



Οξεοβασική ισορροπία – διαταραχές ύδατος και ηλεκτρολυτών

Αικατερίνη Θ. Μαστοράκη

*Ακαδημαϊκός Υπότροφος, 1^η Χειρουργική Κλινική, Ιατρική Σχολή,
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*



Οξεοβασική ισορροπία - ορισμός

- ❖ Η ισορροπία μεταξύ οξέων και βάσεων που είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη κυτταρική λειτουργία
- ❖ Αποβολή ή εξουδετέρωση των όξινων και αλκαλικών παραγόντων που παράγονται κατά την κυτταρική λειτουργία με σκοπό τη διατήρηση ενός ουδέτερου χημικού περιβάλλοντος



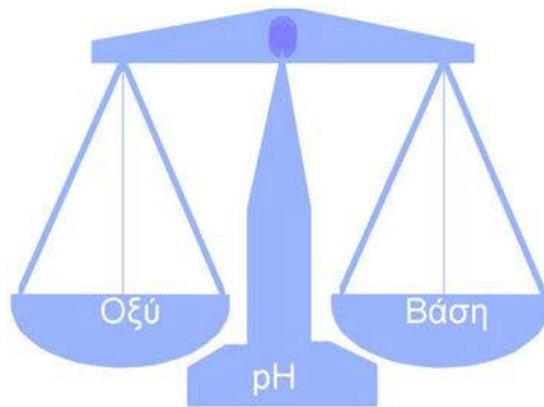
% of Total body weight	<u>Volume of TBW</u>	<u>Male (70 kg)</u>	<u>Female (60 kg)</u>
Plasma 5%	Extracellular volume	14,000 mL	10,000 mL
Interstitial fluid 15%	Plasma	3500 mL	2500 mL
	Interstitial	10,500 mL	7500 mL
Intracellular volume 40%	Intracellular volume	28,000 mL	20,000 mL
		<hr/> 42,000 mL	<hr/> 30,000 mL

Source: Brunnicardi FC, Andersen DK, Billiar TR, Dunn DL, Hunter JG, Matthews JB, Pollock RE: *Schwartz's Principles of Surgery, 9th Edition*: <http://www.accessmedicine.com>

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.



Οξεοβασική ισορροπία



συμβατό με την ανθρώπινη ζωή

pH = 6.8 - 7.8
([H⁺] = 160 - 16 nmol/L)

Η οξεοβασική ισορροπία σε ένα υγρό του σώματος φυσιολογικά καθορίζεται από ρυθμιστές όπως

- το PCO₂
- μη πτητικά ισχυρά οξέα και
- μη πτητικά ασθενή οξέα



154 mEq/L		154 mEq/L		153 mEq/L		153 mEq/L		200 mEq/L		200 mEq/L	
CATIONS		ANIONS		CATIONS		ANIONS		CATIONS		ANIONS	
Na ⁺	142	Cl ⁻	103	Na ⁺	144	Cl ⁻	114	K ⁺	150	HPO ₄ ³⁻	} 150
		HCO ₃ ⁻	27							SO ₄ ²⁻	
		SO ₄ ²⁻	3							HCO ₃ ⁻	10
		PO ₄ ³⁻								Protein	40
K ⁺	4	Organic Acids	5	K ⁺	4	SO ₄ ²⁻	3	Mg ²⁺	40		
Ca ²⁺	5	Protein	16	Ca ²⁺	3	PO ₄ ³⁻		Na ⁺	10		
Mg ²⁺	3			Mg ²⁺	2	Organic Acids	5				
						Protein	1				

Plasma

Interstitial fluid

Intracellular fluid

Source: Brunicaudi FC, Andersen DK, Billiar TR, Dunn DL, Hunter JG, Matthews JB, Pollock RE: *Schwartz's Principles of Surgery, 9th Edition*: <http://www.accessmedicine.com>
 Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.



