

## 27

## Fluid and Electrolyte Management of Critically ill Children

พรชัย กิ่งวัฒนกุล

ธินิ เชื้อศิริวัฒนา

### สมดุลของน้ำและอิเล็กโทรไลต์ในเด็กปกติ

การควบคุมสมดุลของน้ำและอิเล็กโทรไลต์เป็นกลไกที่ซับซ้อน อาศัยการทำงานของอวัยวะหลายอย่างร่วมกัน ได้แก่

1. สมอ: ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ osmolality ผ่านทาง osmoreceptor, thirst center และการหลั่ง antidiuretic hormone (ADH)
  2. ไต: ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในร่างกาย และสมดุลของกรด-ด่าง โดยการทำงานของโกลเมอรูลัส ร่วมกับหลอดฝอยไต (renal tubule)
  3. ปอด: ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ pH ตามการหายใจเพื่อขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย
  4. ต่อมหมวกไต: ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเลือดที่ไหลเวียน (น้ำและโซเดียม) ด้วยฮอร์โมนต่างๆ จาก adrenal cortex และ medulla
- ร่างกายต้องการน้ำและอิเล็กโทรไลต์เพื่อใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การหายใจ การขับถ่ายของเสีย และเพื่อรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ เรียกว่า maintenance requirement ปริมาณของสารน้ำที่ต้องการจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพลังงานที่ร่างกายจำเป็นต้องใช้ในแต่ละวัน ตามปกติปริมาณน้ำที่ร่างกายต้องเสียไป

แต่ละวันคิดเป็น มล. ต่อการใช้พลังงาน 100 กิโลแคลอรี แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณสารน้ำที่ร่างกายต้องการต่อการใช้พลังงาน 100 กิโลแคลอรี<sup>1</sup>

ปริมาณ (มล)	
Insensible loss	
lungs	15
skin	30
Sensible loss	
sweat	20
stool	5
urine	30-80
Total	100-150

การประเมินการใช้พลังงานของผู้ป่วยที่นอนพักในโรงพยาบาลในแต่ละวันนั้น นิยมใช้ตามวิธีของ Holliday และ Segar<sup>2</sup> ดังนี้

น้ำหนัก 0-10 กก. 100 กิโลแคลอรี/กก.

น้ำหนัก 11-20 กก. 1,000+50 กิโลแคลอรี/กก. สำหรับน้ำหนักที่เกิน 10 กก.

น้ำหนักมากกว่า 20 กก. 1,500+20 กิโลแคลอรี/กก. สำหรับน้ำหนักที่เกิน 20 กก.

เช่น เด็กหนัก 15 กก. จะมีความต้องการพลังงาน  $1,000 + (50 \times 5) = 1,250$  กิโลแคลอรีต่อวัน

Insensible water loss เป็นปริมาณน้ำที่ต้องเสียไปในการรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ โดยที่พลังงานที่ใช้ไปทุกๆ 100 กิโลแคลอรี จะทำให้ร่างกายเสียน้ำจากทางผิวหนังประมาณ 30 มล. และจากทางหายใจประมาณ 15 มล.<sup>3,4</sup> รวม 45 มล. หรือประมาณร้อยละ 30-40 ของ maintenance fluid

การเสียน้ำจาก insensible loss นี้จะแปรผันไปตามพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละวัน เมื่อร่างกายต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อมีไข้ ออกกำลังกาย ภาวะ hyperthyroidism จะทำให้ความต้องการน้ำเพื่อทดแทน insensible loss มากขึ้น หรือในเด็กที่หอบ หายใจเร็ว ทำให้เสียน้ำทางหายใจเพิ่มขึ้น ก็ต้องให้น้ำเพื่อทดแทนส่วนที่เสียไปทางปอดเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อร่างกายใช้พลังงานน้อยลง เช่น ภาวะ hypothyroidism หรือสูญเสียน้ำจากทางเดินหายใจลดลง เช่น ในเด็กที่รักษาด้วย mechanical ventilation แล้วก็จะทำให้เสียน้ำจาก insensible loss น้อยลง

