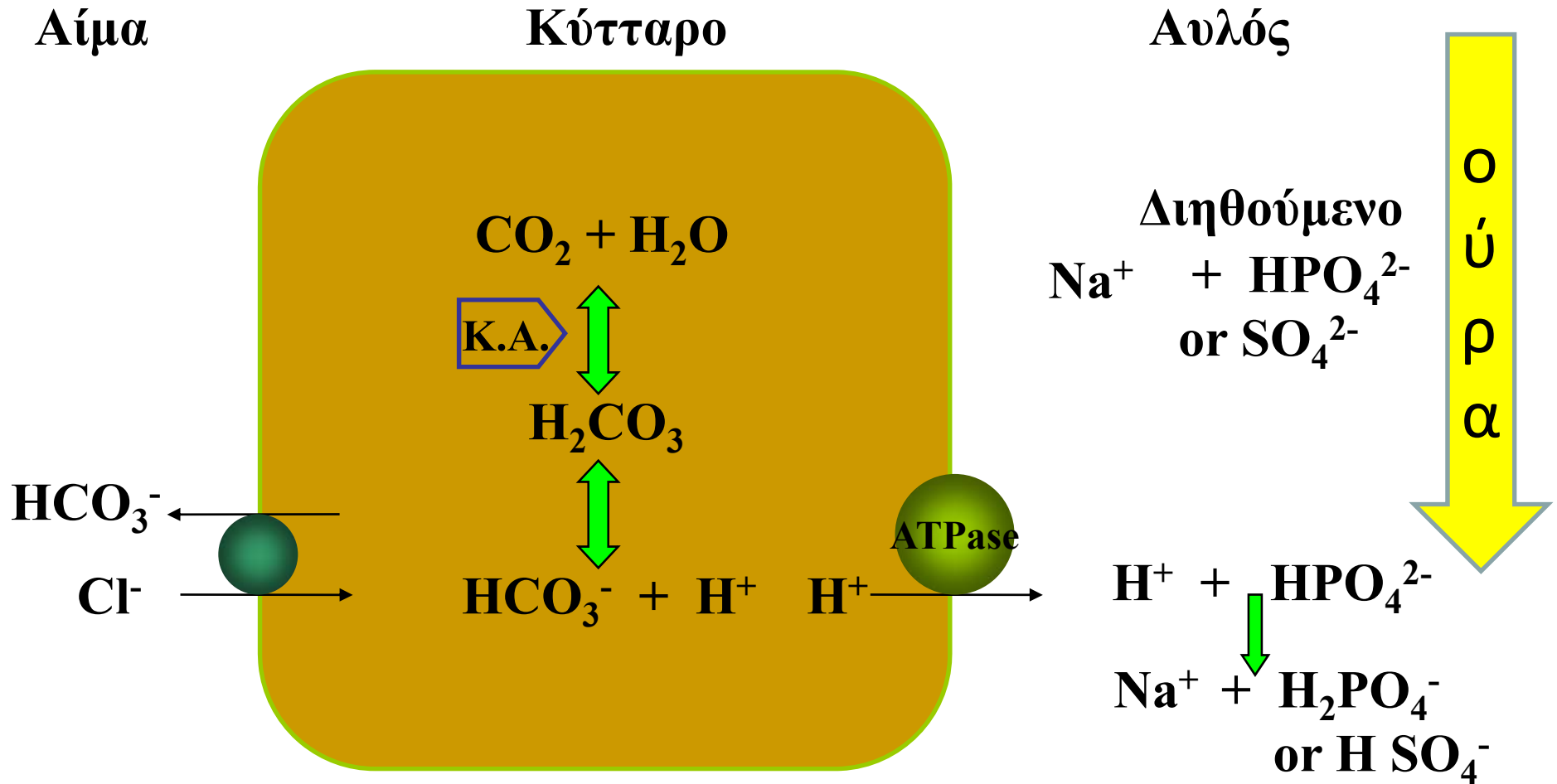
Αυλός



## Αποβολή H<sup>+</sup>

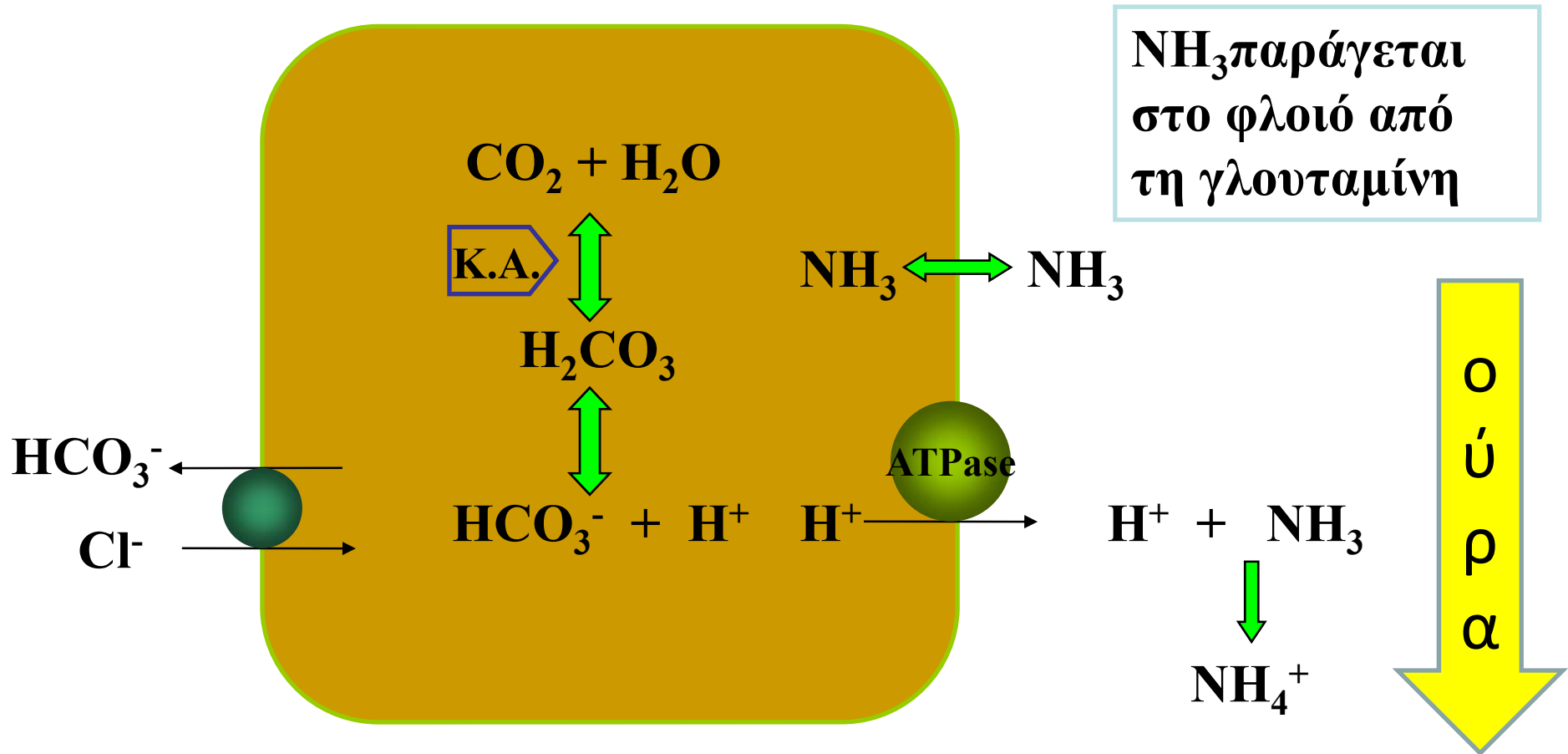
- Χαμηλότερο pH ούρων: 4,5
- [H<sup>+</sup>] = 30.000 nEq/L
- 60 mEq = 60.000.000 nEq
- $60.000.000 / 30.000 = 2.000 \text{ L ούρων} / 24\text{h}$

# Έκκριση τιτλοποιούμενου οξέος



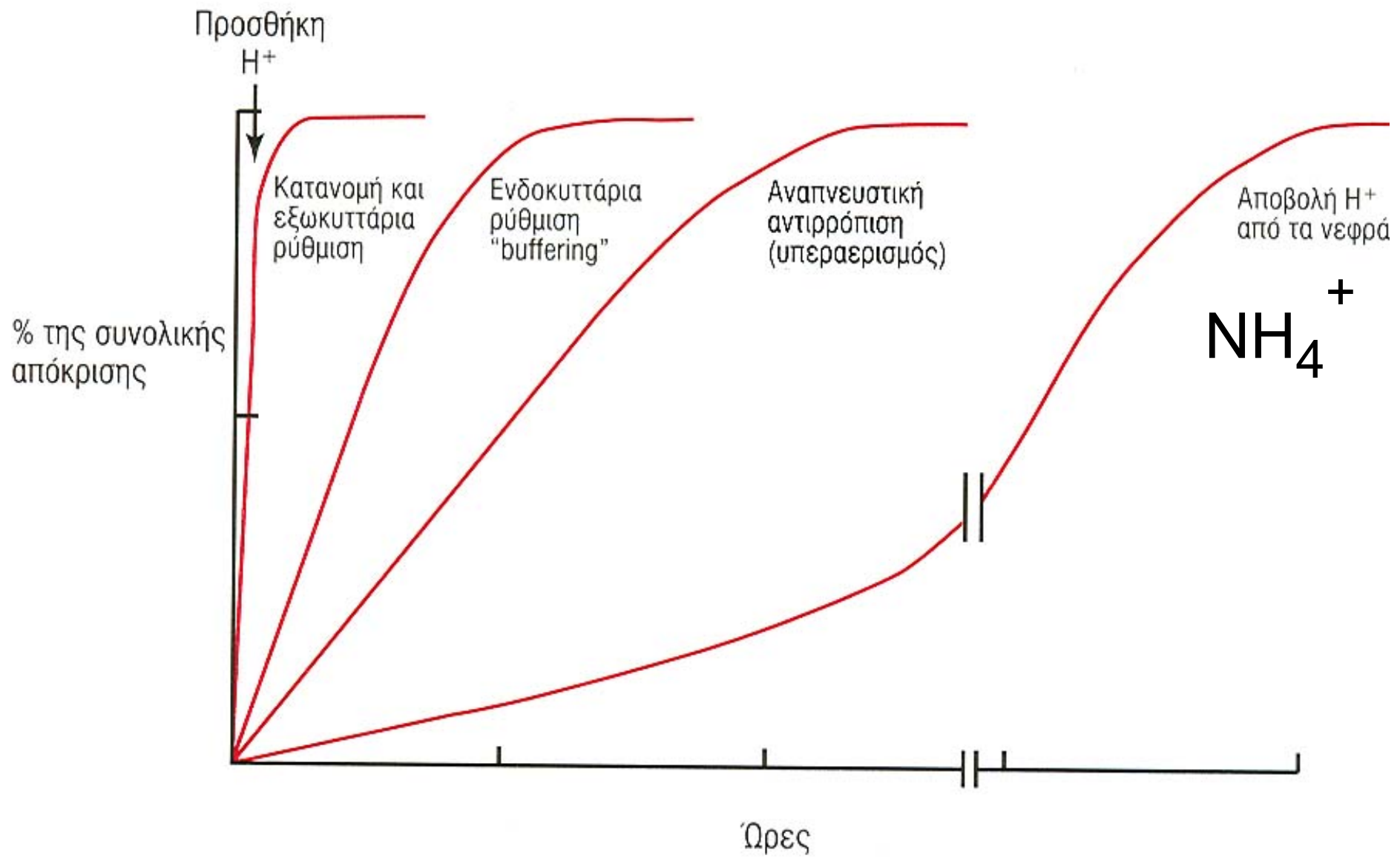
Άπω εσπειραμένο & αθροιστικό σωληνάριο - 33 % έκκρισης οξέος

# Έκκριση $\text{NH}_4^+$

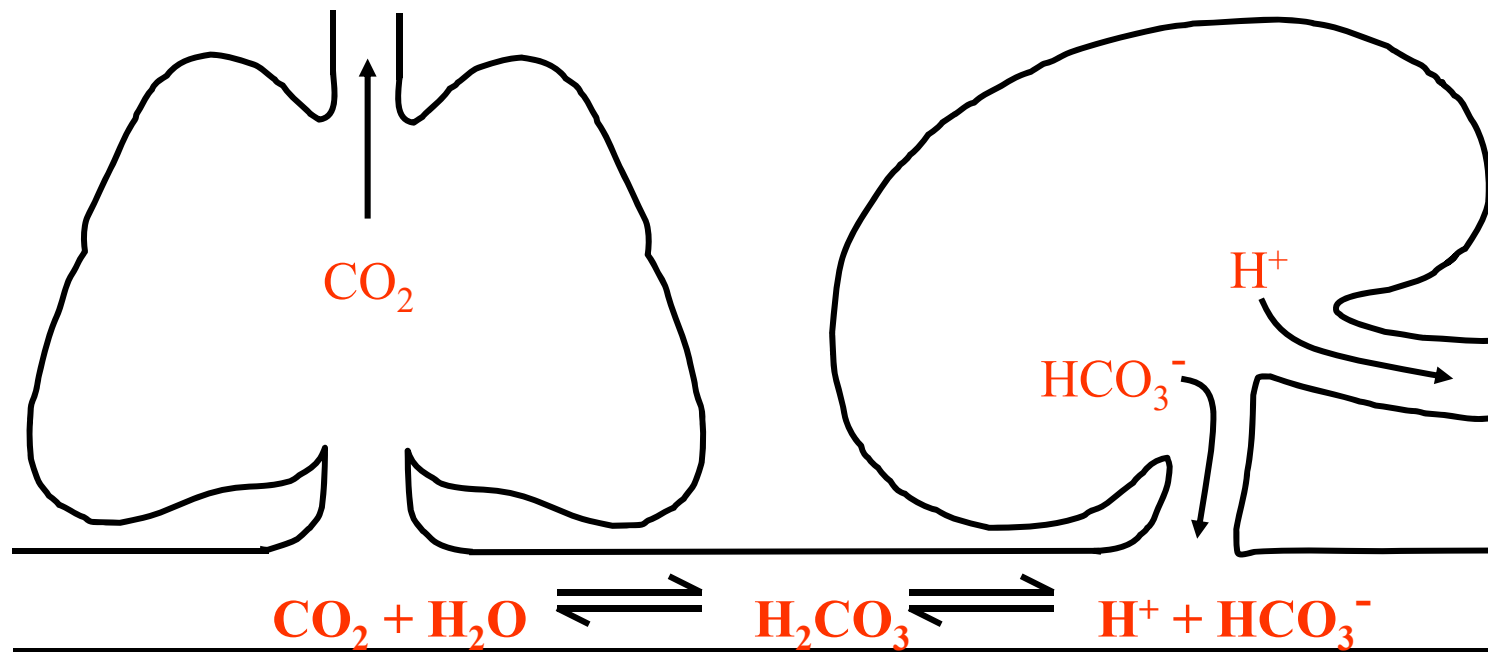


Άπω εσπειραμένο & αθροιστικό σωληνάριο - 66 % έκκρισης οξέος

$[\text{H}^+]$  is 1000 X στον αυλό σε σχέση με το κύτταρο



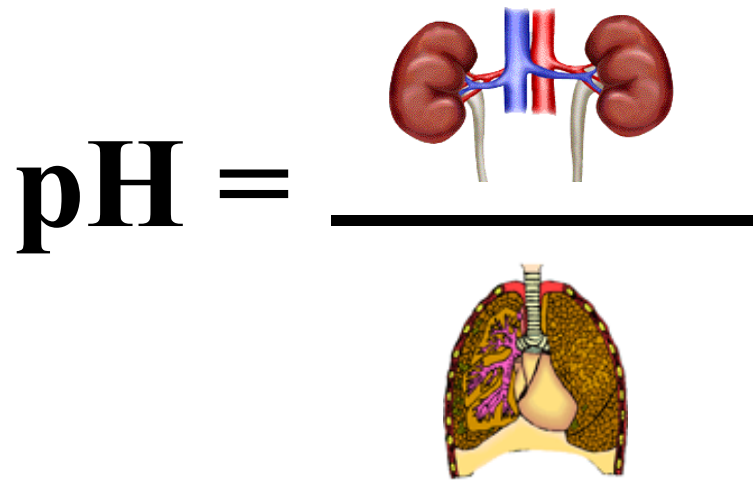
# Οξεοβασική



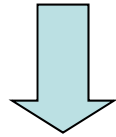


Εξίσωση Henderson-Hasselbalch :