Ωσμωτική πίεση

- Διαμεμβρανική μετακίνηση ύδατος διαμέσου μίας ημιδιαπερατής μεμβράνης
- Καθορισμός από τη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών εκατέρωθεν της μεμβράνης
- Ωσμωτικότητα ύδατος: $2\text{Na} + \text{Glu} / 18 + \text{BUN} / 2.8$
- Διακύμανση ωσμωτικότητας στον ενδοκυττάριο και εξωκυττάριο χώρο μεταξύ 290 και 310 mOsm



Οδοί πρόσληψης ύδατος

Routes	Average Daily Volume (mL)	Minimal (mL)	Maximal (mL)
H ₂ O gain:			
Sensible:			
Oral fluids	800–1500	0	1500/h
Solid foods	500–700	0	1500
Insensible:			
Water of oxidation	250	125	800
Water of solution	0	0	500



Οδοί αποβολής ύδατος

Routes	Average Daily Volume (mL)	Minimal (mL)	Maximal (mL)
H ₂ O loss:			
Sensible:			
Urine	800–1500	300	1400/h
Intestinal	0–250	0	2500/h
Sweat	0	0	4000/h
Insensible:			
Lungs and skin	600	600	1500



Άδηλες απώλειες ύδατος

- ❖ Υπερπυρεξία
- ❖ Αυξημένος καταβολισμός
- ❖ Υπερμεταβολικές καταστάσεις
 - ❖ Έντονη εφίδρωση
 - ❖ Υπεραερισμός



Κλινικά σημεία διαταραχών ύδατος



	Volume Deficit	Volume Excess	
System			
Generalized	Weight loss	Weight gain	
	Decreased skin turgor	Peripheral edema	
Cardiac	Tachycardia	Increased cardiac output	
	Orthostasis/hypotension	Increased central venous pressure	
	Collapsed neck veins	Distended neck veins	
		Murmur	
Renal	Oliguria	—	
	Azotemia		
GI	Ileus	Bowel edema	
Pulmonary	—	Pulmonary edema	



Σύσταση εκκρίσεων πεπτικού

Type of Secretion	Volume (mL/24 h)	Na (mEq/L)	K (mEq/L)	Cl (mEq/L)	HCO ₃ ⁻ (mEq/L)
Stomach	1000–2000	60–90	10–30	100–130	0
Small intestine	2000–3000	120–140	5–10	90–120	30–40
Colon	—	60	30	40	0
Pancreas	600–800	135–145	5–10	70–90	95–115
Bile	300–800	135–145	5–10	90–110	30–40



Ωσμωτική πίεση

- Ωσμουποδοχείς ικανοί να ανιχνεύσουν μικρές μεταβολές ωσμωτικότητας (αίσθημα δίψας, ρυθμός διούρησης)
- Υποθαλαμική ρύθμιση μέσω ADH
- Τασεουποδοχείς ευαίσθητοι στις μεταβολές της ΑΠ
- Σύστημα ρενίνης-αγγειοτενσίνης-αλδοστερόνης
- Κολπικό νατριουρητικό πεπτίδιο - προσταγλανδίνες



Αίτια υπονατριαιμίας

- Αυξημένη πρόσληψη ύδατος (συχνά ιατρογενής)
- Απρόσφορη έκκριση ADH
- Φαρμακευτικά σκευάσματα (τρικυκλικά αντικαταθλιπτικά, ΑΜΕΑ, διουρητικά)
- Υπεργλυκαιμία
- Μειωμένη πρόσληψη Na
- Αυξημένες απώλειες ΓΕΣ
- Νεφρική νόσος



Κλινικές εκδηλώσεις υπονατριαιμίας

Body System	Hyponatremia
Central nervous system	Headache, confusion, hyperactive or hypoactive deep tendon reflexes, seizures, coma, increased intracranial pressure
Musculoskeletal	Weakness, fatigue, muscle cramps/twitching
GI	Anorexia, nausea, vomiting, watery diarrhea
Cardiovascular	Hypertension and bradycardia if significant increases in intracranial pressure
Tissue	Lacrimation, salivation
Renal	Oliguria



Αίτια υπερνατριαιμίας

- Ιατρογενής χορήγηση Na
- Περίσσεια αλατοκορτοκοειδών (Cushing, υπεραλδοστερινισμός)
- Εξωνεφρική απώλεια ύδατος (δερματολογικά - νοσήματα ΓΕΣ)
- Άποιος διαβήτης
- Νεφρική (σωληναριακή) νόσος
- Επινεφριδιακή ανεπάρκεια



