

## Fluid and electrolyte

เรียบเรียงโดย พญ.จิรภรณ์ พรหมบุตร  
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.นพ.สราวุธ ฐานะวุฑฒิ

ผู้ป่วยทางศัลยกรรมมีความผิดปกติของสภาวะ fluid และ electrolyte ได้บ่อย เนื่องจากโรคต่างๆ ทำให้สูญเสีย fluid และ electrolyte ได้บ่อย เช่น enterocutaneous fistula หรือได้รับไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ดังนั้นการดูแลผู้ป่วยศัลยกรรมจึงต้องเรียนรู้ถึงความผิดปกติต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็น volume ,concentration change

|                          |                      |              |                |
|--------------------------|----------------------|--------------|----------------|
| Body fluid               |                      |              |                |
| Total body fluid         |                      |              |                |
| % of Total body weight   | Volume of TBW        | Male (70 kg) | Female (60 kg) |
| 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      |
|                          |                      | 42,000 mL    | 30,000 mL      |

ปริมาณสารน้ำในร่างกายขึ้นอยู่กับอายุและเพศ คิดเป็นสัดส่วนเทียบกับน้ำหนัก

- เพศชายมีปริมาณสารน้ำในร่างกายคิดเป็น 60% ของกิโลกรัมน้ำหนักตัว
- เพศหญิงมีปริมาณสารน้ำ 50% ของกิโลกรัมน้ำหนักตัว เนื่องจาก น้ำไขมันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อเยื่อชนิดอื่นๆ เพราะฉะนั้นยังมีปริมาณไขมันในร่างกายมากขึ้นเท่าไร สัดส่วนของน้ำในร่างกายก็จะน้อยลง
- ทารก มีปริมาณสารน้ำคิดเป็น 75-80% ซึ่งจะค่อยๆ ลดลง จนเมื่อทารกอายุมากกว่า 1 ปี
- ปรับปริมาณสารน้ำลงประมาณ 10-20% ในผู้ป่วยที่อ้วน และปรับขึ้น 10% ในผู้ป่วย malnutrition

Body fluid ในร่างกายกระจายไม่เท่ากันในส่วนต่างๆของร่างกาย 40% ของน้ำหนักตัวอยู่ใน intracellular fluid compartment 20% อยู่ใน extracellular compartment

Intracellular compartment แบ่งเป็น

- interstitial compartment 15%
- Intravascular compartment 5%

## Chemical composition of body fluid compartment

| 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 <sup>+</sup>  | 142 | Cl <sup>-</sup>               | 103 | Na <sup>+</sup>    | 144 | Cl <sup>-</sup>               | 114 | K <sup>+</sup>      | 150 | HPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 150 |
|                  |     | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 27  |                    |     |                               |     |                     |     | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  |     |
|                  |     | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 3   |                    |     | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 30  |                     |     | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 10  |
|                  |     | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |     |                    |     | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 3   |                     |     | Protein                        | 40  |
| K <sup>+</sup>   | 4   | Organic Acids                 | 5   | K <sup>+</sup>     | 4   | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 3   | Mg <sup>2+</sup>    | 40  |                                |     |
| Ca <sup>2+</sup> | 5   | Protein                       | 16  | Ca <sup>2+</sup>   | 3   | Organic Acids                 | 5   | Na <sup>+</sup>     | 10  |                                |     |
| Mg <sup>2+</sup> | 3   |                               |     | Mg <sup>2+</sup>   | 2   | Protein                       | 1   |                     |     |                                |     |
| Plasma           |     |                               |     | Interstitial fluid |     |                               |     | Intracellular fluid |     |                                |     |

Body fluid ในส่วนของ intravascular compartment (plasma) มีส่วนประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับ interstitial compartment แต่แตกต่างกันมากกับ intracellular compartment ตัวเด่นๆ ใน extracellular fluid คือ sodium เป็น cation หลัก มี potassium กับ calcium อีกเล็กน้อย ส่วน anion หลักฝั่งของ extracellular fluid คือ Cl<sup>-</sup> และ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ส่วนใน intracellular fluid จะกลับกัน มี potassium เป็นส่วนใหญ่ ทั้งหมดนี้จะ maintain ไว้ให้อยู่ในสมดุลด้วยกลไกต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การเคลื่อนผ่านของน้ำ diffuse ผ่าน cell membrane เพื่อปรับให้ osmolarity ทั้งสองข้างอยู่ในภาวะสมดุล หรือ เท่ากัน

ร่างกายรักษาความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมี (ionic composition) ไว้ได้ โดยมีค่า osmotically active particle เท่ากันในแต่ละ compartment โดยมี cell wall เป็นตัวสำคัญให้เกิด colloid osmotic pressure ระหว่าง plasma และ interstitial fluid compartment แต่ sodium เป็นตัวสำคัญทำให้เกิด osmotic pressure ระหว่าง extracellular และ intracellular fluid compartment

$$\begin{aligned}\text{ค่าปกติของ plasma osmolarity} &= 290-310 \text{ mosm/L} \\ &= 2\text{Na} + \text{glucose}/18 + \text{BUN}/2.8\end{aligned}$$

## Osmoticity &amp; tonicity

มีอยู่สองคำที่จะใช้

Osmoticity : พุดถึงจำนวน particle ที่ถูกละลายอยู่ ในสารละลายนั้นๆว่ามีจำนวนมากน้อยแค่ไหน เช่น มี NaCl ละลายอยู่ 150 mmol แตกตัวได้ Na<sup>+</sup> 150 + Cl<sup>-</sup> 150 มี osmoticity 300 mosmo/L

Tonicity: พุดถึงการเปลี่ยนแปลงของน้ำ ที่มีผลต่อ cell เช่น เอาเม็ดเลือดแดงไปแช่อยู่ในสารละลาย hypotonic solution น้ำก็จะ diffuse เข้าเซลล์ ทำให้เซลล์ volume มากขึ้น

ส่วนถ้าเอาไปแช่ใน hypertonic solution cell volume จะลดลง มักจะใช้สองคำนี้แทนกันอยู่บ่อยๆ