ตามปกติร่างกายจะเสียน้ำทางเหงื่อและทางอุจจาระไม่มากนัก ไตเป็นอวัยวะที่ช่วยปรับให้ปริมาณสารน้ำในร่างกายอยู่ในสมดุลโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณปัสสาวะได้ในช่วงประมาณ 30-80 มล. ต่อการใช้พลังงาน 100 กิโลแคลอรี ดังนั้นเมื่อรวมปริมาณน้ำที่ร่างกายต้องใช้ไปในแต่ละวันแล้วจะได้ประมาณ 100-150 มล. ต่อการใช้พลังงาน 100 กิโลแคลอรี

สำหรับผู้ป่วยที่นอนพักในโรงพยาบาลนั้นปริมาณสารน้ำที่ใช้ไปในแต่ละวันจะลดลงเหลือประมาณ 100 มล. ต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี ดังนั้นปริมาณ maintenance fluid ที่เด็กป่วยน้ำหนัก 15 กก. ต้องการในแต่ละวัน คือ 1,250 มล.

ส่วนประกอบของน้ำและอิเล็กโทรไลต์ในสารน้ำที่ร่างกายปกติต้องการในแต่ละวันต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี แสดงไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของน้ำและอิเล็กโทรไลต์ที่ร่างกายต้องการต่อการใช้พลังงาน 100 กิโลแคลอรี<sup>5,6</sup>

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
H <sub>2</sub> O	100 มล.
Na <sup>+</sup>	2-3 mEq
K <sup>+</sup>	2-3 mEq
Cl <sup>-</sup>	2-3 mEq
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2-3 mEq

จากปริมาณสารน้ำและส่วนประกอบต่างๆ จะเห็นได้ว่า maintenance intravenous solution ที่เตรียมได้ง่าย สำหรับให้ผู้ป่วยเด็กน้ำหนัก 15 กก. ที่ต้องการพลังงาน 1,250 กิโลแคลอรี จะมีส่วนประกอบเป็นน้ำ 1,250 มล., โซเดียม 25-37 mEq คำนวณเป็นความเข้มข้นของโซเดียมได้ประมาณ  $\frac{1}{5}$  NSS ผสมกับ potassium chloride 20-30 mEq/l และควรมีคาร์โบไฮเดรตในสารน้ำเพื่อลด protein catabolism ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมกับเด็กคือประมาณ 20-25 กิโลแคลอรีต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี<sup>6</sup> ซึ่งส่วนมากนิยมให้เป็นกลูโคส 5 กรัม/ดล. (5%D/W)

### ปัญหาสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ในผู้ป่วยวิกฤต

ผู้ป่วยเด็กที่อยู่ในภาวะวิกฤต มักจะมีปัญหาทางด้านสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ร่วมด้วยเสมอ ปัจจัยต่างๆ มากมายมีผลกระทบต่อสมดุลของสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ อาทิ ความเครียดจากการเจ็บป่วย (stress of critical illness) การช่วยหายใจด้วยความดันบวก (positive pressure ventilation) การติดเชื้อรุนแรง (sepsis) ไตวายเฉียบพลัน (acute renal failure) multiple organ dysfunction syndrome (MODS) การให้ยาในกลุ่ม vasoactive ที่มีผลต่อการปรับตัวของระบบประสาทและต่อมไร้ท่อที่ควบคุมสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้ยังมีการให้สารน้ำต่างๆ รวมไปถึงการให้อาหารทางหลอดเลือดที่มีส่วนประกอบของเกลือแร่แตกต่างกันไป

ดังนั้นเมื่อตรวจพบความแปรปรวนของสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ในผู้ป่วยวิกฤตจะต้องคำนึงเสมอว่าสาเหตุเป็นได้หลากหลาย ทั้งจากความเจ็บป่วยเดิมและผลที่เกิดตามมาจากการรักษา<sup>7</sup>

### Neuro-hormonal responses to critical illness<sup>7</sup>

ในภาวะวิกฤต ระดับฮอร์โมนหลายชนิดจะเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ ที่สำคัญ ได้แก่ cortisol, aldosterone, catecholamine, antidiuretic hormone และ thyroid hormone

ระดับ cortisol ในเลือดจะเพิ่มขึ้นในภาวะเครียด cortisol ช่วยในการปรับสมดุลของน้ำในร่างกาย หากขาด cortisol แล้ว หลอดฝอยไต (renal tubule) จะขับ free water ได้ลดลง ทำให้เกิดภาวะ hyponatremia ได้ง่าย