Κλινικές εκδηλώσεις υπερνατριαιμίας



Body System	Hypernatremia
Central nervous system	Restlessness, lethargy, ataxia, irritability, tonic spasms, delirium, seizures, coma
Musculoskeletal	Weakness
Cardiovascular	Tachycardia, hypotension, syncope
Tissue	Dry sticky mucous membranes, red swollen tongue, decreased saliva and tears
Renal	Oliguria
Metabolic	Fever



Αίτια υπερκαλιαιμίας



Hyperkalemia

Increased intake

Potassium supplementation

Blood transfusions

Endogenous load/destruction: hemolysis, rhabdomyolysis, crush injury, gastrointestinal hemorrhage

Increased release

Acidosis

Rapid rise of extracellular osmolality (hyperglycemia or mannitol)

Impaired excretion

Potassium-sparing diuretics

Renal insufficiency/failure



Κλινικά σημεία υπερκαλιαιμίας



System	Potassium
GI	Nausea/vomiting, colic, diarrhea
Neuromuscular	Weakness, paralysis, respiratory failure
Cardiovascular	Arrhythmia, arrest
Renal	—





Αίτια υποκαλιαιμίας



Hypokalemia

Inadequate intake

Dietary, potassium-free intravenous fluids, potassium-deficient TPN

Excessive potassium excretion

Hyperaldosteronism

Medications

GI losses

Direct loss of potassium from GI fluid (diarrhea)

Renal loss of potassium (gastric fluid, either as vomiting or high nasogastric output)



Κλινικά σημεία υποκαλιαιμίας



System	Potassium
GI	Ileus, constipation
Neuromuscular	Decreased reflexes, fatigue, weakness, paralysis
Cardiovascular	Arrest