### Osmoregulation

เรามีการควบคุม osmolarity โดยมี osmoreceptor cell อยู่ใน hypothalamus จะ detect การเปลี่ยนแปลงของ plasma osmolarity โดยถ้ามีการเปลี่ยนแปลงแค่ 1-2% กลไกนี้ก็จะทำงาน โดยเมื่อถูกกระตุ้นจะมีการหิวน้ำ และกระตุ้นการหลั่ง ADH ออกมารูป กราฟความสัมพันธ์ของ plasma osmolarity และ plasma vasopressin คือ osmolarity สูงขึ้น มีการกระตุ้นการหลั่ง ADH พร้อมๆ กับการกระตุ้นให้หิวน้ำ (thirst)

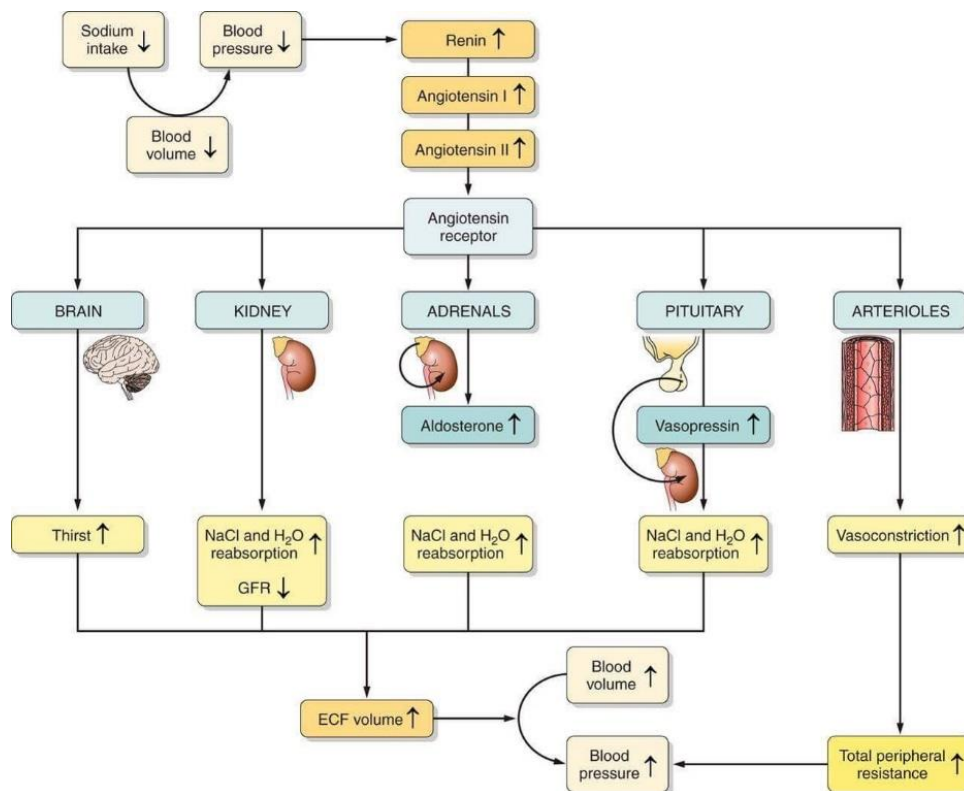
ADH ยังถูกกระตุ้นด้วยการเปลี่ยนแปลงของ volume อีกด้วย โดย volume contraction ประมาณ 10-20% ADH จะถูกกระตุ้นให้หลั่งออกมา

สรุป osmoregulation ถ้า increase osmolarity จะไปกระตุ้น osmolarity receptor

1. ทำให้เกิดการกระหายน้ำ
2. ADH secretion มี water reabsorption ทำให้ urine osmolarity เพิ่มขึ้น และทำให้ลด plasma osmolarity ในที่สุด ปกติ ADH level ประมาณ 5 pg ซึ่งจะทำให้ renal collecting tubule สามารถ ดูดซึมน้ำกลับโดย maximum ของ urine osmolarity 1200 mOsm/kg

### volume control

จะผ่าน receptor ที่เป็น volume receptor หรือ baro-receptor ต่างๆซึ่งอยู่บริเวณ carotid sinus บริเวณ aorta พวกนี้จะรับการเปลี่ยนแปลงของ volume เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง จะเกิดการกระตุ้นส่งกระแสประสาท ไปสมอง กระตุ้นผ่าน sympathetic nervous system ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของ HR หรือ vessel tone



Hormone อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการควบคุม volume

- Renin angiotensin aldosterone system
- Arterial renal peptide
- Prostaglandin ต่างๆ

โดยกระบวนการเกิดขึ้นเมื่อมี ECF ลดลง angiotensin2 ถูกกระตุ้นออกมาแล้วกระตุ้น aldosterone กระตุ้นการดูดกลับที่ไต สุดท้าย เพิ่ม ECF

Normal body fluid

- โดยปกติคนเราจะได้รับน้ำ ส่วนใหญ่เป็นจาก  
oral fluid ประมาณ 800-1500 mL/day  
Solid food 700 mL  
Internal oxidation ประมาณ 250 mL
- ส่วน water loss  
โดยปกติ ทาง urine 800-1500 /day  
GI tract 200 mL/day  
ที่เหลือ จาก insensible loss

| Water exchange (60- to 80-kg man) |                           |              |              |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|
| ROUTES                            | AVERAGE DAILY VOLUME (mL) | MINIMAL (mL) | MAXIMAL (mL) |
| H <sub>2</sub> 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          |
| H <sub>2</sub> 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         |

## Insensible loss

- ปกติ 8-12 ml/kg /day
- ถ้ามีไข้ จะมี insensible loss เพิ่มขึ้น โดยทุก 1 องศาเซลเซียส มี insensible loss ประมาณ 10%
- Goal of fluid therapy หลักการให้ fluid therapy
- Maintenance fluid therapy
- Correction of volume abnormality
- Replacement of fluid loss
- Correction on underlying cause

## Calculated daily fluid requirement

| Weight            | Daily requirement (ml/kg/d) | Rate (ml/h) |
|-------------------|-----------------------------|-------------|
| First 10 kg       | 100                         | 4           |
| Second 10 kg      | 50                          | 2           |
| For weight >20 kg | *20                         | 1           |