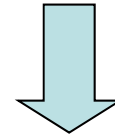
$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$



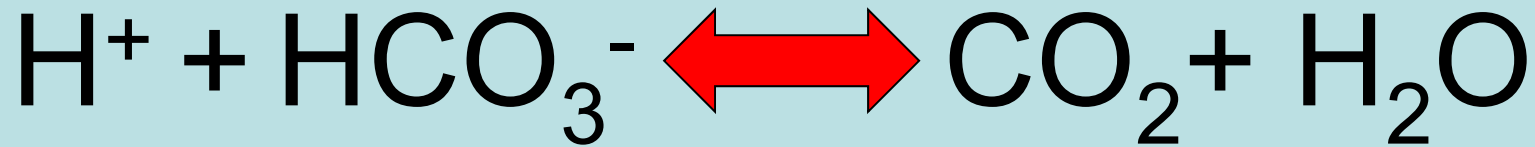
Μεταβολική  
Αλκάλωση



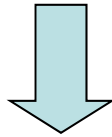
Αναπνευστική  
Οξέωση



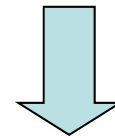
Υποαερισμός



Μεταβολική  
οξέωση



Μεταβολική  
Οξέωση



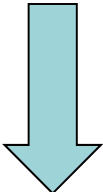

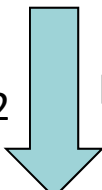

Αναπνευστική  
Αλκάλωση

Υπεραερισμός

# Μεταβολική Οξέωση

- $\text{pH} < 7,4$
- $[\text{HCO}_3^-] < 24 \text{ mEq/L}$

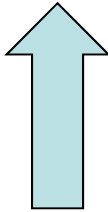


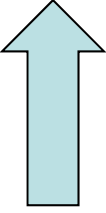
## Αντιρρόπηση στην μεταβολική οξέωση

-   $[\text{HCO}_3^-] = 1,2$    $\text{pCO}_2$  (1 προς 1,2)
- Η  $\text{PCO}_2$   κατά **1.2** mmHg από το 40 mmHg
- για κάθε **1** mEq/L  της  $[\text{HCO}_3^-]$  από το 24 mEq/L

# Μεταβολική Αλκάλωση

- pH > 7,4
- $[\text{HCO}_3^-] > 24 \text{ mEq/L}$

## Αντιρρόπιση στην μεταβολική αλκάλωση

-   $[\text{HCO}_3^-] = 0,7$    $p\text{CO}_2$  (1 προς 0,7)
- Για κάθε 1 meq/L   $[\text{HCO}_3^-]$  από το 24 (mEq/L)
- αντιστοιχεί 0,7  της  $p\text{CO}_2$  από το 40 (mmHg)

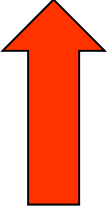

# Αναπνευστική Οξέωση

- $\text{pH} < 7,4$



$\text{pCO}_2 > 40 \text{ mmHg}$

## Αντιρρόπηση στην αναπνευστική οξέωση

οξέως

- 1 meq/L   $[\text{HCO}_3^-]$  από το 24 (mEq/L)  
για κάθε 10 mmHg  της  $p\text{CO}_2$  από το 40 (mmHg)

χρονίως

- 3,5 meq/L   $[\text{HCO}_3^-]$  από το 24 (mEq/L)  
για κάθε 10 mmHg  της  $p\text{CO}_2$  από το 40 (mmHg)



# Αναπνευστική Αλκάλωση

- $\text{pH} > 7,4$

$\text{pCO}_2 < 40 \text{ mmHg}$

## Αντιρρόπιση στην αναπνευστική αλκάλωση

οξέως

- 2 meq/L ↓  $[\text{HCO}_3^-]$  από το 24 (mEq/L)

για κάθε 10 mmHg ↓ της  $p\text{CO}_2$  από το 40 (mmHg)

χρονίως

- 4 meq/L ↓  $[\text{HCO}_3^-]$  από το 24 (mEq/L)

για κάθε 10 mmHg ↓ της  $p\text{CO}_2$  από το 40 (mmHg)

# Μεταβολική Οξέωση

- pH < 7,4
- $[\text{HCO}_3^-] < 24 \text{ mEq/L}$

ANION

GAP

# Χάσμα Ανιόντων

$$\text{Na}^+ - [\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-] \quad \text{φ.τ. } 12 \text{ mEq/L}$$

- Τι δείχνει το χάσμα ανιόντων;
- Αν μια μεταβολική οξέωση οφείλεται σε προσθήκη

οξέος

(↑ χάσματος ανιόντων)

ή

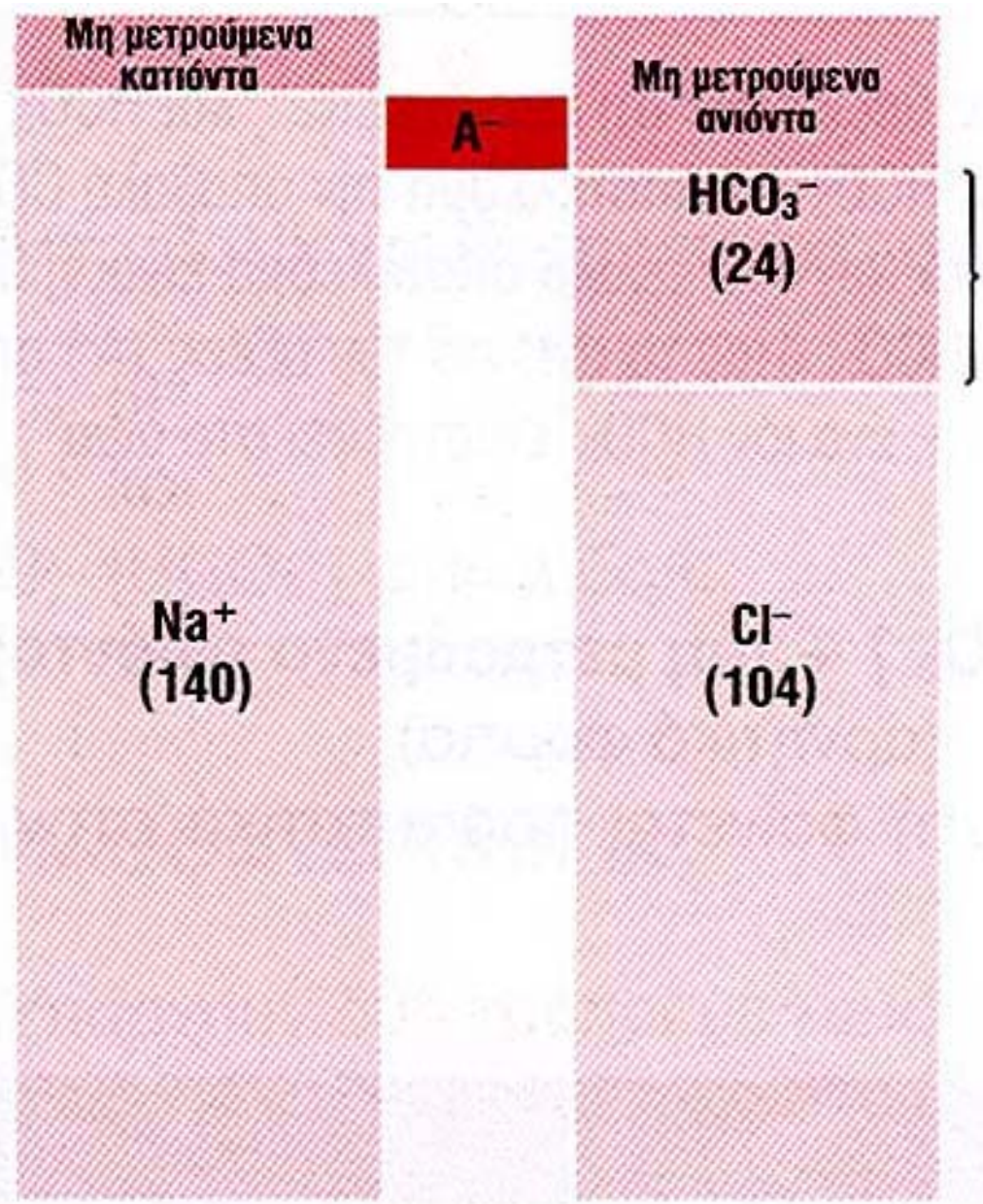
σε απώλεια  $\text{HCO}_3^-$

(αμετάβλητο χάσμα ανιόντων)

# Αρχή ηλεκτρικής ουδετερότητας





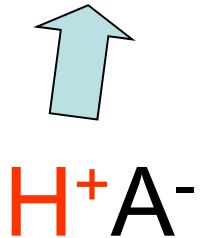
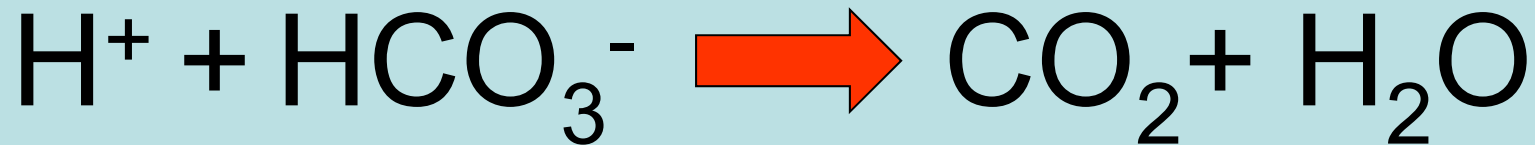
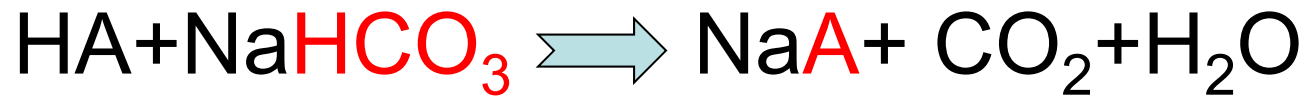


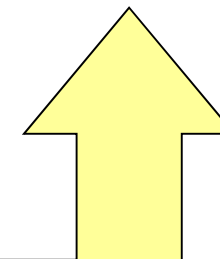
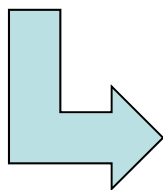
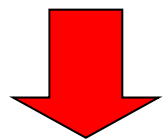
Φυσιολογικά



## Διόρθωση AG με βάση την αλβουμίνη

- Για κάθε 1g/dl μείωση της συγκέντρωσης της αλβουμίνης του πλάσματος υπάρχει μείωση κατά 2,5 mEq/L στο AG
- Η υποαλβουμιναιμία είναι η συνηθέστερη αιτία χαμηλού AG που παρατηρείται κλινικά, ιδιαίτερα στις μονάδες εντατικής θεραπείας
- Η διόρθωση του AG με βάση την αλβουμίνη γίνεται ως εξής:  
**Διορθωμένο AG = μετρούμενο AG + [2.5 X (4 – συγκέντρωση Alb)]**  
όπου τα 4g/dl είναι η φυσιολογική συγκέντρωση αλβουμίνης [Alb]
- Εάν το διορθωμένο AG > 12 υπάρχει οξέωση με ευρύ χάσμα ανιόντων



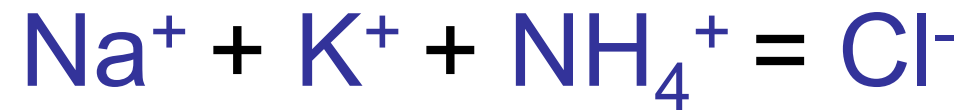
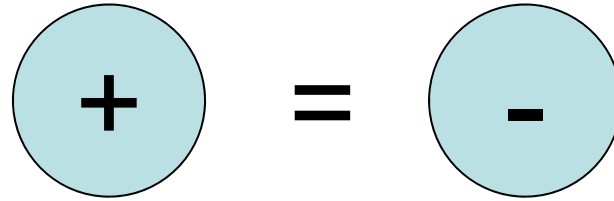


ΧΑ φυσιολογικό

# Μεταβολική Οξέωση

- **Αύξημένο Χ. Α.**  
**Προσθήκη οξέος**
  - Γαλακτική
  - Διαβητική
  - Δηλητηρίαση
  - Νεφρική ανεπάρκεια
- **Φυσιολογικό Χ. Α.**  
**Απώλεια  $\text{HCO}_3^-$** 
  - Απώλεια από τα νεφρά  
νεφρική σωληναριακή  
οξέωση
  - Απώλεια από το  
γαστρεντερικό