Aldosterone เป็น mineralocorticoid ที่เพิ่มขึ้นเมื่อผู้ป่วยมี effective intravascular volume ลดลง กลไกที่กระตุ้นการหลั่ง aldosterone ผ่านมาทางระบบ renin-angiotensin-aldosterone system และผ่านทางระดับ catecholamine ที่เพิ่มขึ้น aldosterone ที่สูงขึ้น จะเพิ่มการขับโซเดียมและกรดทางไต ทำให้ระดับโซเดียมลดลง และเกิด metabolic alkalosis ในทางตรงข้าม หากร่างกายขาด aldosterone ก็จะมีผลให้ระดับโซเดียมสูงขึ้นและเกิด metabolic acidosis

ระดับ aldosterone จะสูงขึ้นในผู้ป่วยที่ได้รับการช่วยหายใจด้วยความดันบวก (positive pressure ventila-

tion) ผู้ที่มี hypoalbuminemia, congestive heart failure หรือได้รับยาขับปัสสาวะ ส่วนผู้ป่วยวิกฤตที่เสี่ยงต่อการขาด aldosterone ได้แก่ ผู้ที่มีอาการ shock, sepsis, DIC ที่อาจพบร่วมกับ adrenal hemorrhage หรือผู้ป่วยที่ได้รับยาที่ลดการหลั่ง aldosterone จากต่อมหมวกไต ได้แก่ heparin, angiotensin converting enzyme inhibitor และ angiotensin receptor blocker

Adrenal catecholamine ทำให้เกิด generalized vasoconstriction มีผลลดเลือดที่มาเลี้ยงไต ทำให้การขับ free water ลดลง และกระตุ้น  $\beta$  และ  $\alpha$  adrenergic receptor ที่ผิวเซลล์ต่างๆ ทำให้โปตัสเซียม shift เข้าและออกจากเซลล์ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำความรู้นี้มาใช้รักษาผู้ป่วยที่มีภาวะ hyperkalemia ได้

Antidiuretic hormone (ADH) จะหลั่งออกมากขึ้นในภาวะ hypernatremia และ hypotension ผู้ป่วยในภาวะวิกฤตอาจมีการหลั่ง ADH เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ จากสาเหตุต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ อาการปวด การบาดเจ็บที่ศีรษะ การช่วยหายใจด้วยความดันบวก การให้ยาแก้ปวดกลุ่ม narcotic และการได้รับ adrenaline ระดับ ADH ที่สูงขึ้นอาจทำให้เกิด hyponatremia ได้

Thyroid hormone จากต่อมธัยรอยด์ ช่วยให้การขับ free water ทางไตเกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม การขาด thyroid hormone ทำให้เกิดน้ำคั่งในร่างกายและเกิด dilutional hyponatremia

### ตารางที่ 3 สาเหตุที่ทำให้ ADH เพิ่มขึ้นในผู้ป่วยวิกฤต<sup>7</sup>

True volume depletion	Effective volume depletion
1. Hemorrhage	1. Congestive heart failure
2. Diarrhea	2. Cirrhosis / hepatorenal syndrome
3. Nasogastric suction / vomiting	3. Severe nephrotic syndrome
4. Pancreatitis	4. Positive-pressure ventilation
5. Rhabdomyolysis	5. Systemic inflammatory response syndrome
6. Addisonian crisis	
7. Diuretics	
8. Osmotic diuresis	

## หลักการรักษาผู้ป่วยวิกฤตที่มีปัญหาสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์

ในภาวะวิกฤตนั้น อวัยวะต่างๆ ที่กำกับสมดุลของสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เมื่อหน้าที่ของอวัยวะที่ควบคุมสมดุลของสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์แปรปรวนไป ไม่ว่าจะเป็นสมอง ปอด และต่อมหมวกไต การรักษาจะเน้นให้ไตทำหน้าที่ช่วยปรับให้กลับสู่สมดุล ด้วยสารน้ำและยาที่เหมาะสม แต่ถ้าไตทำงานบกพร่องไปด้วยก็จะมีผลให้การรักษาย่างยากมากขึ้นในบางครั้งจำเป็นต้องพึ่งพาการรักษาทดแทนไต (renal replacement therapy)