\*ถ้าคนไข้แก่ๆ ,cardiac disease ปรับลดลงมา 15 ml/kg/day

## Disturbance of fluid balance

- ส่วนใหญ่ที่เจอในคนไข้ศัลยกรรมมักจะเป็น ECF deficit เช่น gut obstruction peritonitis

## ECF deficit

Source อื่นๆ ที่ทำให้ fluid loss ได้ มีทั้ง

- NG
- คนไข้มี คลื่นไส้ อาเจียน ,fistula
- Renal loss เช่น พวกคนไข้ที่ไปแก้ไข urinary tract พวกนี้จะมี urine ออกมามาก
- สาเหตุอื่นๆที่เจอได้ทางศัลยกรรมเช่น

มี soft tissue injury

มี infection inflammation บริเวณนั้น ทำให้มี fluid loss จาก third space loss

Sign and symptom of ECF deficit

| System      | Sign and symptoms                                             |
|-------------|---------------------------------------------------------------|
| Cardiac     | Tachycardia<br>orthostasis/hypotension<br>collapsed neck vein |
| Renal       | Oliguria, Azotemia                                            |
| GI          | Ileus                                                         |
| Generalized | Weight loss, Decreased skin turgor                            |

Sign and symptom volume excess

| System      | Signs and symptom                                          |
|-------------|------------------------------------------------------------|
| Cardiac     | Increase CO, murmur<br>Increase CVP<br>Distended neck vein |
| Pulmonary   | Pulmonary edema                                            |
| GI          | Bowel edema                                                |
| Generalized | Weight gain, peripheral edema                              |

นอกจาก maintenance fluid ที่ให้จะมีเรื่องของ Fluid loss ต่างๆ จากสายที่เราทำเอาไว้ต่างๆ เช่น stoma ileostomy มี fluid loss เยอะ ถ้าไม่ได้ประเมินอาจมี electrolyte imbalance, AKI ได้ การประเมินทดแทนสารน้ำและเกลือแร่ที่เสียไปจาก GI tract

| Composition of GI secretions |                  |            |           |            |                                       |
|------------------------------|------------------|------------|-----------|------------|---------------------------------------|
| TYPE OF SECRETION            | VOLUME (mL/24 h) | Na (mEq/L) | K (mEq/L) | Cl (mEq/L) | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (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                                 |

ดูแต่ละ organ ว่า loss ประมารเท่าไร replace ไปตามนั้น

## Parenteral solution

| Electrolyte solutions for parenteral administration |                                 |     |   |                               |    |    |         |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------|-----|---|-------------------------------|----|----|---------|
| SOLUTION                                            | ELECTROLYTE COMPOSITION (mEq/L) |     |   |                               |    |    |         |
|                                                     | Na                              | Cl  | K | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 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 <sub>5</sub> 0.45% Sodium chloride                | 77                              | 77  |   |                               |    |    | 407     |
| D <sub>5</sub> W                                    |                                 |     |   |                               |    |    | 253     |
| 3% Sodium chloride                                  | 513                             | 513 |   |                               |    |    | 1026    |

D<sub>5</sub> = 5% dextrose; D<sub>5</sub>W = 5% dextrose in water.

## Sodium homeostasis

Sodium เป็น cation หลักใน extracellular fluid (ECF) มีความสำคัญในการควบคุมสารน้ำในร่างกายค่านิยามเกี่ยวกับ sodium ที่ควรรู้จักมีอยู่ 2 ค่า คือ Total body sodium และ serum sodium level

1. Total body sodium หมายถึง ปริมาณ sodium ทั้งหมดที่มีอยู่ในร่างกายส่วนใหญ่อยู่ใน ECF Sodium เป็นส่วนประกอบหลักหนึ่งของ osmotic pressure ของ ECF ดังนั้น total body sodium จึงบ่งบอกถึง extracellular volume เราสามารถประเมิน total body sodium ได้จากการประเมิน extracellular volume
2. Serum sodium level (concentration) คือสัดส่วนระหว่าง sodium และน้ำ (free water) ใน serum
  - Serum sodium level เราสามารถวัดได้จากห้องปฏิบัติการ ค่าปกติอยู่ที่ 135-145 mEq/L
  - ภาวะปกติร่างกายต้องการ 1-2 mEq/kg/day
  - Serum sodium = Total body sodium / ECF volume
  - Serum sodium มันเป็นส่วนต่อ ECF volume
  - Hyponatremia และ hypernatremia ไม่ได้หมายความว่า ขาดเกลือและเกลือเกินเสมอไป
  - เพราะฉะนั้น serum sodium ไม่ได้บอกปริมาณว่า sodium เท่าไร แต่บอกว่า relative กับสารน้ำเป็นเท่าไร

## Hyponatremia

Definition คือ ภาวะที่มี plasma sodium น้อยกว่า 135 mEq/L และไม่ใช่เกิดจาก pseudohyponatremia

- Hyponatremia เกิดจากภาวะที่มีน้ำเกิน เมื่อเทียบกับปริมาณ sodium ในร่างกาย ซึ่งอาจมีค่าน้อยกว่าปกติ มีค่าปกติหรือมากกว่าปกติ ก็ได้
- มักเกิดจากไตไม่สามารถขับน้ำส่วนเกินออกจากร่างกายได้ สาเหตุส่วนน้อย เกิดจากมีการดื่มน้ำมากเกินไป โดยมีความสามารถของไตในการขับน้ำสารเป็นปกติ หรือเกือบปกติ เช่นใน primary polydipsia
- Severe hyponatremia คือภาวะที่มี sodium น้อยกว่า 125 mEq/L
- เกิดได้มากพอสมควรประมาณ 3% ในคนไข้ที่นอนในโรงพยาบาล
- อาการส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบประสาททำงานผิดปกติ และมีอาการมากขึ้น ถ้ามี plasma sodium ลดลงมากหรือรวดเร็ว จะมีอาการ เช่น ปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียน อาการตะคริวของกล้ามเนื้อ ชีพจร ชักได้