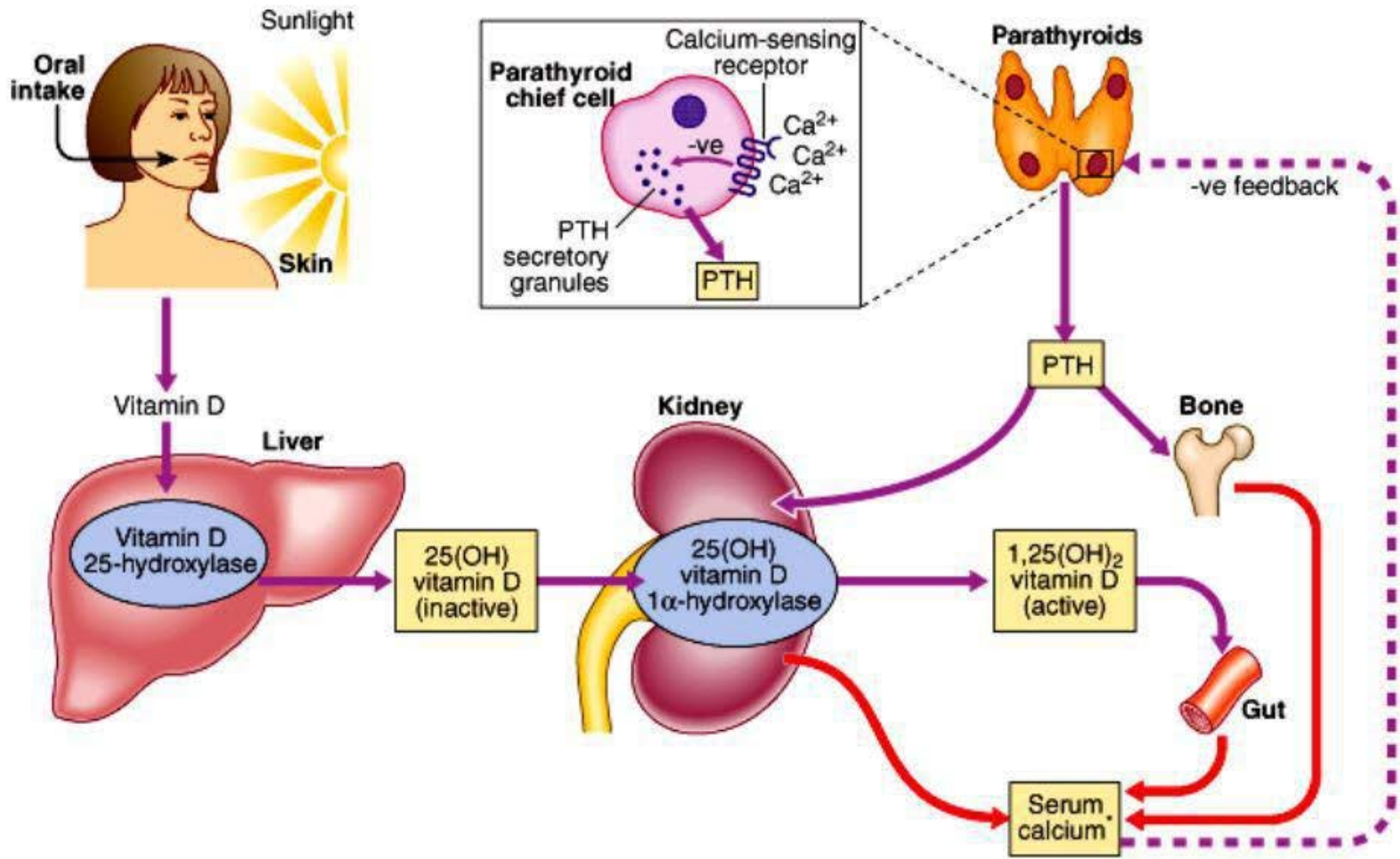
Signs of
Potassium
Deficiency





Αίτια υπερασβεστιαμίας

- Πρωτοπαθής υπερπαραθυρεοειδισμός
- Παρανεοπλασματική συνδρομή
- Απρόσφορη έκκριση πεπτιδίων που προσομοιάζουν στην παραθορμόνη
- Οστική μεταστατική νόσος
- Ιατρογενής



© Elsevier. Boon et al.: Davidson's Principles and Practice of Medicine 20e - www.studentconsult.com



Διαταραχές ασβεστίου - μαγνησίου



	Potassium	Magnesium	Calcium
System			
GI	Nausea/vomiting, colic, diarrhea	Nausea/vomiting	Anorexia, nausea/vomiting, abdominal pain
Neuromuscular	Weakness, paralysis, respiratory failure	Weakness, lethargy, decreased reflexes	Weakness, confusion, coma, bone pain
Cardiovascular	Arrhythmia, arrest	Hypotension, arrest	Hypertension, arrhythmia, polyuria
Renal	—	—	Polydipsia



Αίτια υπασβεστιαμίας

- Εκτεταμένη φλεγμονή μαλακών μορίων
- Παγκρεατίτιδα
- Παγκρεατικά – εντερικά συρίγγια
- Σύνδρομο λύσης του όγκου
- Hungry bone syndrome
- Συνυπάρχουσες έτερες ηλεκτρολυτικές διαταραχές
- Ραβδομυόλυση



Διαταραχές ασβεστίου - μαγνησίου



	Potassium	Magnesium	Calcium
System			
GI	Ileus, constipation	—	—
Neuromuscular	Decreased reflexes, fatigue, weakness, paralysis	Hyperactive reflexes, muscle tremors, tetany, seizures	Hyperactive reflexes, paresthesias, carpopedal spasm, seizures
Cardiovascular	Arrest	Arrhythmia	Heart failure



Αίτια υπομαγνησισαιμίας

- Νοσοκομειακοί ασθενείς (ΜΕΘ)
- Παρατεταμένη χορήγηση ΟΠΔ
- Παγκρεατίτιδα – παγκρεατικά συρίγγια
- Αλκοολισμός – διαβητική κετοξέωση
- Διαρροϊκές κενώσεις - δυσασπορρόφηση
- Νεφρική δυσλειτουργία
- Φαρμακευτικά σκευάσματα (διουρητικά, αμφοτερικίνη Β)