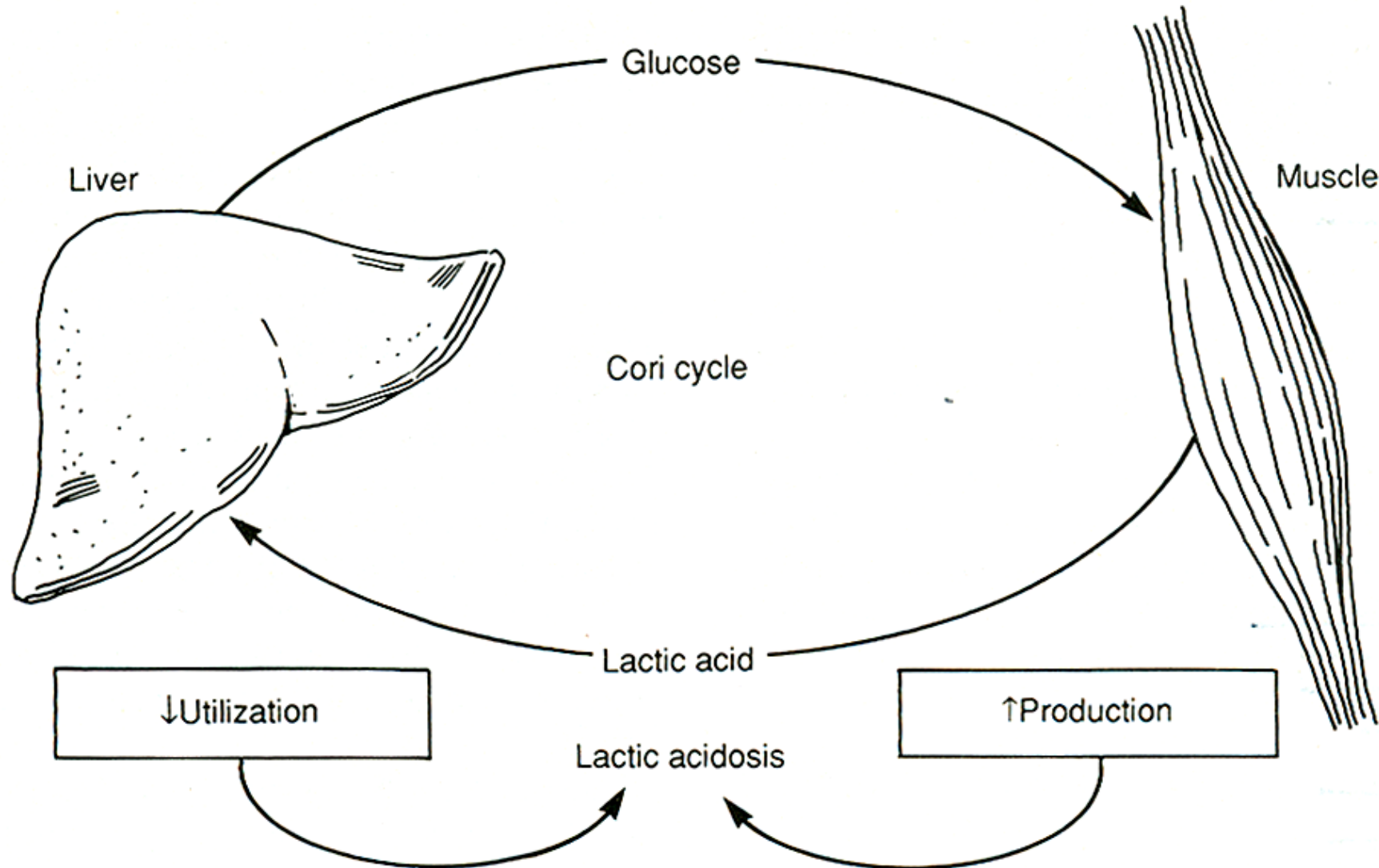
# Αρχή ηλεκτρικής ουδετερότητας



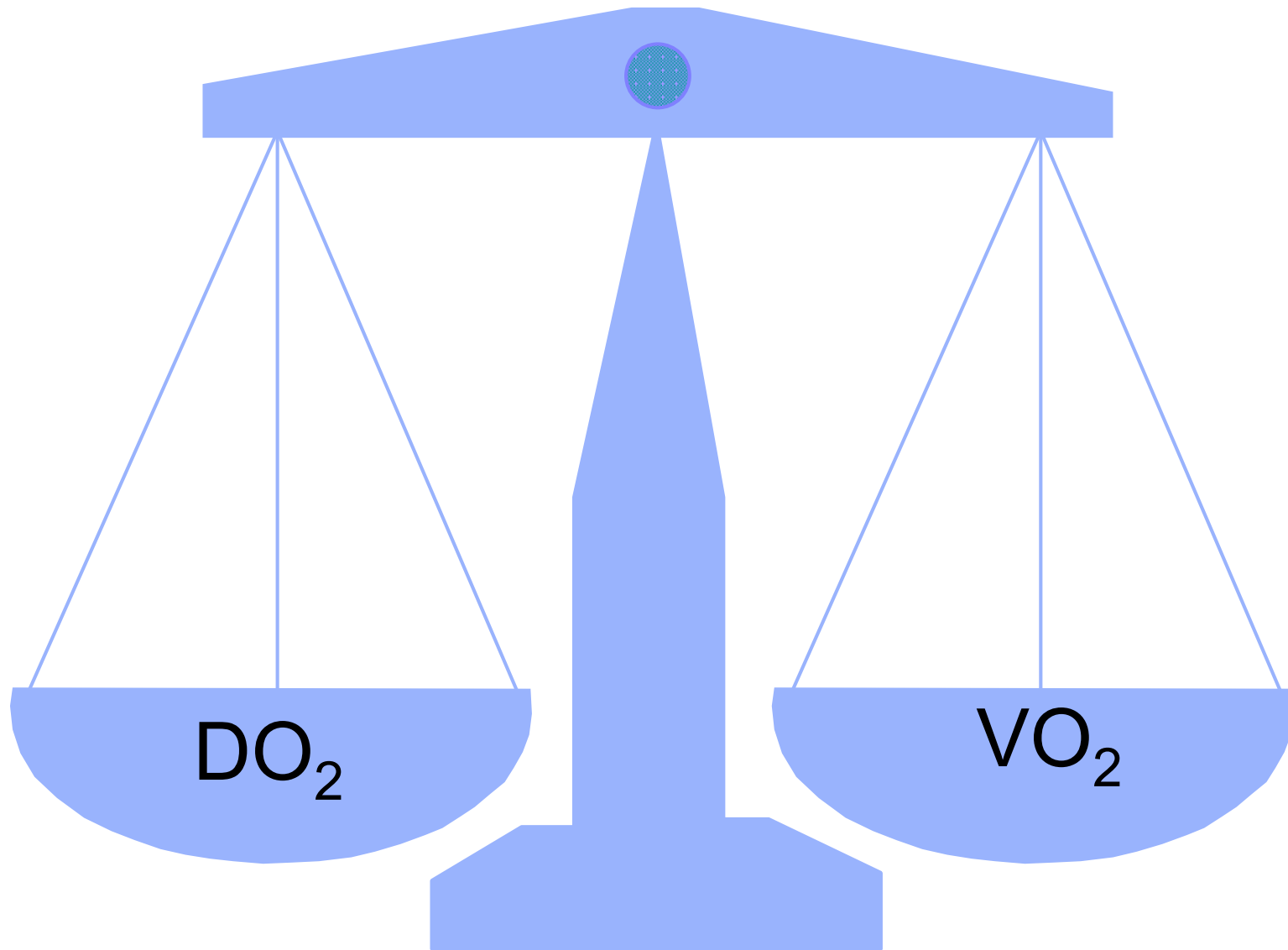
## Γαλακτική οξέωση

- $\text{pH} < 7,4$
- $[\text{γαλακτικού}] > 4 \text{ mEq} / \text{L}$

# Αίτια γαλακτικής οξέωσης

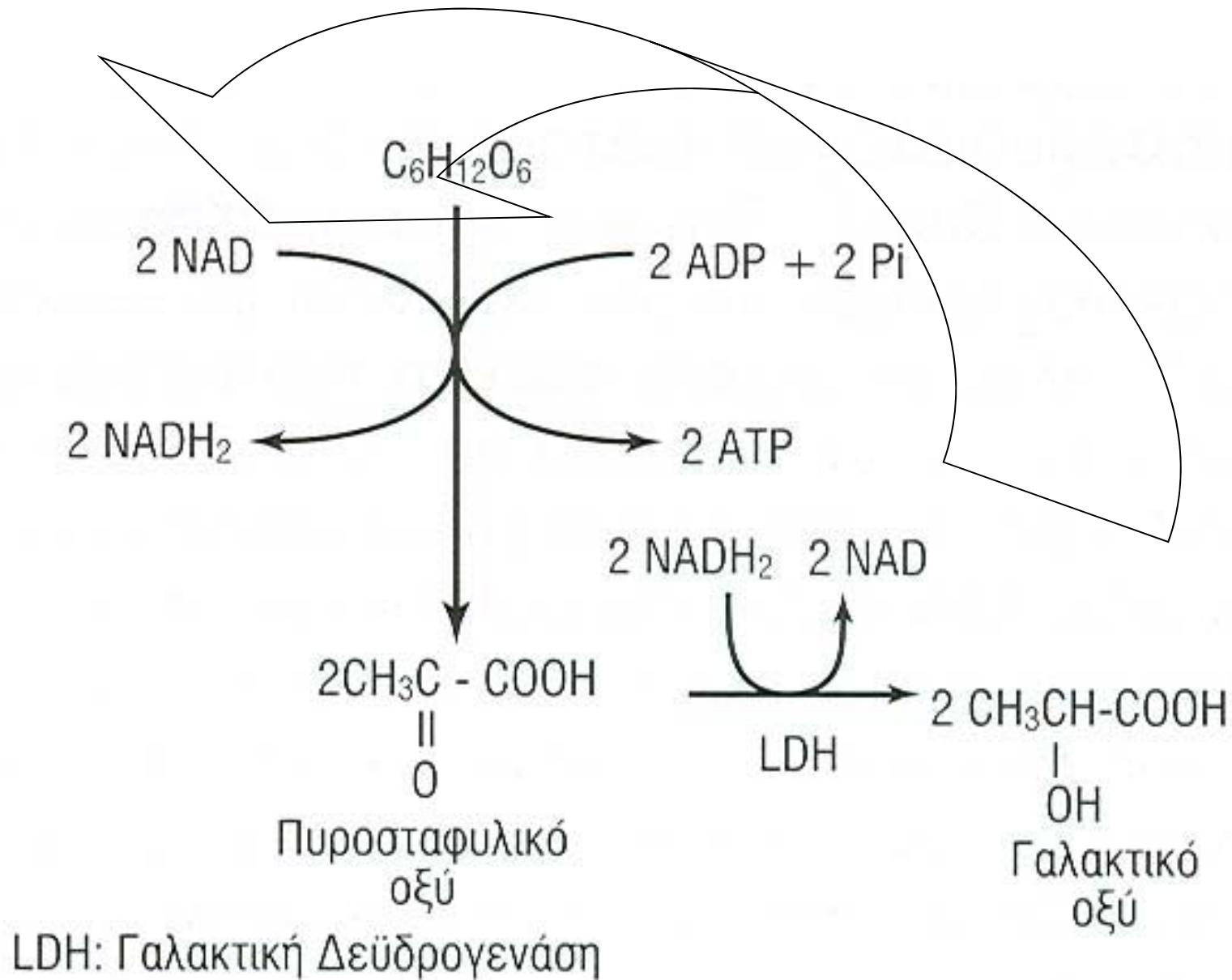


Αυξημένη παραγωγή γαλακτικού: **Ιστική**  
**υποξία**





# Γαλακτική οξέωση



# Προσφορά οξυγόνου $DO_2$

$SaO_2$

καρδιακή παροχή

$[Hb]$  = αριθμός βαγονιών

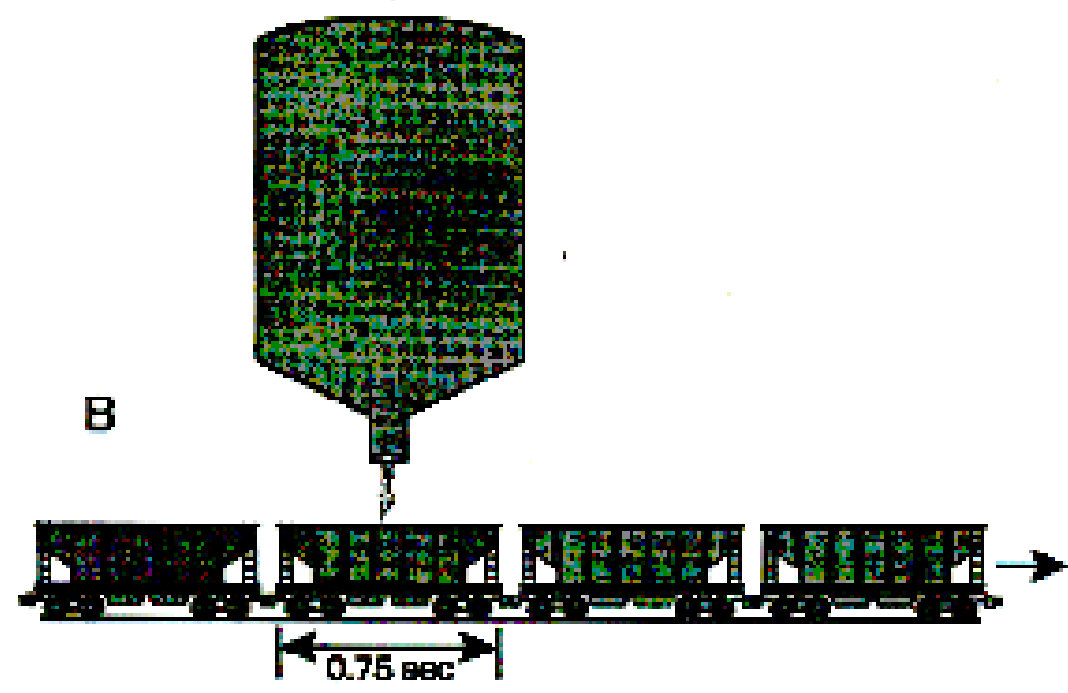
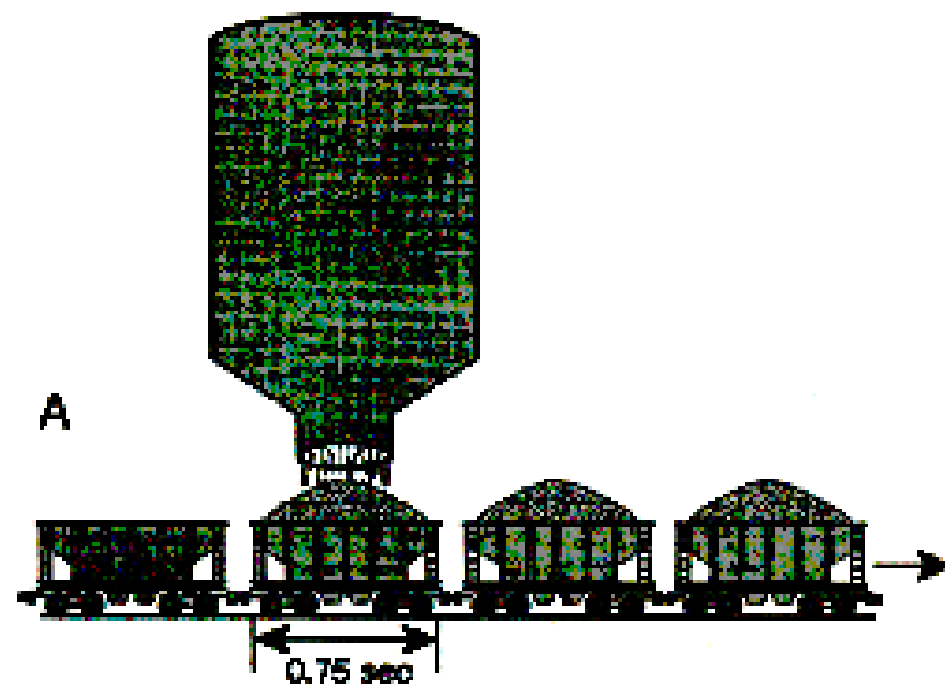


# Επίδραση της καρδιακής παροχής στην προσφορά οξυγόνου ( $DO_2$ )



# Επίδραση της αναιμίας στη $DO_2$





# Θεραπεία γαλακτικής οξέωσης

- Αιτιολογική αντιμετώπιση
  - $O_2$
  - Μεταγγίσεις
  - Ινότροπα, αγγειοσυσπαστικά, διουρητικά
- $[HCO_3^-]$  ?

## Αποτελέσματα θεραπείας με διττανθρακικά

**Table 1 Change in blood chemistry 15 min following 2 mmol/kg bicarbonate infusion [10]**

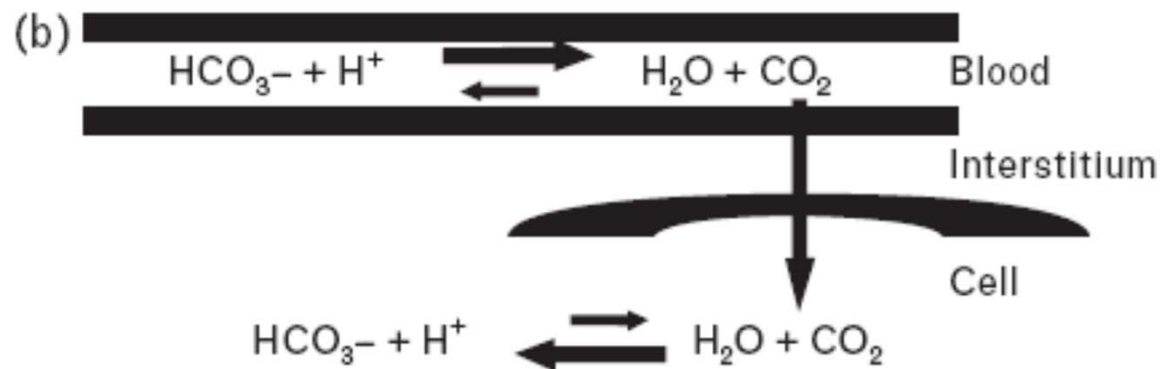
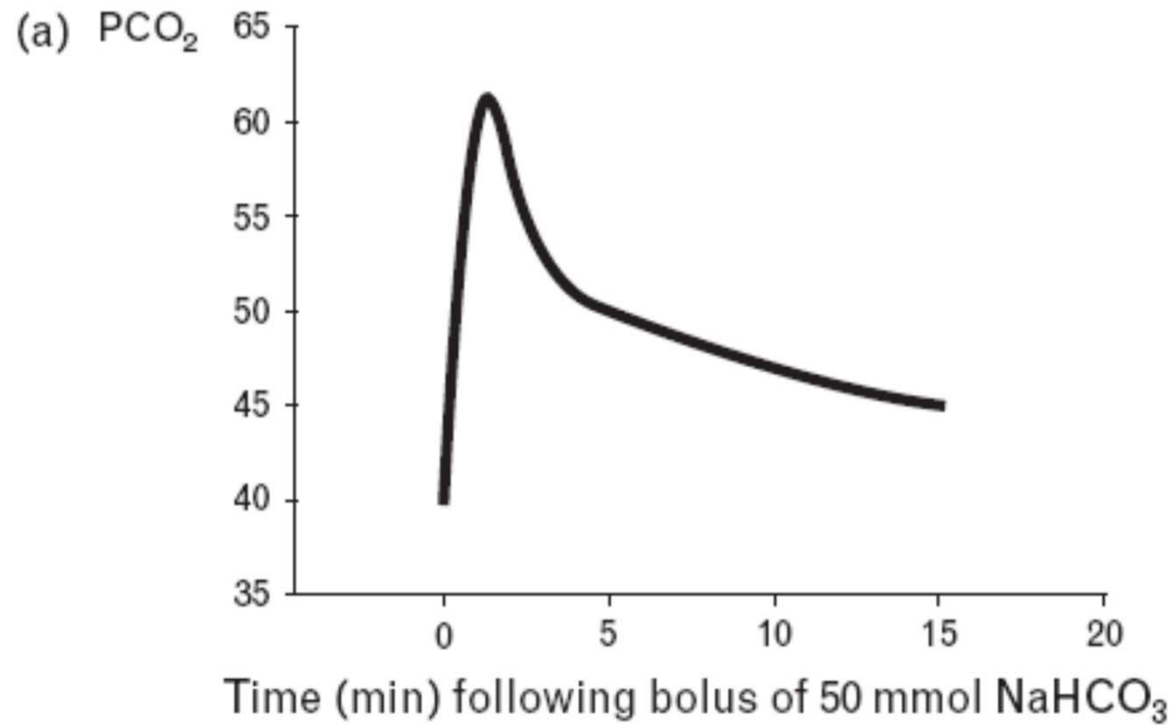
pH	+0.14
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+6 mmol/l
CO <sub>2</sub>	+5 mmHg
Plasma ionized calcium	-0.08 mmol/l