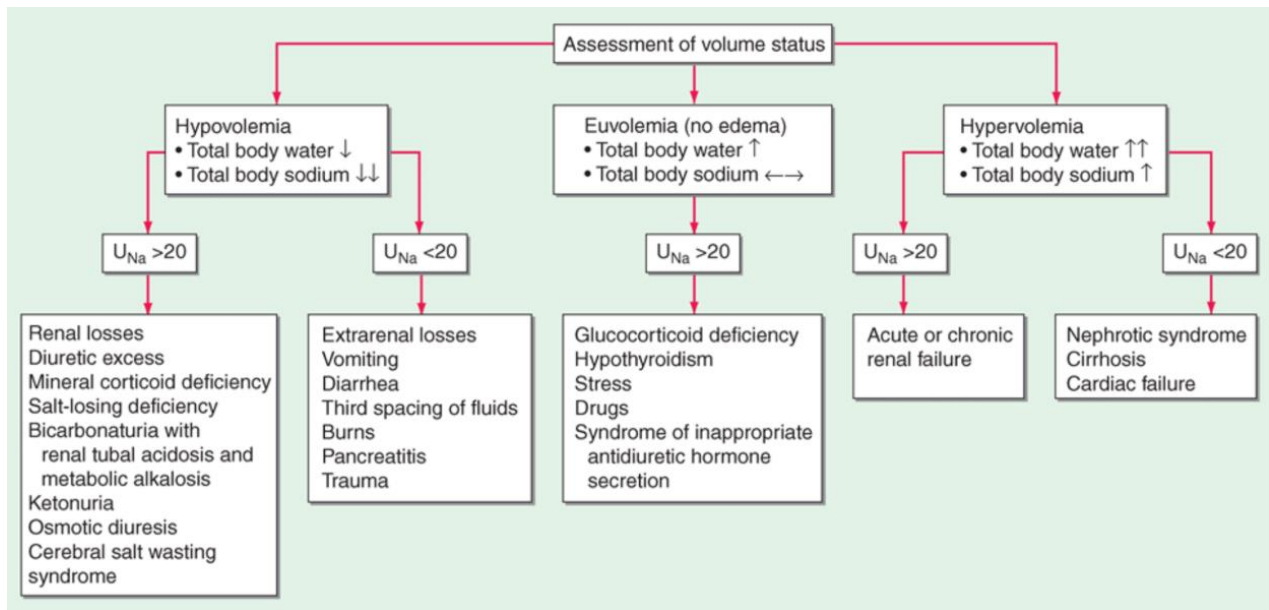
- Hypotonic hyponatremia การที่ให้สารน้ำเข้าสู่สมอง ทำให้มีภาวะสมองบวมได้ และเพราะกะโหลกศีรษะเป็นตัวจำกัดการขยายตัวของสมอง ทำให้มีความดันในกะโหลกสูงขึ้น เสี่ยงเกิด brain injury
- ถ้าได้ lab มาค่านึง อาจจะไม่ใช่ true hyponatremia ต้องคำนวณ serum osmolarity ซึ่งจะช่วยประเมินได้ว่าเป็น true หรือ pseudohyponatremia

Hypertonic (>295) : Hyperglycemia, manitol, glycerol

Isotonic (280-295) : Elevated lipid and protein

Hypotonic (<280) : True hyponatremia

ถ้าเป็น true hyponatremia จริง ต้องดู volume status



Hypovolemia : น้ำขาดจริง เช่น diarrhea แต่น้ำขาดน้อยกว่าโซเดียม พอ relative แล้วน้ำจึงเกิน

Euvolemia : sodium เท่าเดิม แต่น้ำมากขึ้น เช่น SIADH hypothyroid

Hypervolemia : น้ำมากขึ้นเกินกว่า โซเดียมที่ขึ้น เช่น CHF, cirrhosis, renal failure

#### ● Treatment hyponatremia

- การรักษา คนไข้ช็อก ก็จัดการเรื่องช็อกก่อน ต่อไป แก้ไขเรื่อง sodium
- Starting bolus of 100 ml (2 ml/kg max 100 ml) of 3% hypertonic saline over 10 minutes; may be repeat if patient continues symptom
- Goal

Goal for correction

1.5-2 mEq/L/hr for first 3-4 hr until symptoms resolve

increase by no more than 10 mEq/L in first 24 hrs

increase by no more than 18 mEq/L in first 48 hrs

- ถ้าขึ้นเร็วมากๆ จะมีปัญหา
- ถ้าไม่มีอาการ (No symptoms)

Oral fluid restriction is the first step

No more than 1500 mL/day

Note: this only oral fluid, isotonic IV fluids do not count towards fluid intake (เฉพาะใน oral fluid แต่ IV fluid ไม่ได้นับ)

- Volume depletion > IV isotonic (0.9% NaCl)
- Careful monitoring
- serum sodium levels should be drawn every 4-6 hr or more frequently if hypertonic saline is used
- การคำนวณ
- Sodium deficit = Total body water x (desired Na - actual Na)
- Total body water คือ BW x correct factor
- หลังจากนั้นคำนวณว่าสารน้ำมี sodium เท่าไร

## ตารางที่ 2 สูตรคำนวณที่ใช้ในการรักษา hyponatremia และคุณสมบัติของสารละลาย

### สูตรคำนวณ

$$1. \text{ Change in serum Na} = \frac{\text{infusate Na} - \text{serum Na}}{\text{Total body water} + 1}$$

$$2. \text{ Change in serum Na} = \frac{(\text{infusate Na} + \text{infusate K}) - \text{serum Na}}{\text{Total body water} + 1}$$

ประโยชน์ในทางคลินิก : สามารถคาดคะเนได้ว่าแต่ละ 1 ลิตรของ infusate ที่ประกอบไปด้วย sodium (+ potassium) สามารถเพิ่ม serum sodium ได้เท่าไร

| Infusate                          | Infusate Na+<br>(mmol/L) | ECF Distribution<br>% |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 5% NaCl in water                  | 855                      | 100                   |
| 3% NaCl in water                  | 513                      | 100                   |
| 0.9% NaCl in water                | 154                      | 100                   |
| Ringer's lactate solution         | 30                       | 97                    |
| 0.45% NaCl in water               | 77                       | 73                    |
| 0.2% NaCl in 5% dextrose in water | 34                       | 55                    |
| 5% dextrose in water              | 0                        | 40                    |