Οξεοβασικές διαταραχές



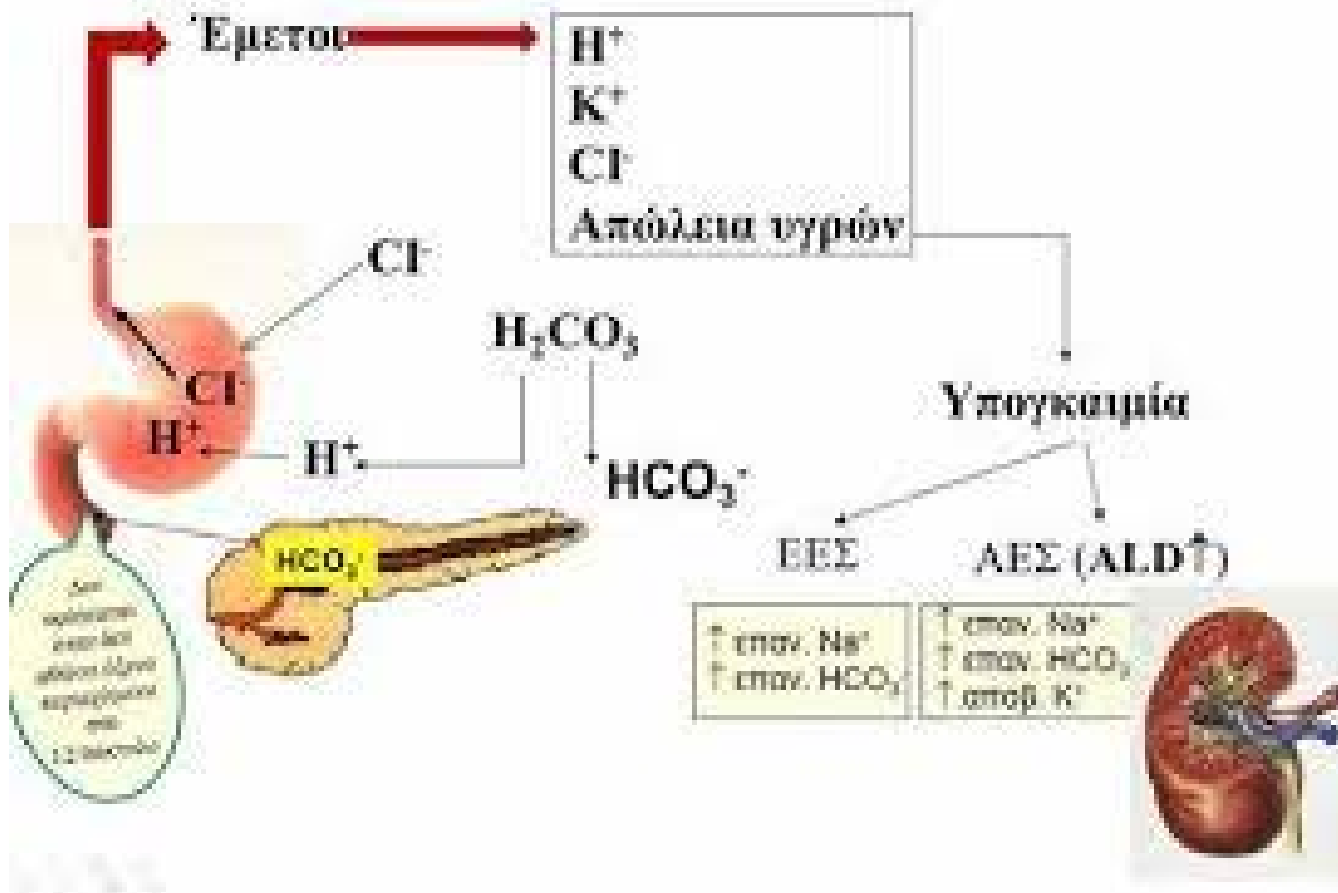
Disorder	Predicted Change
Metabolic	
Metabolic acidosis	$P_{CO_2} = 1.5 \times HCO_3^- + 8$
Metabolic alkalosis	$P_{CO_2} = 0.7 \times HCO_3^- + 21$
Respiratory	
Acute respiratory acidosis	$pH = (P_{CO_2} - 40) \times 0.008$
Chronic respiratory acidosis	$pH = (P_{CO_2} - 40) \times 0.003$
Acute respiratory alkalosis	$pH = (40 - P_{CO_2}) \times 0.008$
Chronic respiratory alkalosis	$pH = (40 - P_{CO_2}) \times 0.017$