Καμία αλλαγή σε:

- καρδιακή παροχή
- Αρτηριακή πίεση
- Ανάγκη σε ινóτροπα

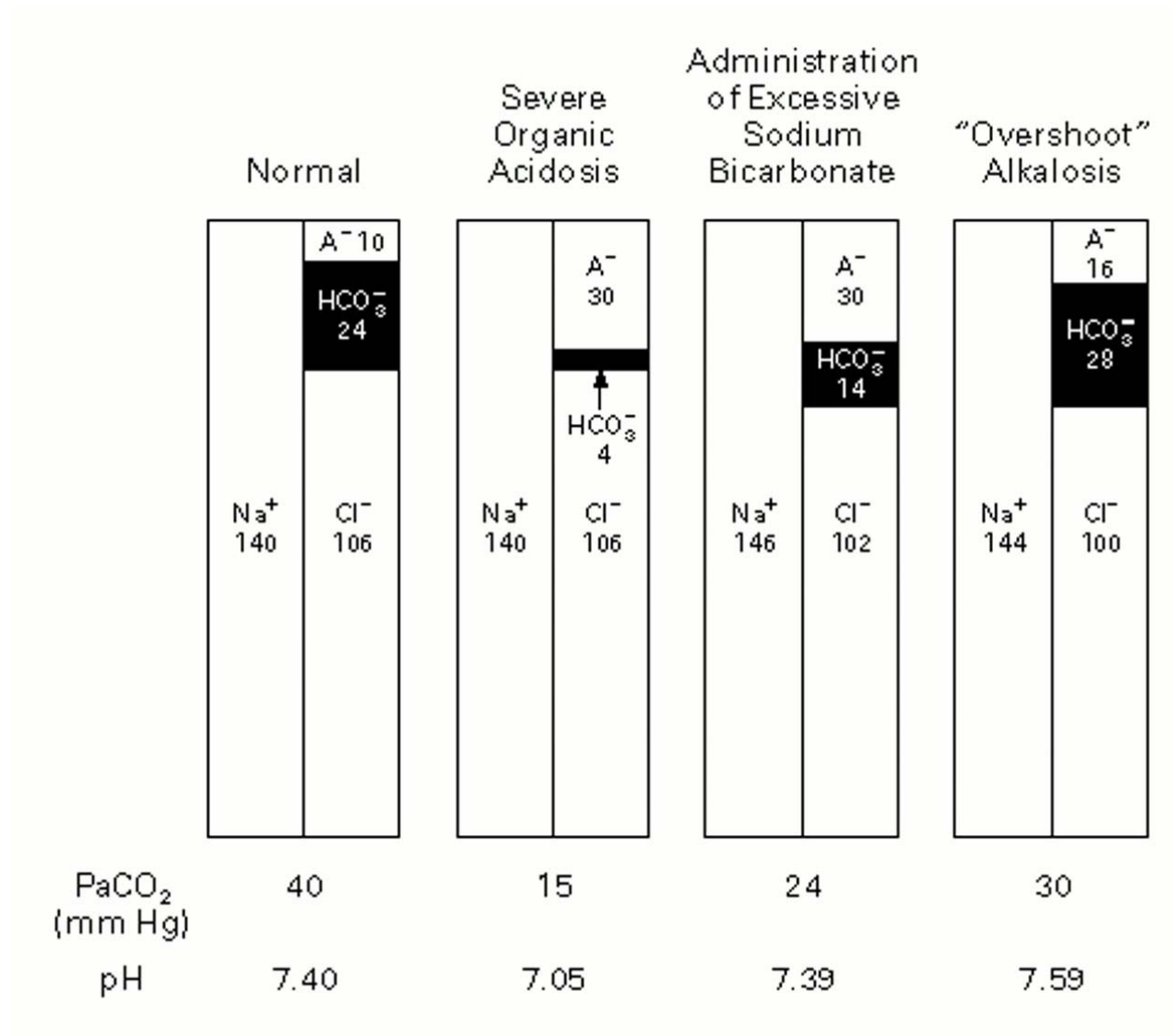
Cooper DJ, Ann Inter Med 1990;112:492-8  
Mathieu D, Crit Care Med 1991;19:1352-6

# Ενδοκυττάρια οξέωση μετά από χορήγηση διττανθρακικών





# "Overshoot" Alkalosis



## Παρενέργειες χορήγησης διττανθρακικών

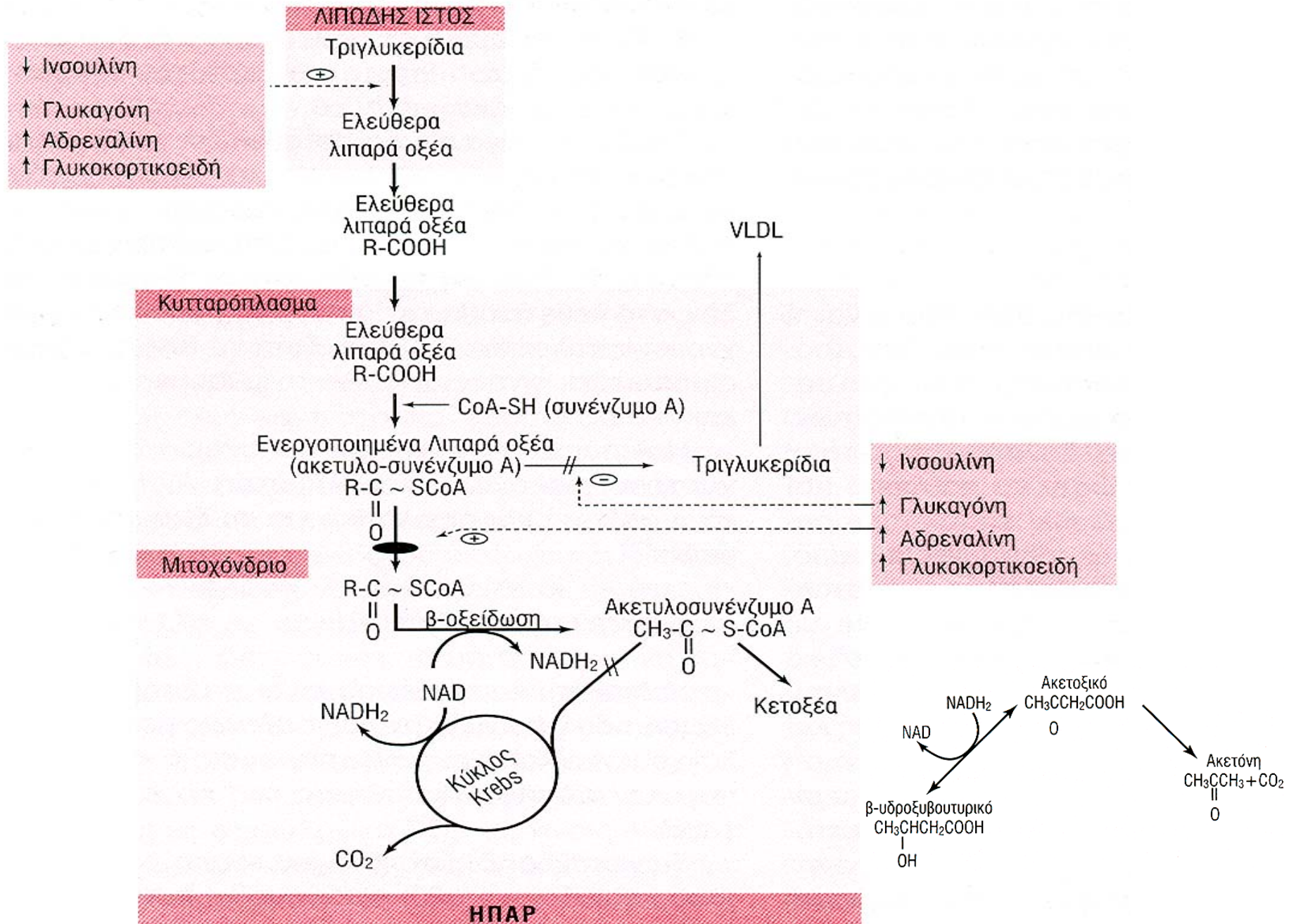
- Ενδοκυτάρια οξέωση
- “overshoot alkalosis”
- Υπερφόρτωση υγρών

## Θεραπεία με διττανθρακικά στη γαλακτική οξέωση

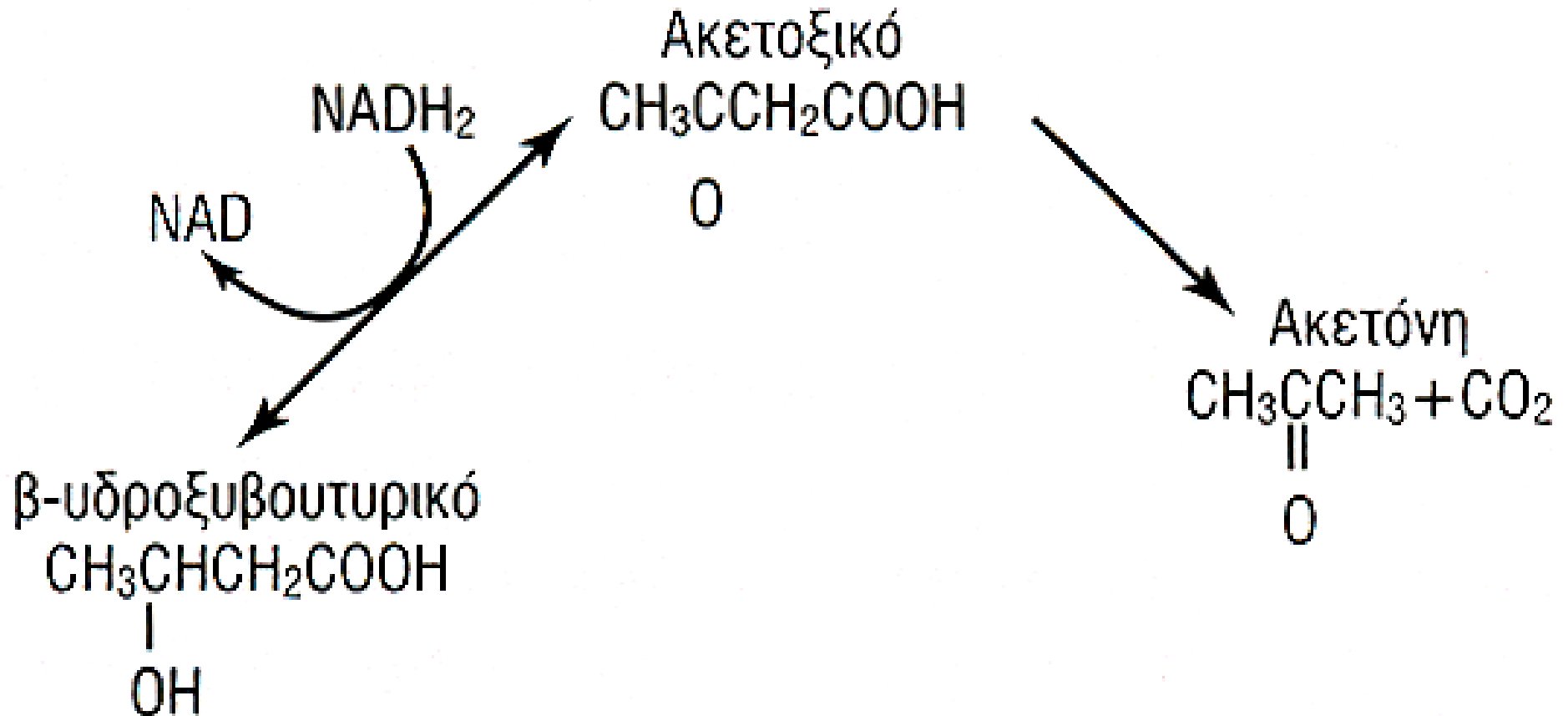
- **Όχι όταν  $\text{pH} > 7,15$**  (Surviving Sepsis Campaign) IB
- Όταν χορηγηθούν,
  - **αργή ενδοφλέβια έγχυση (όχι bolus)**
  - **Στόχος  $[\text{HCO}_3^-] = 8-10 \text{ meq/L}$**
  - Ογκος κατανομής 50% Σωματικού Βάρους
  - Αν η  $[\text{HCO}_3^-]$  είναι 4 meq/L και στόχος τα 8 meq/L σε άνθρωπο 70 Kgr:  
$$4 \times 70 \times 0,5 = 140 \text{ meq HCO}_3^-$$