**หมายเหตุ** The estimated total body water เป็นค่าที่คำนวณได้ โดยคิดเป็นสัดส่วนของน้ำหนักตัว โดยมีค่า 0.6 ในเด็ก มีค่า 0.6 และ 0.5 ในผู้ใหญ่ที่ไม่ใช่ผู้สูงอายุ (nonelderly) ในชายและหญิงตามลำดับ และมีค่า 0.5 และ 0.45 ในชายสูงอายุ และหญิงสูงอายุ ตามลำดับ

Central pontine myelinolysis

- มักจะเกิด 2-6 วัน หลัง elevate sodium ด้วยความเร็ว Irreversible

- Symptom

Dysarthria, dysphagia, paresis, quadriplegia, lethargy, coma or even seizure

Prove โดยการทำ MRI

Most common ใน rising  $> 20$  mEq/L in 24 hr

ไม่ค่อยเกิด ถ้าไม่ถึง 12 mEq/L in 24 hr

#### Hypernatremia

Serum Sodium มากกว่า 145 mEq/L cause

- Excess sodium intake

Concentrated formula

Salt ingestion (sea water, accidental)

Hypertonic iv fluid

Sodium bicarbonate

Blood products

- Increase free water losses

1. Renal : diabetic insipidus, diuretics, tubular disorders

2. GI : diarrhea, vomiting, colostomy/ileostomy

3. Insensible : fever, tachypnea, burns

- Decrease free water intake

Ineffective breastfeeding

Poor access to water

Blunted thirst mechanism

Fluid restriction

- Symptom ส่วนใหญ่เกี่ยวกับการทำงานของระบบประสาทผิดปกติ เช่น ซึมลง อ่อนแรง ชัก coma

- น้ำน้อย brain volume ลดลง สุดท้ายมีการ rupture ของ cerebral vein ได้

- ถ้าเกิน 160 อาการจะรุนแรง

- เกิน 180 high mortality

#### ● Treatment hypernatremia

- แก้ได้เร็วเท่าไร ?

- Same as hyponatremia, sodium should not be lowered by more than 12 mEq/L in 24 hours

- Over correction can lead to cerebral edema which can lead to encephalopathy, seizures or death

- Unstable patient  
correct sodium by 8-15 mEq/L over=the first 8 hr
- Stable patients  
no greater than 0.5 mEq/L/hr and correct by 8-15 mEq/L/day
- typical fluid given in form of D5 water  
การให้สารน้ำควรเริ่มในปาก หรือ feeding tube (ยกเว้นในรายที่มีอาการรุนแรง) สารละลายที่เลือกให้ ควรเป็น hypotonic fluid หลังจากเลือกชนิดของสารละลายที่ใช้ได้แล้ว จำเป็นต้องคำนวณอัตราการให้สารละลายด้วย

#### ตารางที่ 4 สูตรคำนวณที่ใช้ในการรักษา Hypernatremia และคุณสมบัติของสารละลาย

##### สูตรคำนวณ

$$1. \text{ Change in serum Na} = \frac{\text{infusate Na} - \text{serum Na}}{\text{Total body water} + 1}$$

$$2. \text{ Change in serum Na} = \frac{(\text{infusate Na} + \text{infusate K}) - \text{serum Na}}{\text{Total body water} + 1}$$

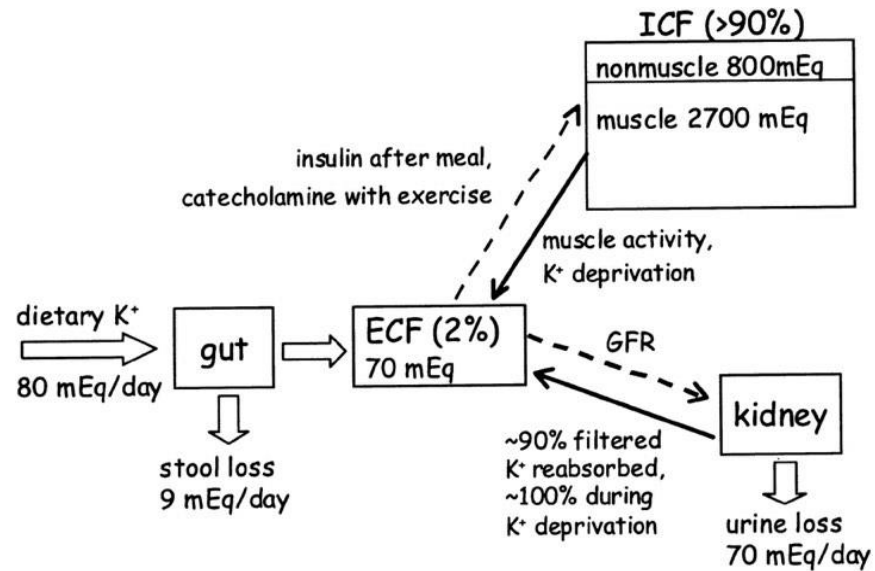
ประโยชน์ในทางคลินิก : สามารถคาดคะเนได้ว่าแต่ละ 1 ลิตรของ infusate ที่ประกอบไปด้วย sodium (+ potassium) สามารถลด serum sodium ได้เท่าไร

| Infusate                          | Infusate Na+<br>(mmol/L) | ECF Distribution<br>% |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 5% dextrose in water              | 0                        | 40                    |
| 0.2% NaCl in 5% dextrose in water | 34                       | 55                    |
| 0.45% NaCl in water               | 77                       | 73                    |
| Ringer's lactate solution         | 130                      | 97                    |
| 0.9% NaCl in water                | 154                      | 100                   |

**หมายเหตุ** The estimated total body water เป็นค่าที่คำนวณได้ โดยคิดเป็นสัดส่วนของน้ำหนักตัว โดยมีค่า 0.6 ในเด็ก มีค่า 0.6 และ 0.5 ในผู้ใหญ่ที่ไม่ใช่ผู้สูงอายุ (nonelderly) ในชายและหญิงตามลำดับ และมีค่า 0.5 และ 0.45 ในชายสูงอายุ และหญิงสูงอายุ ตามลำดับ