Διαταραχές ασβεστίου-μαγνησίου

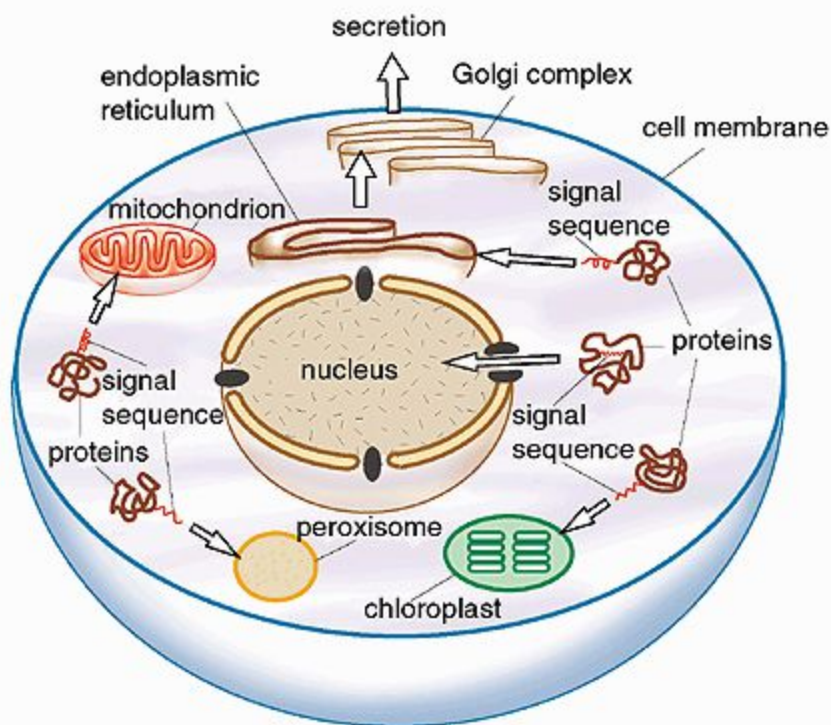


		Acute Uncompensated		Chronic (Partially Compensated)		
Type of Acid-Base Disorder	pH	PCO ₂ (Respiratory Component)	Plasma HCO ₃ ^{-a} (Metabolic Component)	pH	PCO ₂ (Respiratory Component)	Plasma HCO ₃ ^{- a} (Metabolic Component)
Respiratory acidosis			N			
Respiratory alkalosis			N			
Metabolic acidosis		N				
Metabolic alkalosis		N			?	



ΟΞΕΟΒΑΣΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Στον οργανισμό, η $[H^+] = \text{σταθερή}$
για διατήρηση της **φυσιολογικής κυτταρικής λειτουργίας**



Κάθε $\Delta[H^+]$



πρόσληψη ή αποβολή H^+
από πρωτεΐνες



τροποποίηση πρωτεϊνών
(φορτίο, δομή, λειτουργία)



διαταραχή
κυτταρικής λειτουργίας



Μεταβολική οξέωση με φυσιολογικό ΧΑ



Normal Anion Gap
Acid administration (HCl)
Loss of bicarbonate
GI losses (diarrhea, fistulas)
Ureterosigmoidoscopy
Renal tubular acidosis
Carbonic anhydrase inhibitor



Μεταβολική οξέωση με αυξημένο ΧΑ



Increased Anion Gap Metabolic Acidosis

Exogenous acid ingestion

Ethylene glycol

Salicylate

Methanol

Endogenous acid production

Ketoacidosis

Lactic acidosis

Renal insufficiency



Μεταβολική αλκάλωση



Increased bicarbonate generation

1. Chloride losing (urinary chloride >20 mEq/L)

Mineralocorticoid excess

Profound potassium depletion

2. Chloride sparing (urinary chloride <20 mEq/L)

Loss from gastric secretions (emesis or nasogastric suction)