# Διαβητική Κετοξέωση

# ΔΙΑΒΗΤΙΚΗ ΚΕΤΟΞΕΩΣΗ



# Κετοσώματα



## Διάγνωση Κετοξέωσης

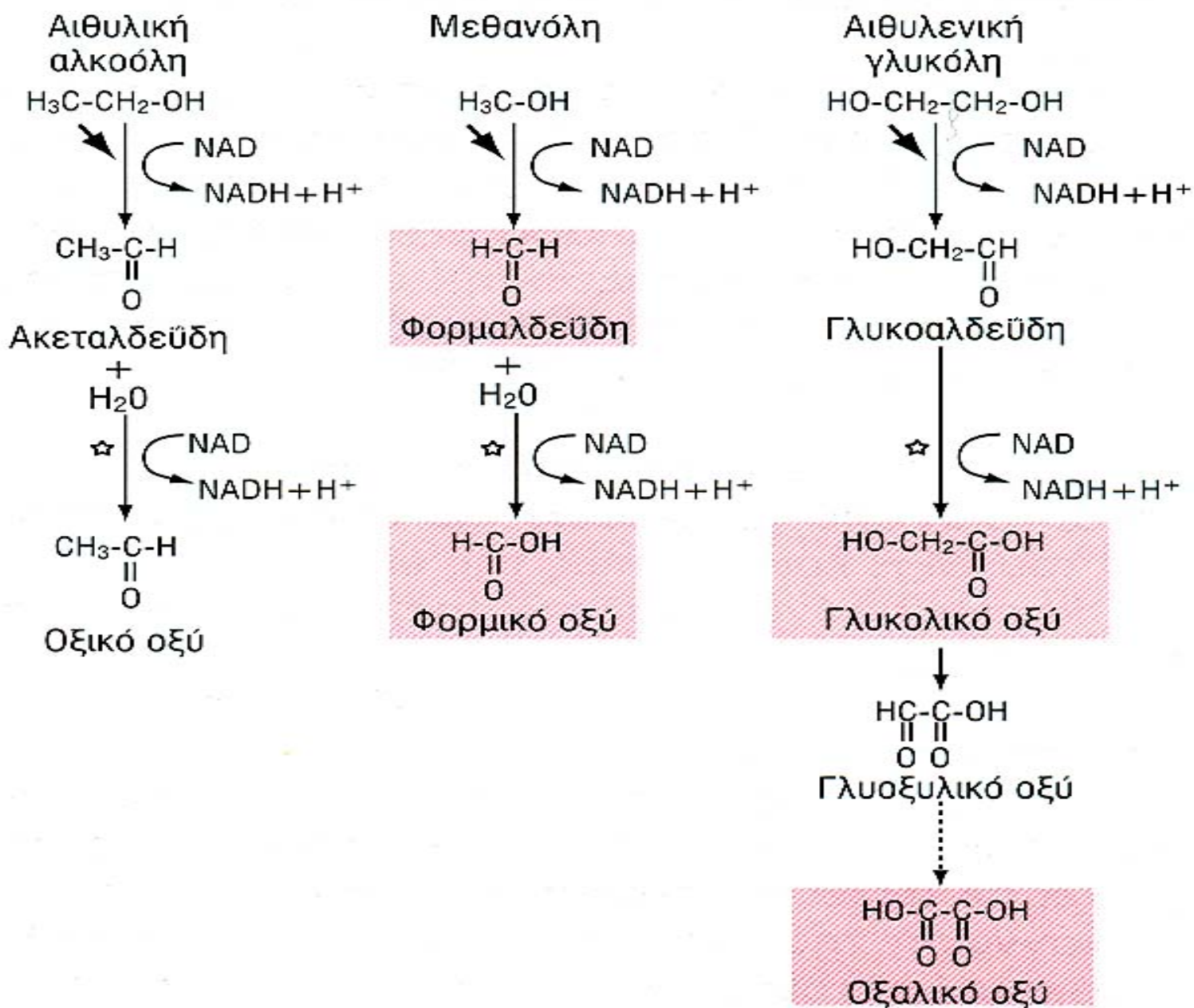
- Υπεργλυκαιμία
- Μεταβολική οξέωση
- Κετονουρία (stick ούρων)

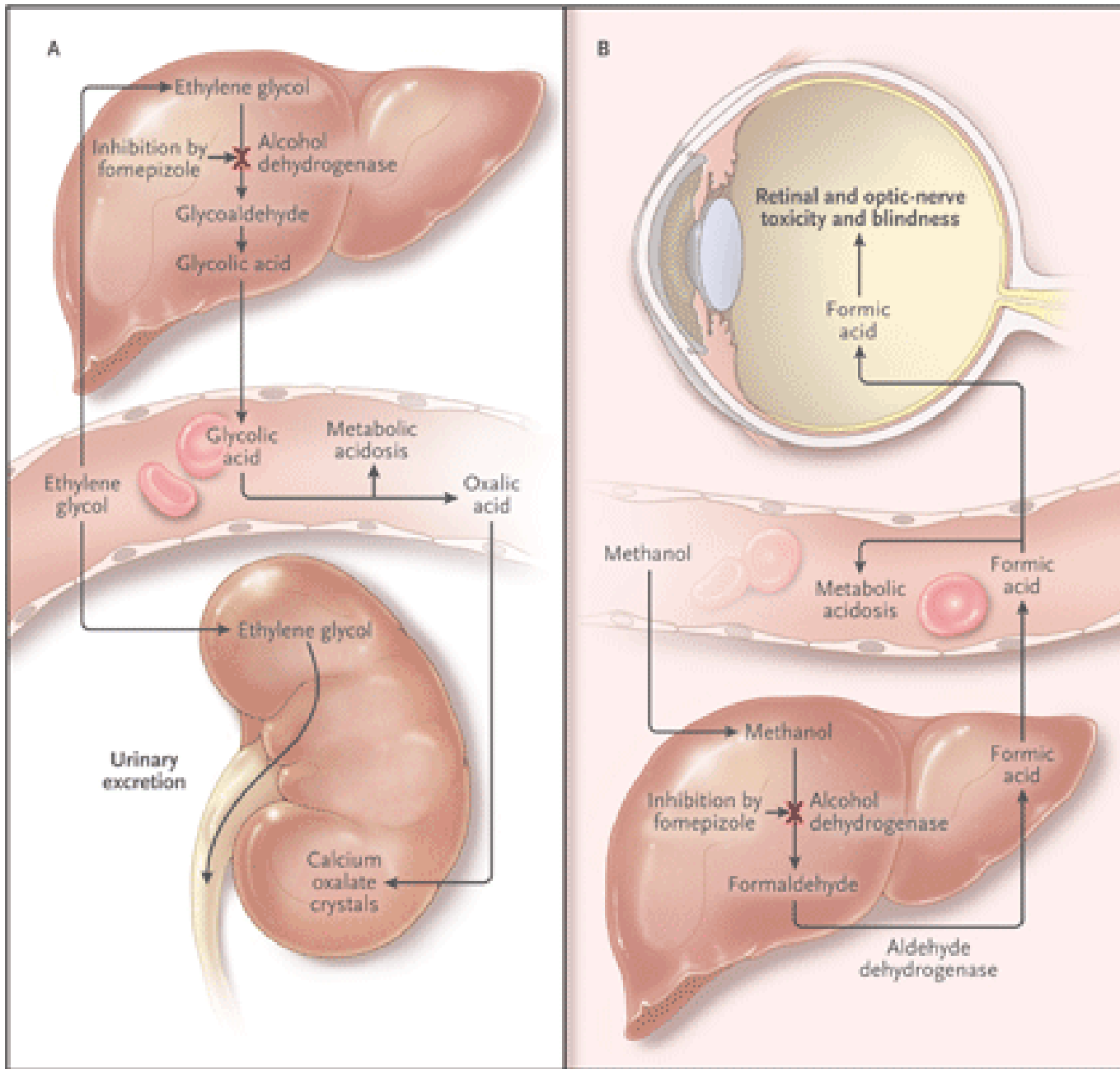
## Θεραπεία κετοξέωσης

- Υγρά
- Ινσουλίνη
- Προσοχή στο  $K^+$



# Δηλητηριάσεις





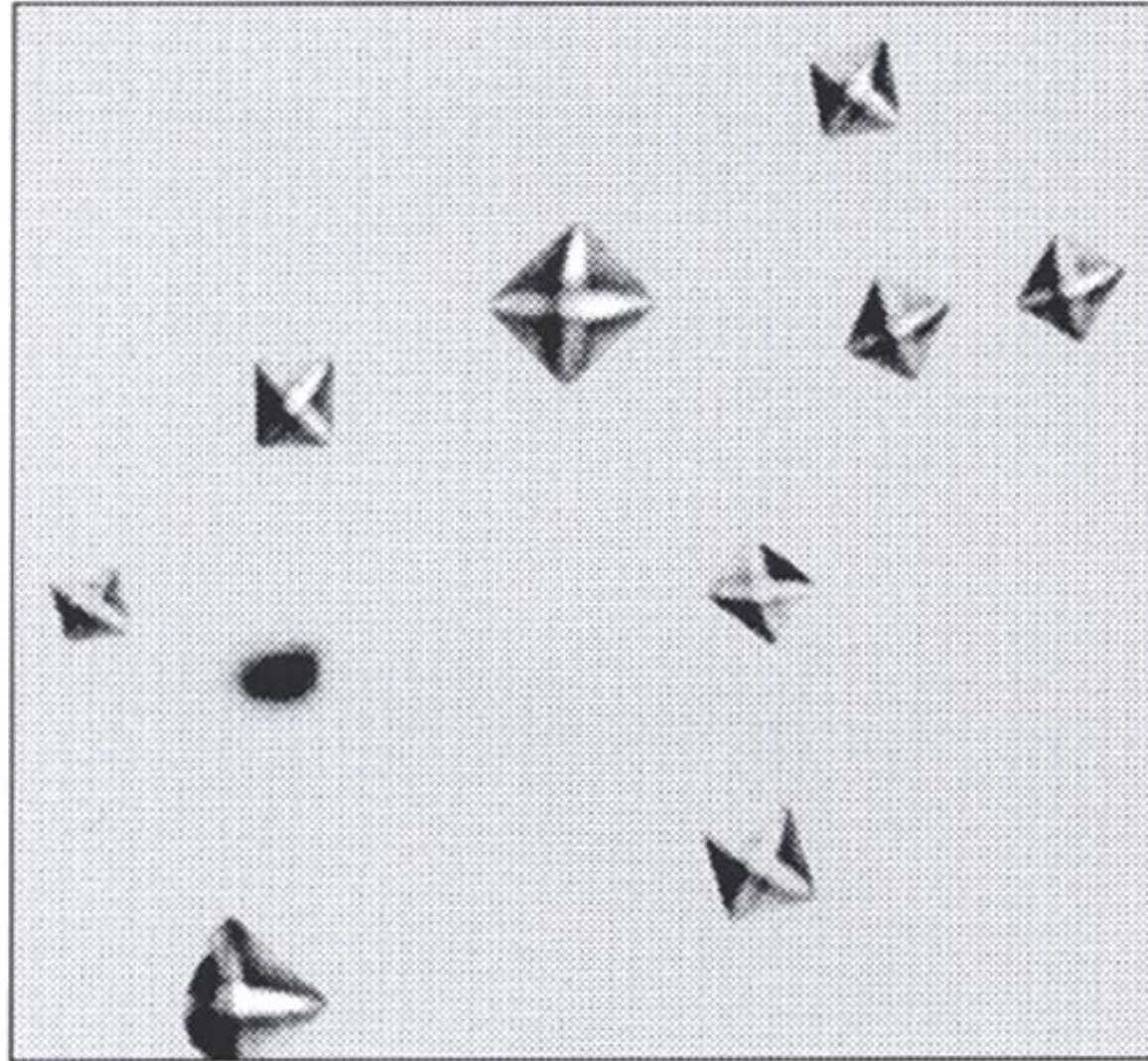
# Ωσμωτικό Χάσμα

## Μετρούμενη – Υπολογιζόμενη Ωσμωτικότητα

Υπολογιζόμενη ωσμωτικότητα =  
 $2[\text{Na}^+] + [\text{γλυκόζης}]$  σε mmol/L + [ουρίας] σε mmol/L

Υπολογιζόμενη ωσμωτικότητα =  
 $2[\text{Na}^+] + [\text{γλυκόζης}]$  σε mg/dl/18  
+ [ουρίας] σε mg/dl/6

Μικροσκοπική εξέταση ούρων  
δηλητηρίαση με αιθυλενική γλυκόλη



Κρύσταλλοι οξαλικού ασβεστίου.



# Θεραπεία δηλητηριάσεων



Δόση εφόδου **4 μεζούρες**  
Δόση συντήρησης **2 μεζούρες**

- Ενδοφλέβια **αλκοόλη**
  - δόση εφόδου:  
0,6 γρ/kg ή  
10% διάλυμα με 60 ml/hr
  - δόση συντήρησης:  
0,15 γρ/kg/hr
- Χορήγηση **πυριδοξίνης (B6, Besix)**  
100mg x 4 για 2 ημέρες
- Χορήγηση **θειαμίνης (B1, Benerva)**  
100mg x 4 για 2 ημέρες

**Table 2. Recommended Doses of Fomepizole for Ethylene Glycol or Methanol Poisoning.\***

For patients not undergoing hemodialysis

Loading dose: 15 mg per kilogram of body weight, followed by 10 mg per kilogram every 12 hr; after 48 hr, 15 mg per kilogram every 12 hr

For patients undergoing hemodialysis

Same doses administered to patients who are not undergoing hemodialysis, except that the drug is given 6 hr after the first dose and every 4 hr thereafter

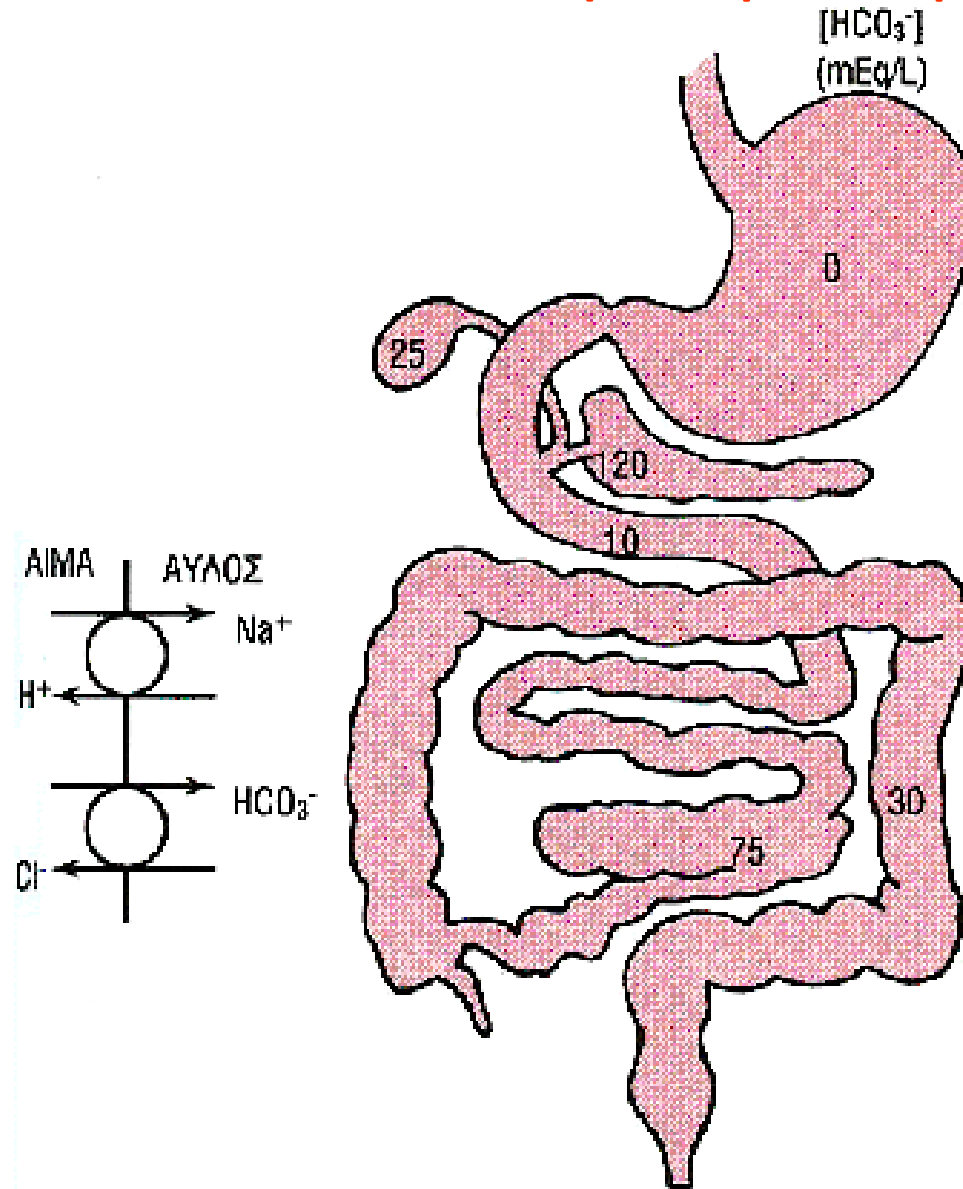
\* All doses are administered intravenously over a 30-minute period. These regimens have been shown to maintain therapeutic plasma fomepizole concentrations both in patients undergoing dialysis and in those not undergoing dialysis.<sup>8,21</sup>

---

# Μεταβολική Οξέωση

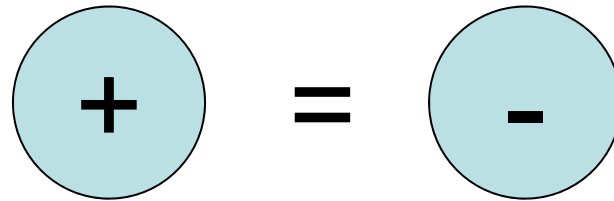
- **Αύξημένο Χ. Α.**  
**Προσθήκη οξέος**
  - Γαλακτική
  - Διαβητική
  - Δηλητηρίαση
  - Νεφρική ανεπάρκεια
- **Φυσιολογικό Χ. Α.**  
**Απώλεια  $\text{HCO}_3^-$** 
  - Απώλεια από τα νεφρά  
νεφρική σωληναριακή  
οξέωση
  - Απώλεια από το  
γαστρεντερικό