##### Potassium

- ปกติเป็น intracellular electrolyte
- มีประมาณ 2% ที่ circulated อยู่ใน extracellular fluid
- มักมีผลต่อ cardiac และ neuromuscular function
- ปกติ daily consumption อยู่ที่ 50-100 mmol
- เมื่อได้รับมาแล้ว 90% excrete ทาง urine
- daily renal excretion อยู่ที่ 10-700 mEq/day



- กิน potassium ประมาณ 80 mEq/day ส่วนหนึ่งถูกขับออกทาง feces ประมาณ 5-10 mEq/day อีกส่วนหนึ่งถูก absorb เข้าไป
  - หลัง absorb ส่วนหนึ่งอยู่ที่ extracellular fluid และส่วนใหญ่ถูกเก็บไว้ในเซลล์
  - ส่วนใหญ่ถูกขับออกทางไตเป็นหลัก เมื่อไรก็ตาม renal function ไม่ดี จะมีการเพิ่ม colonic excretion ขึ้นมาแทน
- Internal potassium balance คือ การ distribution ของ potassium ระหว่างภายในเซลล์ กับภายนอกเซลล์
- External potassium balance คือ การควบคุมการขับ potassium ออก ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของไต

#### Internal potassium balance

ตัวที่มีผลในการ shift เข้าออกของ potassium ระหว่างในเซลล์กับนอกเซลล์ ก็จะมี

| Potassium shift out of cell | Potassium shift into cell   |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Insulin deficiency          | Insulin                     |
| B adrenergic antagonist     | B adrenergic agonist        |
| Alpha adrenergic agonist    | Alpha adrenergic antagonist |
| Metabolic acidosis          | Metabolic alkalosis         |
| Hyperosmolarity             | Hypoosmolarity              |
| Cell lysis                  |                             |
| Exercise                    |                             |

#### Hypokalemia

- Mild to moderate 3-3.4 mEq/L
- Severe น้อยกว่า 2.5-3 mEq/L

## สาเหตุ

| Hyperkalemia                                                                                                          | Hypokalemia                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Increase intake<br>-potassium supplementation<br>-blood transfusion<br>-cell destruction<br>:hemolysis,rhabdomyolysis | Inadequate intake<br>-dietary<br>-potassium free IV fluid       |
| Increase release<br>-metabolic acidosis<br>-rapid raised of ECF osmolality                                            | Excessive potassium secretion<br>-GI losses<br>-renal losses    |
| Impair excretion<br>-potassium sparing diuretics<br>-renal failure                                                    | Redistribution into ICF<br>-metabolic alkalosis<br>-medications |

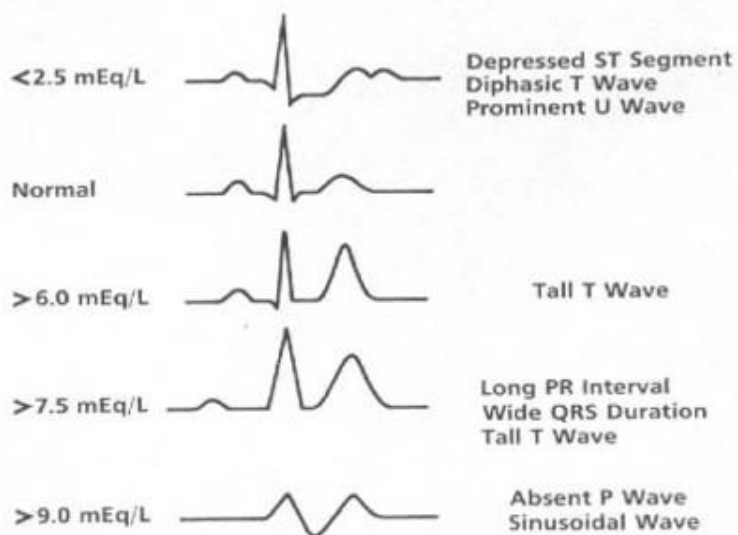
## Sign and symptom of hypo/hyperkalemia

| System         | Hyperkalemia                                                                                  | Hypokalemia                                                                                                        |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GI             | Nausea/vomiting<br>Colic<br>Diarrhea                                                          | Ileus<br>Constipation                                                                                              |
| Neuromuscular  | Weakness,paralysis<br>Respiratory failure                                                     | Decrease reflexs<br>Weakness<br>Lethargy                                                                           |
| Cardiovascular | Arrhythmia >VF<br>EKG:peaked T wave<br>Flattened p wave<br>Prolong QRS complex<br>Deep s wave | Hypotension,arhythmia<br>EKG:flattened T wave<br>Depressed ST segment<br>Prominent U wave<br>Prolonged QT interval |

- Treatment hypokalemia
  - Treat underlying
  - แก้ hypomagnesemia
  - การคำนวณมักไม่ตรงไปตรงมา เนื่องจาก potassium มัน shift ได้

## Hyperkalemia

- Mild:5.5 to 6.0 mEq/L
- Severe:level of 7.0 mEq/L or greater
- EKG เป็น hyperkalemia ไม่จำเป็นต้องรอแลป ให้ treat ไปได้เลย
- อาการแสดงตาตาราง

**SERUM K**

- Treatment hyperkalemia

**Treatment of symptomatic hyperkalemia****Potassium removal****Kayexalate**

Oral administration is 15–30 g in 50–100 mL of 20% sorbitol

Rectal administration is 50 g in 200 mL of 20% sorbitol

**Dialysis****Shift potassium**

Glucose 1 ampule of D<sub>50</sub> and regular insulin 5–10 units IV

Bicarbonate 1 ampule IV

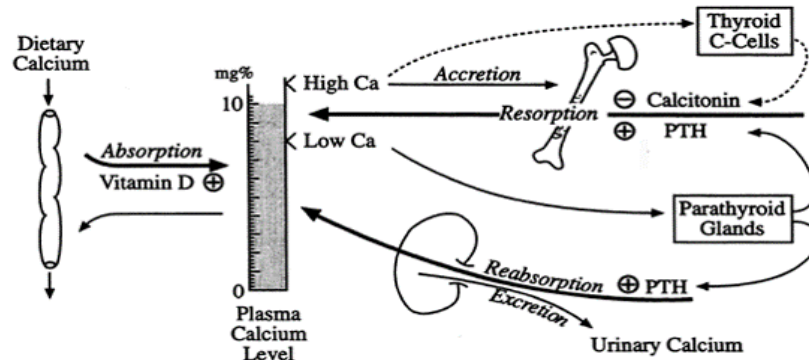
**Counteract cardiac effects**

Calcium gluconate 5–10 mL of 10% solution

D<sub>50</sub> = 50% dextrose.