Diuretics

3. Excess administration of alkali

Acetate in parenteral nutrition

Citrate in blood transfusions

Antacids

Bicarbonate

Milk-alkali syndrome



Αίτια αναπνευστική οξέωσης



Narcotics

Central nervous system injury

Pulmonary: significant

Secretions

Atelectasis

Mucus plug

Pneumonia

Pleural effusion

Pain from abdominal or thoracic injuries or incisions

Limited diaphragmatic excursion from intra-abdominal pathology

Abdominal distention

Abdominal compartment syndrome

Ascites



Παρεντερικά διαλύματα ηλεκτρολυτών



Solution	Na	CL	K	HCO ₃ ⁻	Ca	Mg	mOsm
Extracellular fluid	142	103	4	27	5	3	280–310
Lactated Ringer's	130	109	4	28	3		273
0.9% Sodium chloride	154	154					308
D ₅ 0.45% Sodium chloride	77	77					407
D5W							253
3% Sodium chloride	513	513					1026



Πρωτόκολλο αποκατάστασης καλίου

Potassium

Serum potassium level <4.0 mEq/L:

Asymptomatic, tolerating enteral nutrition: KCl 40 mEq per enteral access x 1 dose

Asymptomatic, not tolerating enteral nutrition: KCl 20 mEq IV q2h x 2 doses

Symptomatic: KCl 20 mEq IV q1h x 4 doses

Recheck potassium level 2 h after end of infusion; if <3.5 mEq/L and asymptomatic, replace as per above protocol



Πρωτόκολλο αποκατάστασης Mg



Magnesium

Magnesium level 1.0–1.8 mEq/L:

Magnesium sulfate 0.5 mEq/kg in normal saline 250 mL infused IV over 24 h x 3 d

Recheck magnesium level in 3 d

Magnesium level <1.0 mEq/L:

Magnesium sulfate 1 mEq/kg in normal saline 250 mL infused IV over 24 h x 1 d, then 0.5 mEq/kg in normal saline 250 mL infused IV over 24 h x 2 d

Recheck magnesium level in 3 d

If patient has gastric access and needs a bowel regimen:

Milk of magnesia 15 mL (approximately 49 mEq magnesium) q24h per gastric tube; hold for diarrhea



Πρωτόκολλο αποκατάστασης Ca



Calcium

Normalized calcium level <4.0 mg/dL:

With gastric access and tolerating enteral nutrition: Calcium carbonate suspension 1250 mg/5 mL q6h per gastric access; recheck ionized calcium level in 3 d

Without gastric access or not tolerating enteral nutrition: Calcium gluconate 2 g IV over 1 h x 1 dose; recheck ionized calcium level in 3 d



Πρωτόκολλο αποκατάστασης P



Phosphate

Phosphate level 1.0–2.5 mg/dL:

Tolerating enteral nutrition: Neutra-Phos 2 packets q6h per gastric tube or feeding tube

No enteral nutrition: KPHO_4 or NaPO_4 0.15 mmol/kg IV over 6 h x 1 dose

Recheck phosphate level in 3 d

Phosphate level <1.0 mg/dL:

Tolerating enteral nutrition: KPHO_4 or NaPO_4 0.25 mmol/kg over 6 h x 1 dose

Recheck phosphate level 4 h after end of infusion; if <2.5 mg/dL, begin Neutra-Phos 2 packets q6h

Not tolerating enteral nutrition: KPHO_4 or NaPO_4 0.25 mmol/kg (LBW) over 6 h x 1 dose; recheck phosphate level 4 h after end of infusion; if <2.5 mg/dL, then KPHO_4 or NaPO_4 0.15 mmol/kg (LBW) IV over 6 h x 1 dose



Ειδικές κατηγορίες ασθενών

- Νευρολογικοί ασθενείς
- Άποιος διαβήτης
- Εγκεφαλική βλάβη
- Υποσιτισμός – σύνδρομο επανασίτισης
- Οξεία νεφρική ανεπάρκεια
- Νεοπλασματικά νοσήματα
- Παρανεοπλασματική συνδρομή