# Απώλεια από το γαστρεντερικό

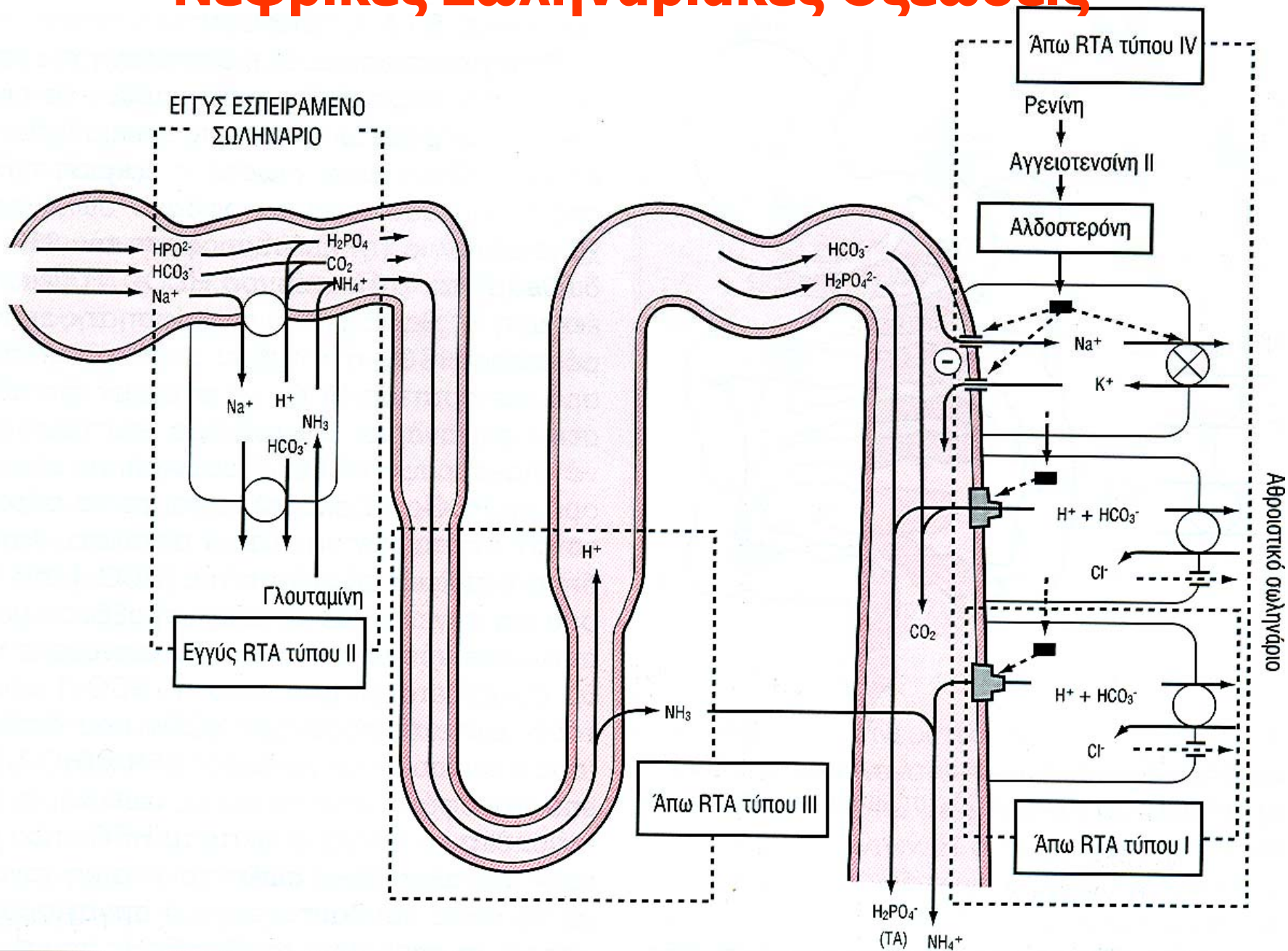




# Αρχή ηλεκτρικής ουδετερότητας



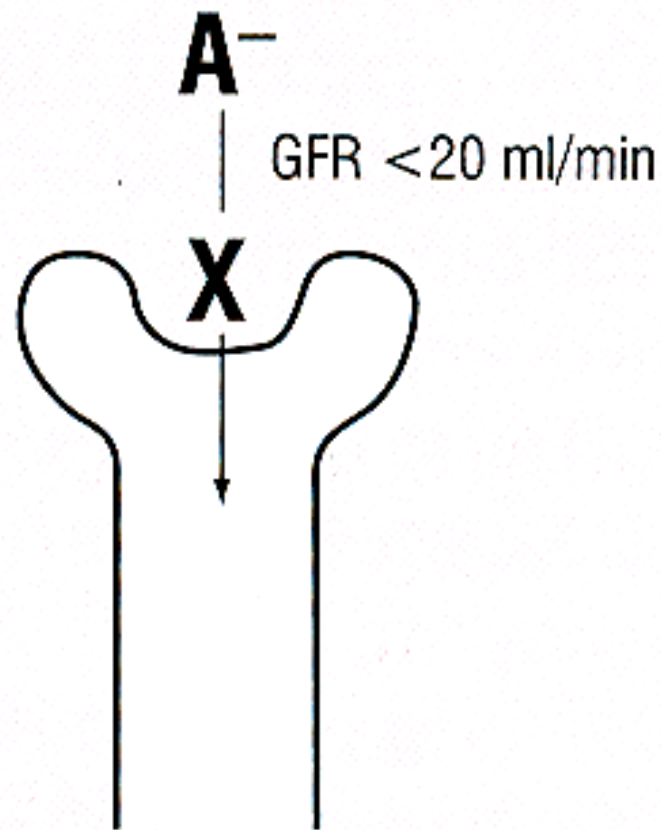
# Νεφρικές Σωληναριακές Οξεώσεις



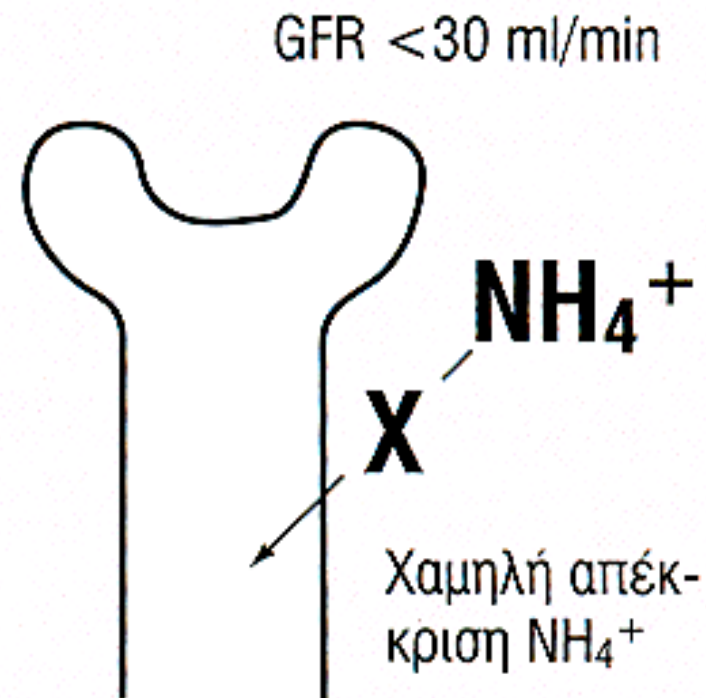
## Νεφρική ανεπάρκεια

- Incidence and features
  - Loss of 80% of renal mass before acidosis occurs
  - BUN > 40 mg/dl and Creatinine > 4 mg/dl
  - AG rarely exceeds 15-20 mmol/l
  - Tubular damage predominates early
    - **Hyperchloremic non-gap acidosis occurs first**

# Μεταβολική οξέωση στη νεφρική ανεπάρκεια



Μεταβολική οξέωση  
με αύξηση του  
χάσματος ανιόντων



Μεταβολική οξέωση  
με φυσιολογικό  
χάσμα ανιόντων

# Μεταβολική Αλκάλωση

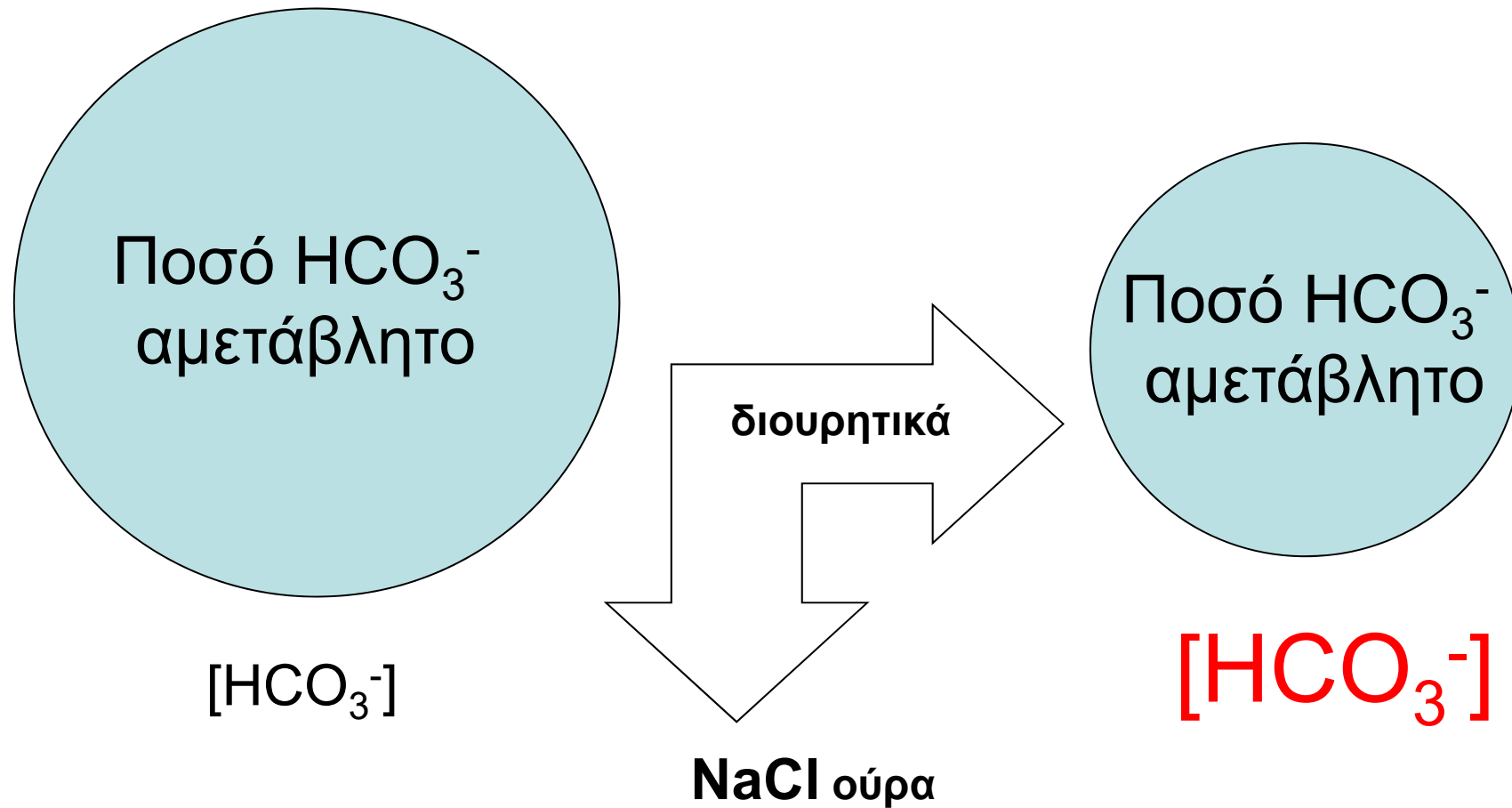
- pH > 7,4
- $[\text{HCO}_3^-] > 24 \text{ mEq/L}$

# Παθοφυσιολογία μεταβολικής αλκάλωσης

The diagram illustrates the relationship between bicarbonate concentration and its total amount in the extracellular fluid volume. It features a horizontal line representing the total amount of bicarbonate. Above the line, the text reads "ποσό  $\text{HCO}_3^-$  στον εξωκυττάριο όγκο" (amount of  $\text{HCO}_3^-$  in the extracellular fluid volume), with a light blue arrow pointing upwards to the right. Below the line, the text reads "εξωκυττάριο όγκο" (extracellular fluid volume), with a light blue arrow pointing downwards to the left. To the left of the horizontal line, the text " $[\text{HCO}_3^-] =$ " is shown, with a light blue arrow pointing upwards to the left.

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{\text{ποσό } \text{HCO}_3^- \text{ στον εξωκυττάριο όγκο}}{\text{εξωκυττάριο όγκο}}$$

Παθοφυσιολογία μεταβολικής αλκάλωσης:  
Απώλεια εξωκυττάριου όγκου



# Παθοφυσιολογία μεταβολικής αλκάλωσης:

- Για να διατηρηθεί η μεταβολική αλκάλωση



πρέπει

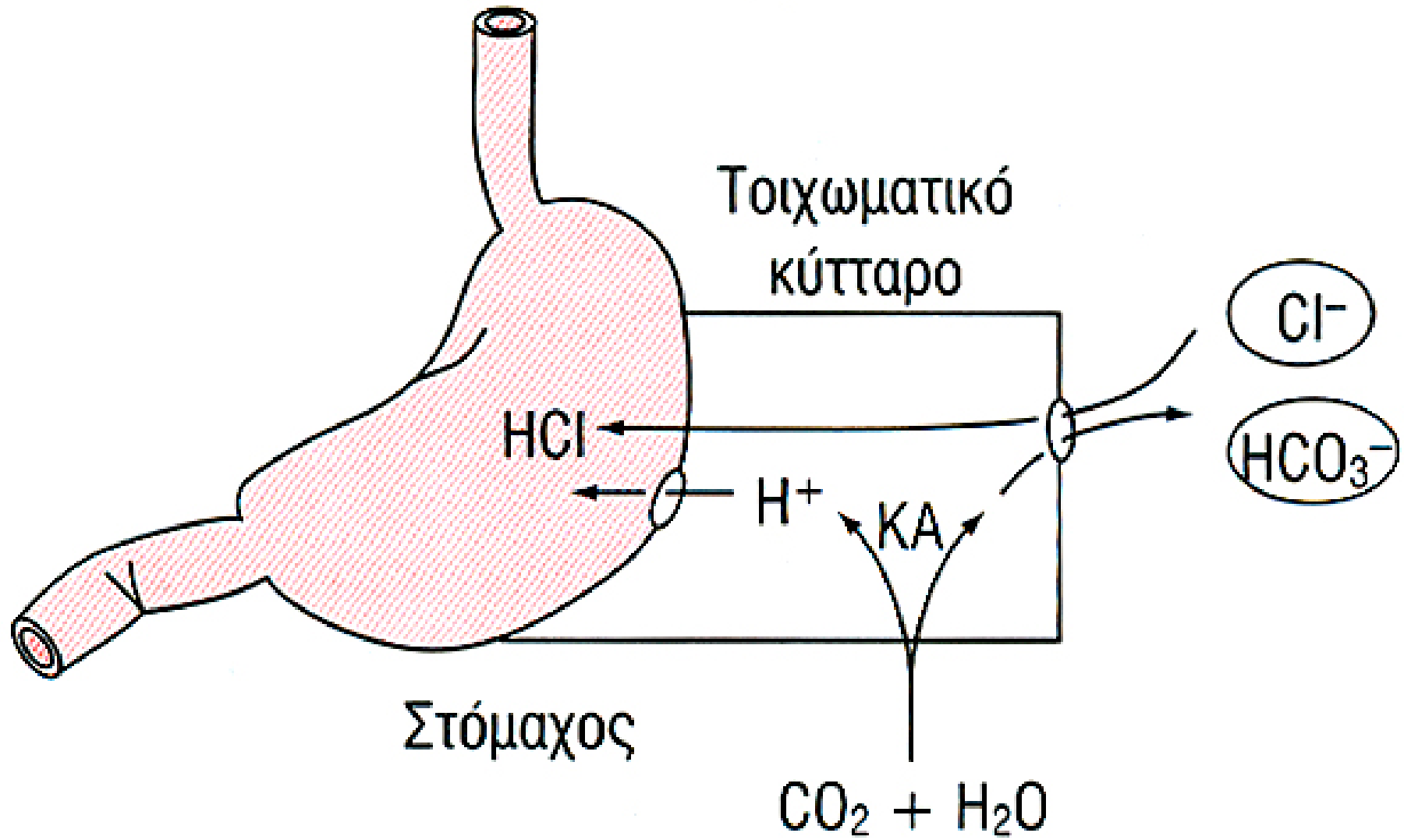
οι νεφροί να μην αποβάλουν τα πλεονάζοντα HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