**Calcium**

- ในร่างกายปกติมีอยู่ประมาณ 1000 gm
- 1% อยู่ใน ECF compartment
- ส่วนใหญ่อยู่ใน bone
- มีทั้ง free form และ bound form
- ในภาวะ hypoalbuminemia ต้อง correct calcium ด้วย
- Total serum Ca (mg/L) + [0.8 × (4-serum albumin)]



- Calcium ถูกกินเข้าไป ถูกดูดซึมทางลำไส้ มี vitamin D เป็นตัวกระตุ้นทำให้เพิ่มการดูดซึมในลำไส้
- Calcitonin เพิ่มการเก็บ calcium ไว้ที่ bone
- PTH ถูกกระตุ้นเมื่อมีภาวะ calcium ต่ำ จะทำให้เกิด bone resorption เพิ่ม calcium ในเลือด
- Calcium ส่วนที่เกินจะถูกขับออกทาง kidney

### Hypocalcemia

#### Sign and symptom

| System         | Hypercalcemia                                                                                                                         | Hypocalcemia                                                                         |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| GI             | Anorexia, nausea, vomiting, abdominal pain                                                                                            | -                                                                                    |
| Neuromuscular  | Weakness, confusion, coma, bone pain                                                                                                  | Hyperactive reflex<br>paresthesia, seizures<br>Carpopedal spasm                      |
| Cardiovascular | Hypertension, arrhythmia, polyuria<br>EKG: shortened QT<br>Prolonged PR and QRS intervals<br>T wave flattening and widening, AV block | Heart failure<br>EKG: prolonged QT interval<br>T wave inversion<br>Heart block<br>VF |
| Renal          | Polydipsia                                                                                                                            | -                                                                                    |

#### สาเหตุ

- Primary hypoparathyroidism-glandular aplasia, destruction or removal
- Hypomagnesemia
- Hypermagnesemia
- Hypoalbuminemia
- Acute pancreatitis
- Vitamin D deficiency

- Rhabdomyolysis
- Pseudohypoparathyroidism
- Hypocalcemia treatment

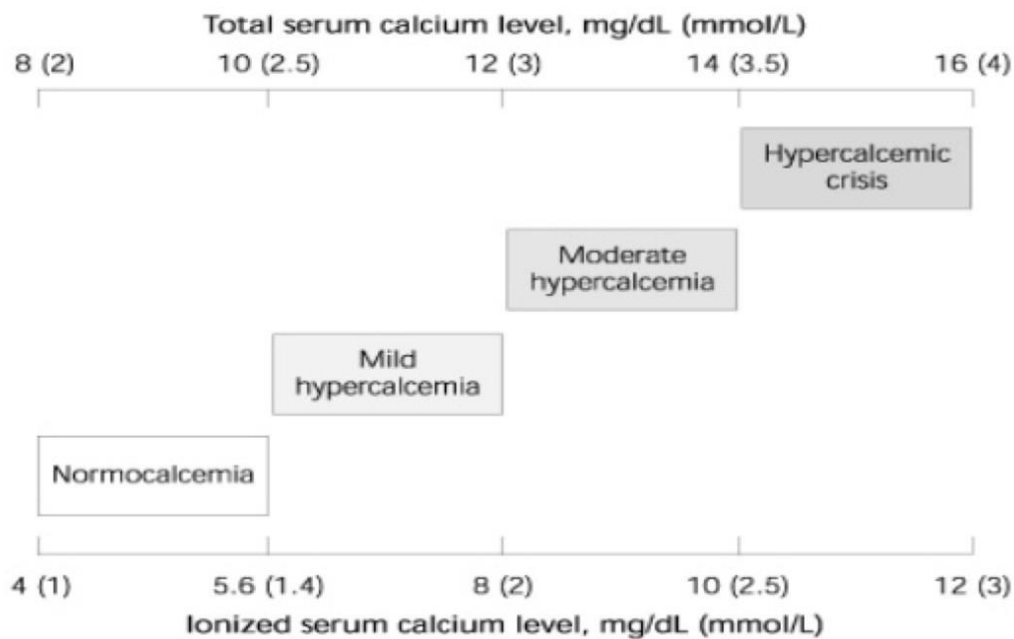
มี symptom

- IV calcium should only be given with close cardiac monitoring
- Mix with NaCl or 5%D/W (not bicarbonate/lactate containing solution) จะตกตะกอน
- ระหว่างให้ต้อง monitor EKG

Risk

- Tissue necrosis/calcification if extravasates
- Calcium can inhibit sinus node => bradycardia+arrest => stop infusion if bradycardia develops
- ค่อยๆ correct แล้ว follow up อาการดูอีกที
- Hypocalcemia with acidosis => give Ca before correcting acidosis
- ให้แก้ calcium ก่อน acidosis ถ้าแก้ acidosis ก่อน calcium ยิ่งต่ำ
- ใน chronic hypocalcemia ส่วนใหญ่ไม่มีอาการก็ replace oral calcium และ vitamin D และ follow up serum calcium ดูอีกที

#### Hypercalcemia



สาเหตุ hypercalcemia

**Endocrine:**

- Hyperparathyroidism
- MEN Type 1 (parathyroid adenoma , pituitary adenoma , pancreatic islet cell tumor)
- Familial hypocalciuric hypercalcemia

**Malignancy:**

- Metastases
- PTHrP
- Breast cancer, lung cancer , bone cancer.