หลักการสั่งการรักษาเกี่ยวกับสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ในภาวะวิกฤต ควรพิจารณาตามลักษณะการทำหน้าที่ของไตเป็นสำคัญ หากไตยังสามารถทำงานได้ดี ไม่มีการเสื่อมหน้าที่ของโกลเมอรูลัสหรือหลอดฝอยไต ก็จะทำให้สารน้ำตามความต้องการปกติ (maintenance fluid requirement) เป็นพื้นฐาน ในผู้ป่วยที่ขาดน้ำก็จะเพิ่มปริมาณสารน้ำที่ขาดไป (deficit requirement) ในผู้ป่วยที่มีน้ำเกิน (volume overload) หรือผู้ป่วยที่ต้องจำกัดน้ำก็จะลดปริมาณลงจากความต้องการปกติ และให้อิเล็กโทรไลต์ต่างๆ ในปริมาณที่สอดคล้องกัน เช่น ผู้ป่วยเด็กเล็กเป็นโรคอุจจาระร่วงและมีการขาดน้ำรุนแรง (severe degree dehydration) จะสั่งการรักษาให้สารน้ำเป็นปริมาณที่ขาดไป (deficit fluid requirement) ในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัวร่วมกับ maintenance fluid หรือในผู้ป่วยเด็กโรคหัวใจมี congestive heart failure และน้ำเกิน จะให้สารน้ำทั้งหมดเป็นร้อยละ 80 ของ maintenance fluid เป็นต้น

ส่วนในกรณีที่ไตไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ ควรสั่งการรักษาเป็นปริมาณสารน้ำที่เทียบเท่าปริมาณ insensible water loss (IWL) รวมกับสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ที่สูญเสียไปในที่ต่างๆ (sensible water loss) เช่น ผู้ป่วย oliguric renal failure ให้ปริมาณสารน้ำเป็น IWL รวมกับ total urine output หรือผู้ป่วย

acute tubular necrosis ที่อยู่ในช่วง polyuric phase ให้ปริมาณสารน้ำเป็น IWL รวมกับร้อยละ 70-90 ของปริมาณปัสสาวะที่ออกมา เป็นต้น

## Clinical syndromes of fluid and electrolyte disorders

จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ในเด็กในหัวข้อดังนี้

1. Volume deficit และ volume excess
2. Hyponatremia และ hypernatremia
3. Hypokalemia และ hyperkalemia
4. Metabolic acidosis และ alkalosis

## Volume Deficit (Dehydration)

ภาวะขาดน้ำพบได้บ่อยในผู้ป่วยวิกฤต ส่วนมากเป็นการสูญเสียน้ำในส่วน of extracellular fluid (ECF) ซึ่งประกอบด้วย intravascular compartment และ interstitial compartment ในระยะแรกๆ ร่างกายจะพยายามปรับตัวเพื่อรักษาปริมาณน้ำใน intravascular compartment หากการขาดน้ำรุนแรงขึ้นก็จะมีผลต่อ intravascular volume ร่างกายก็จะปรับตัวให้หัวใจเต้นเร็วขึ้นเพื่อรักษาความดันโลหิตและปริมาณเลือดไหลเวียนให้ใกล้เคียงปกติมากที่สุด

สาเหตุของการขาดน้ำเกิดจากการได้รับสารน้ำน้อยเกินไป เช่น ผู้ป่วยที่กินอาหารและน้ำไม่ได้ หรือเกิดจากการสูญเสียทั้งน้ำและอิเล็กโทรไลต์จากทางเดินอาหาร ทางปัสสาวะ ทางปอดและทางผิวหนัง เช่น ท้องเสีย อาเจียน สาย gastric tube หรือสายระบายต่างๆ การให้ยาขับปัสสาวะ ปัสสาวะออกมากจากเบาหวาน โรคของหลอดฝอยไตชนิดต่างๆ แผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก รวมไปถึงการเสีย insensible water loss เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีไข้สูงหรือหายใจหอบ ในบางครั้งผู้ป่วยไม่มีการสูญเสียสารน้ำให้เห็นอย่างชัดเจน แต่เป็นการ shift ของสารน้ำออกนอกหลอดเลือด เช่น ในกรณีของโรคไข้เลือดออก ภาวะ septic shock และภาวะอัลบูมินใน