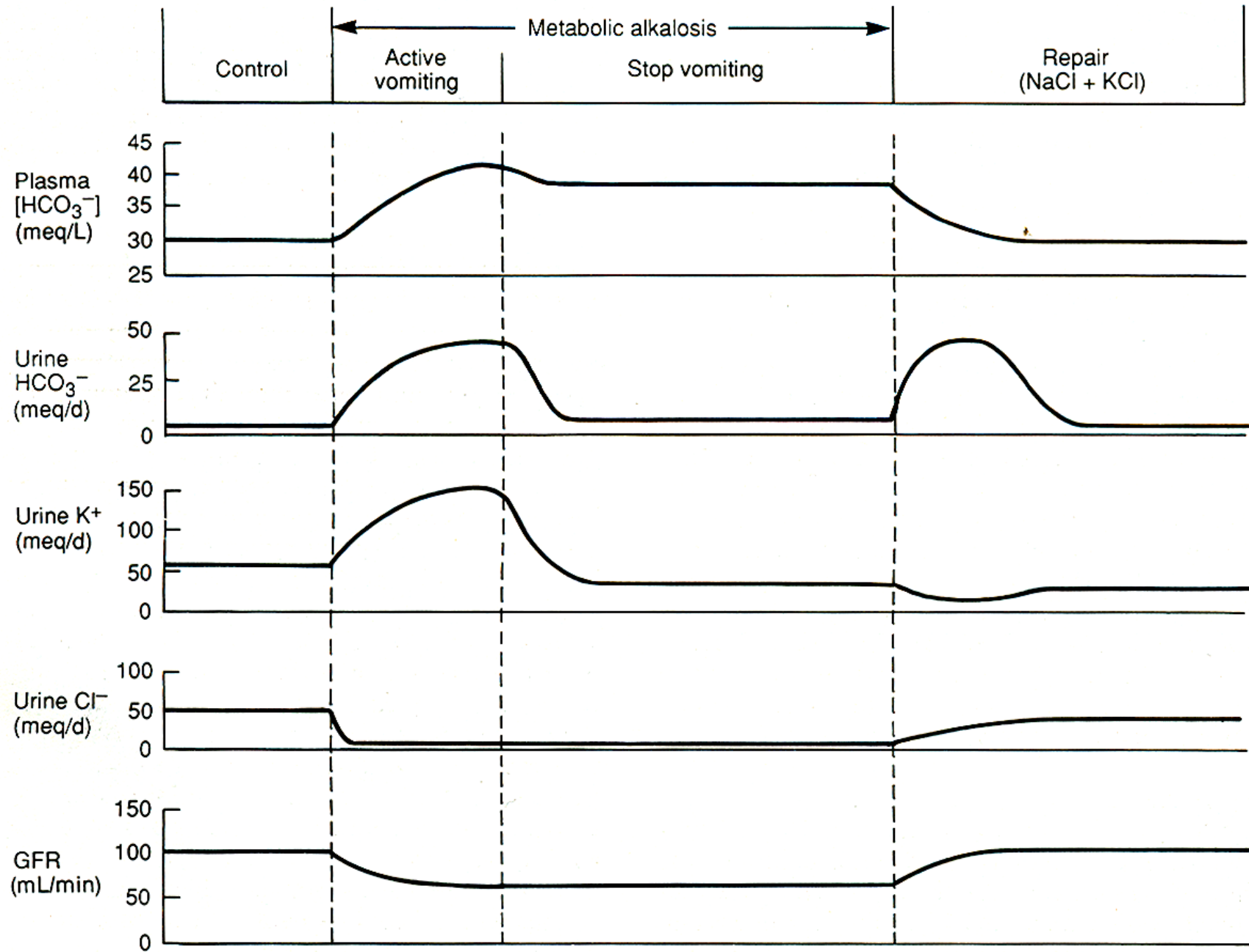


Πότε χάνεται η απεκκριτική ικανότητα των νεφρών στα διττανθρακικά;

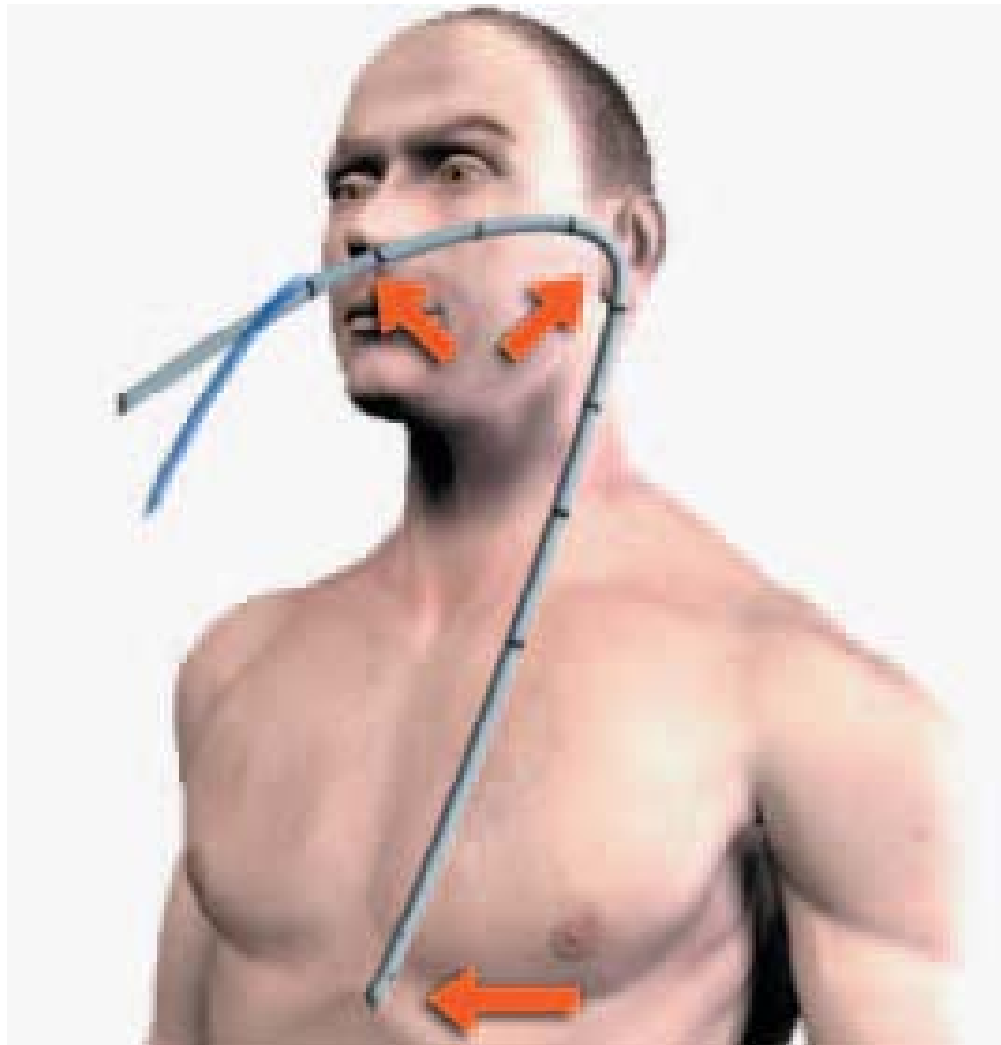
- Σε μείωση του εξωκυττάριου όγκου
- Σε υποκαλιαιμία

# Εμετοι

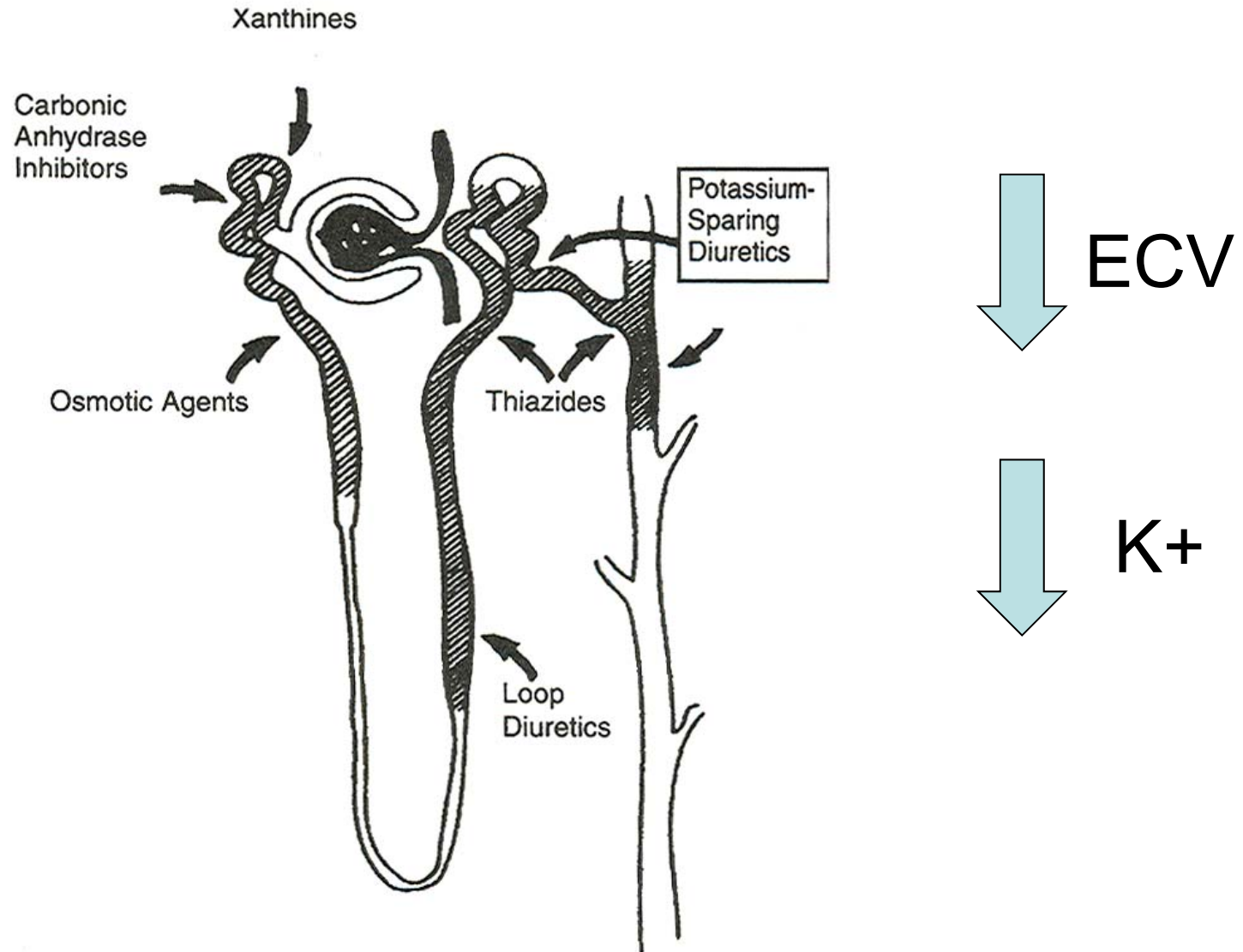




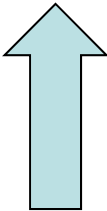
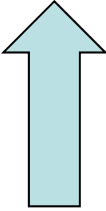
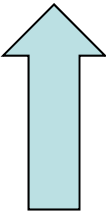
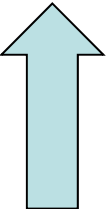
# Ρινογαστρικός σωλήνας



# Διουρητικά



## Αντιρρόπιση στην μεταβολική αλκάλωση

-   $[\text{HCO}_3^-] = 0,7$    $\text{pCO}_2$  (1 προς 0,7)
- Για κάθε 1 meq/L   $[\text{HCO}_3^-]$  από το 24 (mEq/L)
- αντιστοιχεί 0,7  της  $\text{pCO}_2$  από το 40 (mmHg)

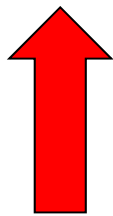
# Αναπνευστική Οξέωση

- $\text{pH} < 7,4$

και

$\text{pCO}_2 > 40 \text{ mmHg}$

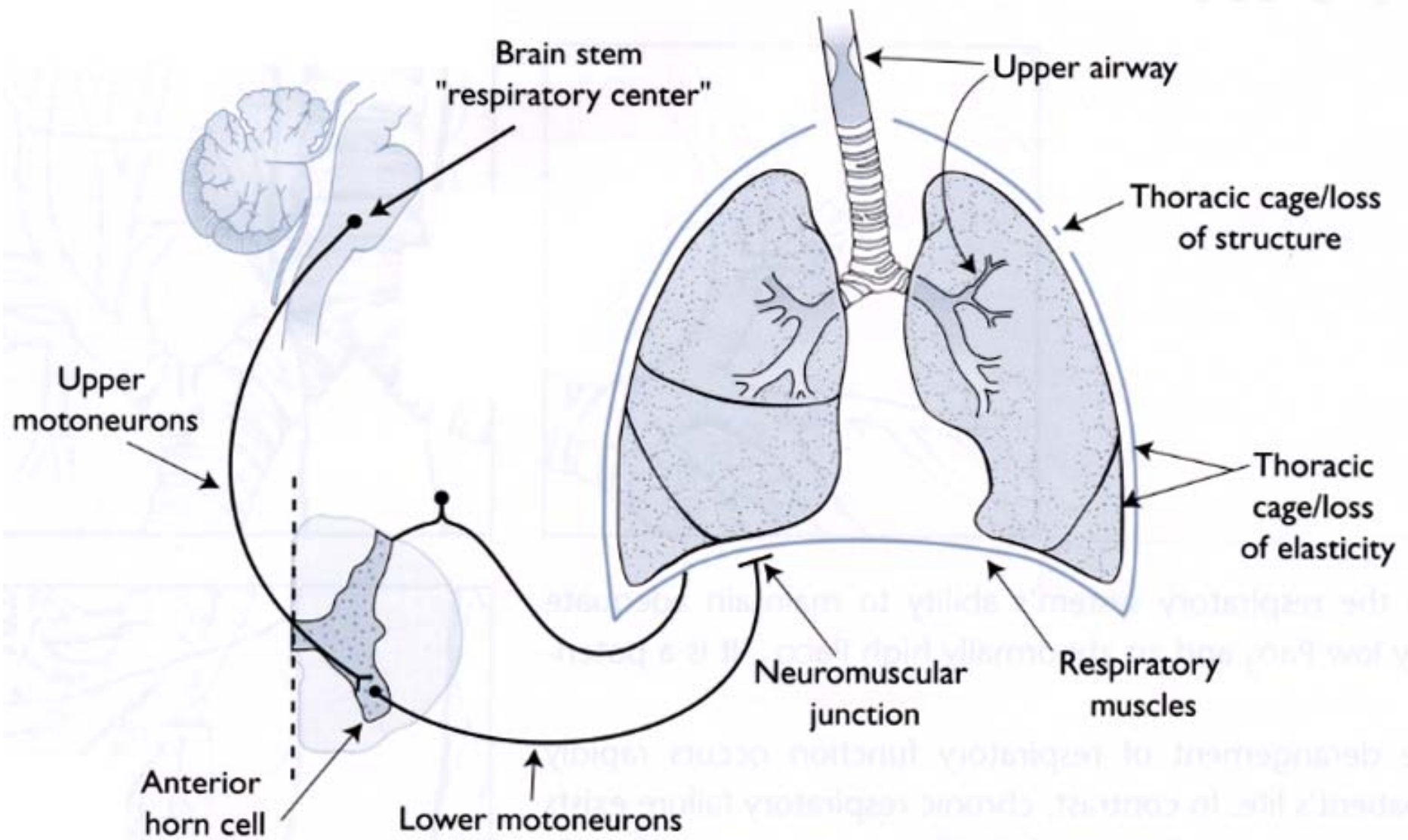
# Υποαερισμός



$$PaCO_2 = k \frac{VCO_2}{V_A}$$



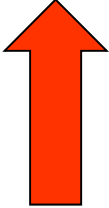
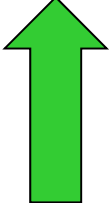