**Granulomatous Disease:**

- Sarcoidosis
- TB

**Miscellaneous:**

- Acute kidney failure
- Milk-alkali syndrome

**Medications:**

- Lithium therapy
- Thiazides ( inc. Na, water absorp and inc ca concentration)
- Vit D

- Treatment hypercalcemia
    - Severe hypercalcemia: load IV fluid ให้ความชุ่มชื้นลง
    - ให้ Lasix ถ้าจำเป็น
    - ให้ calcitonin ร่วมด้วย ทุก 12 ชั่วโมง
    - ถ้าเป็น cancer ใช้ bisphosphonate
    - ถ้าแย่มากๆ ไป dialysis
    - ควร monitor calcium serum ทุก 8 ชั่วโมง
- ถ้าอาการไม่มาก หลีกเลี่ยงพวก thiazide, lithium, low calcium diet และอาจจะไม่ต้องแก้ไขเพิ่มเติม

Phosphate

- 80% of the total body phosphate is contained in bone
- High energy phosphate bound in ATP
- Essential element in
  - phospholipid cell membranes
  - nucleic acids
  - phosphoproteins
- Phosphate is critical for activity for several important enzymes

## Hypophosphatemia

- Mild 2.5-3 mg/dL
- Moderate 1-2.5 mg/dL
- Severe < 1 mg/dL (mortality >30%)

## สาเหตุ

|                                     |                                                                                                             |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Transcellular shift                 | Refeeding syndrome<br>Respiratory alkalosis<br>Insulin administration                                       |
| Renal losses                        | Diuretic therapy<br>Osmotic diuresis<br>Proximal renal tubular dysfunction                                  |
| Insufficiency intestinal absorbtion | Malnutrition, on NG suction<br>Phosphate binding antacid<br>Vitamin D deficiency<br>Malabsorption syndromes |
| External catabolic cause            | Burn<br>Trauma<br>Sepsis                                                                                    |

## Sign and symptom of hypophosphatemia

| System          | Clinical manifestation                                        |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|
| Respiratory     | Acute respiratory failure<br>Ventilator dependent             |
| Musculoskeletal | Muscle weakness<br>Rhabdomyolysis<br>Bone demineralization    |
| Hematologic     | Hemolysis<br>Disorder of leukocyte phagocytosis or chemotaxis |
| Neurologic      | Altered mental status<br>Gait disturbance<br>Paresthesia      |
| Cardiovascular  | Cardiomyopathy<br>Decrease inotropy                           |

## Hypophosphatemia

- Mild 2.5-3 mg/dL
- Moderate 1-2.5 mg/dL
- Severe < 1 mg/dL (mortality >30%)

## สาเหตุของ hypophosphatemia

|                                     |                                                                                                            |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Transcellular shift                 | Refeeding syndrome<br>Respiratory alkalosis<br>Insulin administration                                      |
| Renal losses                        | Diuretic therapy<br>Osmotic diuresis<br>Proximal renal tubular dysfunction                                 |
| Insufficiency intestinal absorbtion | Malnutrition,on NG suction<br>Phosphate binding antacid<br>Vitamin D deficiency<br>Malabsorption syndromes |
| External catabolic cause            | Burn<br>Truama<br>Sepsis                                                                                   |

## อาการของ hypophosphatemia

| Systemvk        | Clinical amnisfetation                                        |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|
| Respiratory     | Acute respiratory failure<br>Ventilator dependent             |
| Musculoskeletal | Muscle weakness<br>Rhabdomyolysis<br>Bone demineralization    |
| Hematologic     | Hemolysis<br>Disorder of leukocyte phagocytosis or chemotaxis |
| Neurologic      | Altered mental status<br>Gait disturbance<br>Paresthesia      |
| Cardiovascular  | Cardiomyopathy<br>Decrease inotropy                           |

- Treatment hypophosphatemia
  - Severe hypophosphatemia >> ให้ IV phosphate replacement
  - Moderate hypophosphatemia >> oral phosphate

## Hyperphosphatemia

- Serum phosphate > 4.5 mg/dL
- Clinical significant > 5 mg/Dl
- Clinical finding are signs and symptoms of hypocalcemia
- Hyperphosphatemia produce hypocalcemia by

Calcium phosphate complex

Interfere with PTH-mediated bone resorption

Decrease vitamin D level

สาเหตุของ hyperphosphatemia

|                    |                                                                                                       |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Renal              | Acute or chronic renal failure<br>Increased renal absorption:<br>Hypoparathyroidism<br>Thyrotoxicosis |
| Cellular injury    | Rhabdomyolysis<br>Tumor lysis syndrome<br>Hemolysis                                                   |
| Medication related | Abuse-phosphate containing laxatives<br>Excessive phosphate administration<br>Bisphosphonate therapy  |

- Treatment hyperphosphatemia
    - Limit phosphate intake
    - Enhance urinary excretion
    - Absence of ESRD => fluid and diuretic
    - Hemodialysis
    - Chronic kidney disease=>phosphate binder
- Calcium
- Aluminum
- Calcium free phosphate binder e.g. Renagel

Magnesium

- ส่วนใหญ่อยู่ใน intracellular compartment
- 50% จับอยู่ที่ bone
- อีก 50% อยู่ที่ soft tissue, muscle ,liver
- ส่วนใหญ่ถูกดูดซึมทาง small bowel และถูก excrete ทาง kidney
- อาการต่างๆ เหมือนกับ hypocalcemia/hypercalcemia

| System         | Hypermagnesemia                                                                                   | Hypomagnesemia                                                                                                                            |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GI             | Nausea, vomiting                                                                                  | -                                                                                                                                         |
| Neuromuscular  | Weakness, lethargy<br>decreased reflex                                                            | Hyperactive reflex<br>Muscle tremors, tetany<br>Seizures                                                                                  |
| Cardiovascular | Hypotension, arrhythmia<br>EKG:<br>increased PR interval<br>widened QRS complex<br>elevate T wave | Arrhythmia<br>EKG: prolong QT and PR<br>interval<br>ST-segment depression<br>Flattening or inversion of p<br>waves<br>Torsades de pointes |