## เลือดต่ำ

การประเมินการขาดน้ำจะดูจากความรุนแรงของการขาดน้ำ (degree of dehydration) ชนิดของการขาดน้ำ (type of dehydration) ภาวะการเปลี่ยนแปลงของกรด-ด่าง (acid-base disturbance) และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในร่างกายนอกจากนี้ การถามประวัติจะช่วยประเมินผู้ป่วยขั้นต้น เช่น ประวัติเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของสารน้ำที่เด็กกินหรือได้ทางหลอดเลือดก่อนการเจ็บป่วยวิกฤตครั้งนี้ แหล่งของการสูญเสียซึ่งจะช่วยบอกถึงปริมาณของอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิดที่สูญเสียไป เมื่อมาประกอบกับผลการตรวจร่างกายก็จะช่วยให้ประเมินผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องและสามารถให้การรักษาก่อนที่จะได้ผลตรวจทางห้องปฏิบัติการมายืนยันการวินิจฉัยในภายหลัง

เด็กที่ขาดน้ำไม่มาก (mild dehydration) จะเริ่มขาดน้ำจาก interstitial compartment ก่อน ตรวจพบเพียงปากแห้ง กระหายน้ำมากขึ้น ระบบหมุนเวียนโลหิตยังเป็นปกติ ถ้าขาดน้ำในระดับปานกลาง (moderate dehydration) เด็กจะมีอาการแสดงของการขาดน้ำชัดเจนขึ้น เช่น ตัวลายและเย็นชื้น กระหม่อมหน้าดูยุบลงเยื่อต่างๆ แห้ง ตาโหลลึก หายใจลึก ระบบไหลเวียนโลหิตยังไม่ล้มเหลว ในกรณีที่เสียน้ำในระดับรุนแรง (severe dehydration) จะมีลักษณะขาดน้ำชัดเจนมาก และระบบหมุนเวียนโลหิตล้มเหลว เข้าสู่ระยะความดันโลหิตต่ำ (hypotension) ถ้ารุนแรงมาก จะมีอาการช็อก

และเสียชีวิตได้ อาการทางคลินิกที่บ่งชี้ถึงความรุนแรงของการขาดน้ำแสดงไว้ดังตารางที่ 5

ปัจจัยที่จะทำให้มีอาการและอาการแสดงมากหรือน้อยนั้น นอกจากความรุนแรงของการขาดน้ำแล้ว ยังขึ้นกับชนิดของการขาดน้ำด้วย เด็กส่วนมากจะสามารถปรับตัวให้การขาดน้ำและเกลือได้สัดส่วนกันทำให้ระดับโซเดียมยังปกติอยู่ เรียกว่าเป็นการขาดน้ำชนิด isonatremic หรือ isotonic dehydration

บางครั้งเด็กปรับตัวไม่ได้เนื่องจากมีไข้สูงหรือได้รับสารน้ำที่มี osmolality สูงเกินไปก็จะเสี่ยงต่อการขาดน้ำชนิด hypernatremic dehydration เด็กที่ขาดน้ำชนิด hypernatremic dehydration จะเสียน้ำจาก intracellular fluid ในสัดส่วนที่มากกว่า extracellular fluid ผิวหนังจะมีลักษณะหยุ่นๆ คล้ายก้อนแป้งทำขนมที่เรียกว่า doughy skin ปริมาณ intravascular fluid จะเปลี่ยนแปลงน้อย อาการ hypotension และ shock ก็พบได้น้อยกว่าการขาดน้ำชนิดอื่นๆ แต่จะมีอาการทางระบบประสาทได้บ่อย เช่น มี deep tendon reflex มากกว่าปกติ มีอาการหมดสติและชักได้

ส่วนการขาดน้ำชนิด hyponatremic หรือ hypotonic dehydration นั้น ร่างกายจะเสียน้ำส่วนใหญ่จาก extracellular fluid มากกว่า intracellular fluid ทำให้ intravascular volume ลดลงอย่างมาก จะมีอาการและอาการแสดงที่รุนแรงกว่า isonatremic dehydration

ตารางที่ 4 Electrolyte composition of various fluid loss<sup>๑</sup>

	Na (mEq/l)	K (mEq/l)	Cl (mEq/l)
Saliva	9-20	12-16	8-17
Gastric	20-80	5-20	75-150
Pancreatic	120-140	5-15	90-120
Small intestine	100-140	5-15	90-130
Bile	120-140	5-15	80-120
Ileostomy	40-130	3-15	20-120
Diarrhea	10-90	10-80	10-110
Sweat	10-30	3-10	10-35