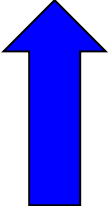



## Αντιρρόπηση στην αναπνευστική οξέωση

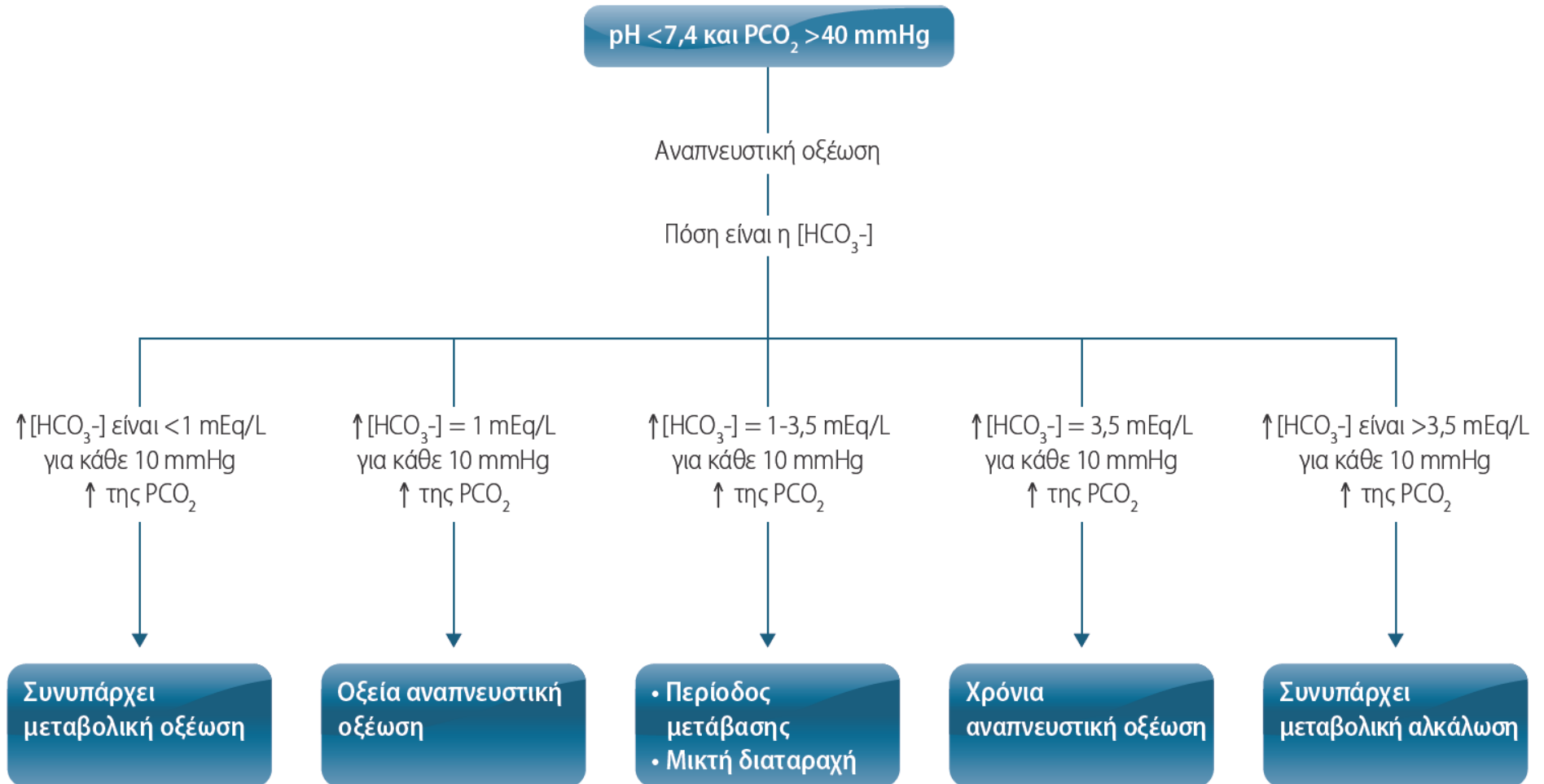
οξέως

- 1 meq/L   $[\text{HCO}_3^-]$  από το 24 (mEq/L)  
για κάθε 10 mmHg  της  $p\text{CO}_2$  από το 40 (mmHg)

χρονίως

- 3,5 meq/L   $[\text{HCO}_3^-]$  από το 24 (mEq/L)  
για κάθε 10 mmHg  της  $p\text{CO}_2$  από το 40 (mmHg)

## ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ ΟΞΕΩΣΗΣ



## Αναπνευστική Αλκάλωση

- $\text{pH} > 7,4$
- $[\text{HCO}_3^-] < 24 \text{ mEq/L}$   
ή  
 $\text{pCO}_2 < 40 \text{ mmHg}$

# Υπεραερισμός



$$P_aCO_2 = k \frac{V_{CO_2}}{V_A}$$

$V_A$



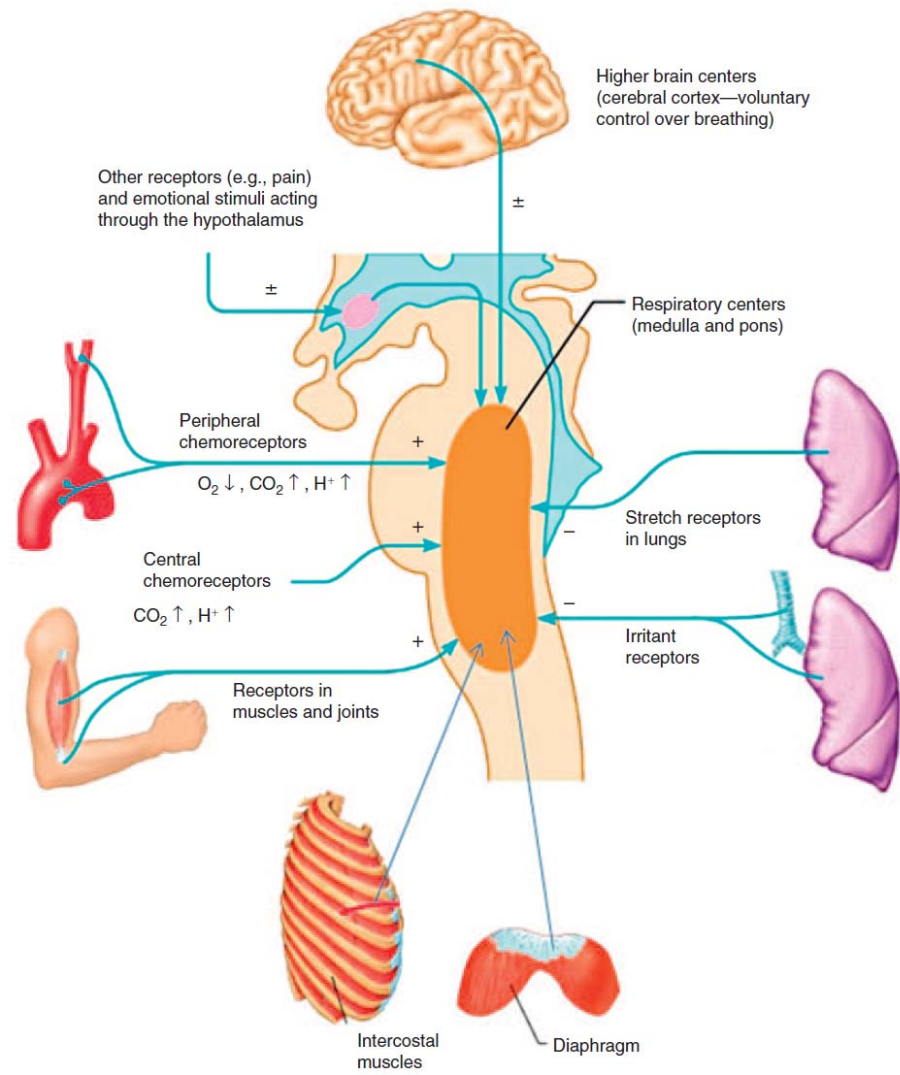
## Αντιρρόπιση στην αναπνευστική αλκάλωση

οξέως

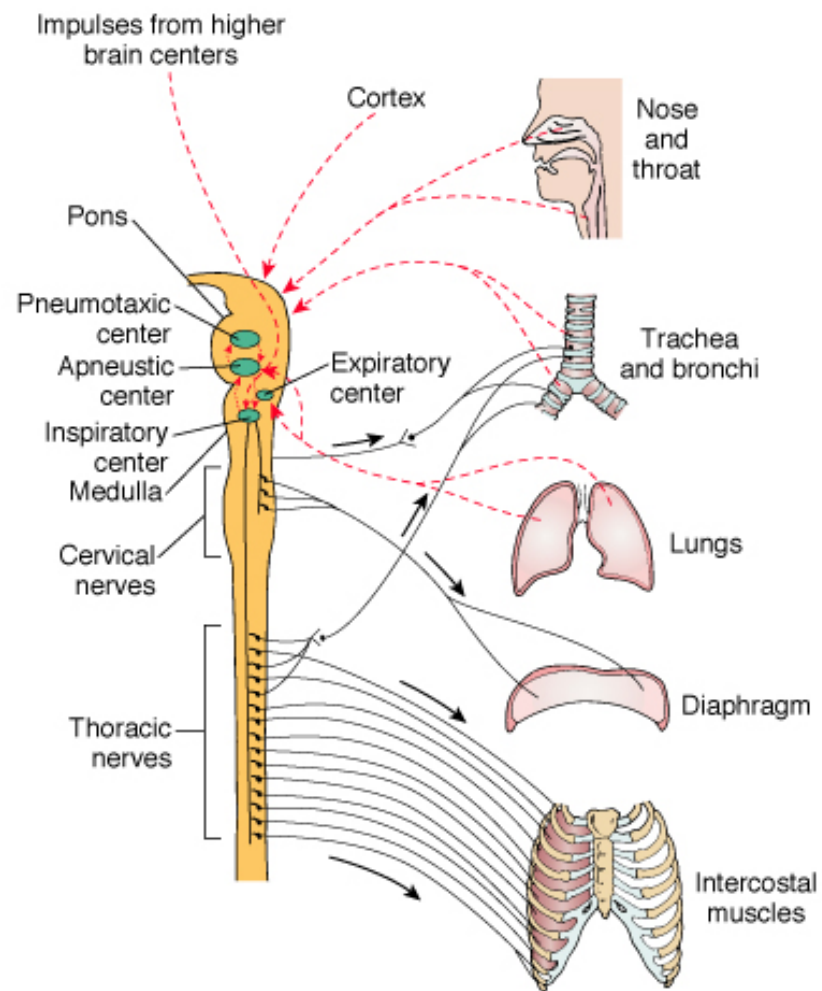
- 2 meq/L ↓ [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] από το 24 (mEq/L)  
για κάθε 10 mmHg ↓ της pCO<sub>2</sub> από το 40 (mmHg)

χρονίως

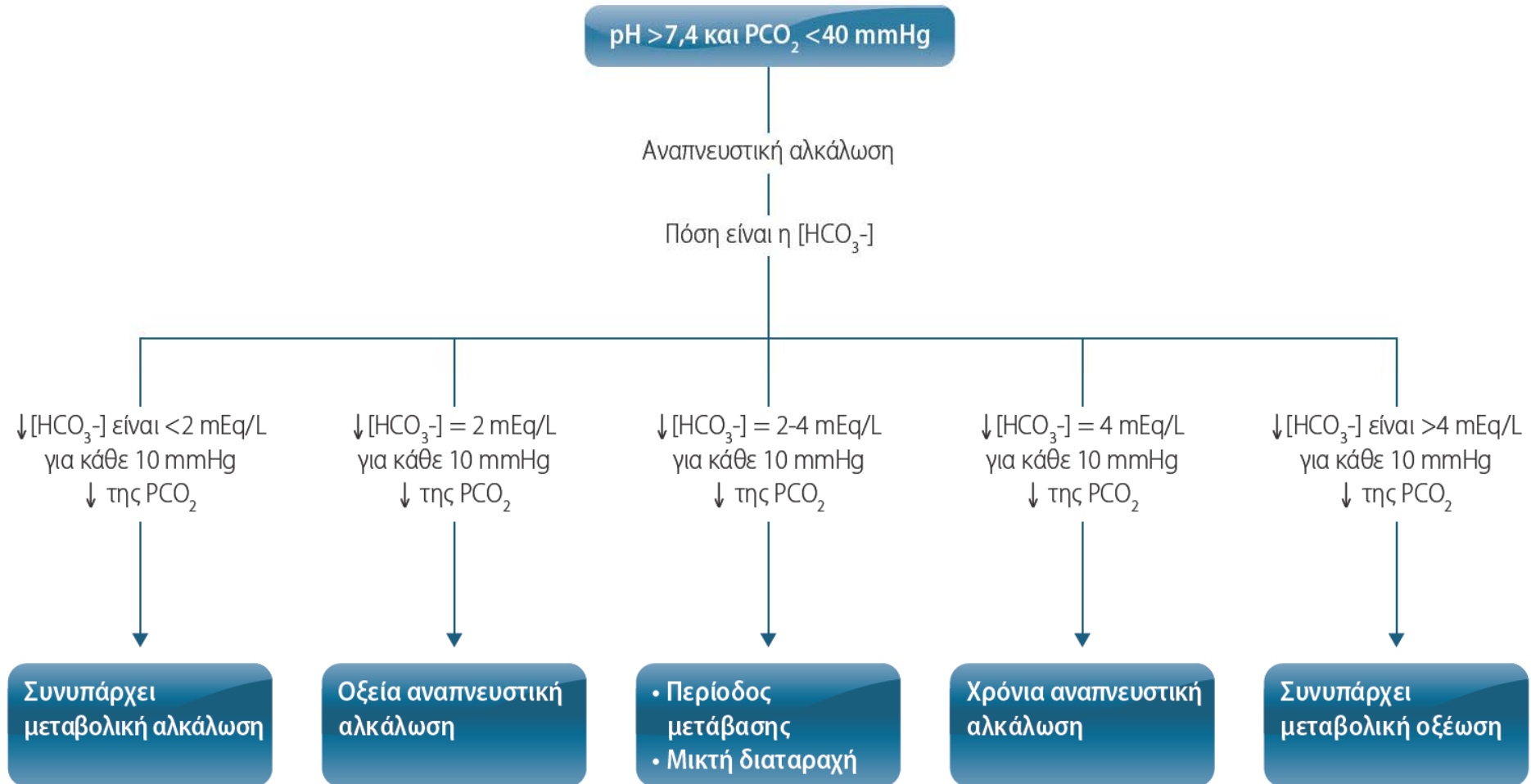
- 4 meq/L ↓ [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] από το 24 (mEq/L)  
για κάθε 10 mmHg ↓ της pCO<sub>2</sub> από το 40 (mmHg)







## ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ ΑΛΚΑΛΩΣΗΣ



Ευχαριστώ για την προσοχή σας



e-mail: [tvassil@med.uoa.gr](mailto:tvassil@med.uoa.gr)

τηλέφωνο: 6974701101