

การประเมินปริมาตรสารน้ำในร่างกายในเด็ก

อภิชาติ จิระวุฒิพงศ์

ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Assessment of Total Body Water in Children

Apichat Jiravuttipong

Department of Pediatric, Faculty of Medicine, Khon Kaen University.

บทนำ

ในเด็กปกติปริมาตรน้ำในร่างกายจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุและเพศที่แตกต่างกัน รวมถึงภาวะเจ็บป่วยบางชนิดที่อาจทำให้ปริมาตรน้ำในร่างกายเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยเด็กไตวาย เรื้อรังซึ่งจัดเป็นกลุ่มที่มีโอกาสเกิดความผิดปกติของสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ได้บ่อย โดยพบว่าสาเหตุของการเกิดความผิดปกติของสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ในผู้ป่วยเด็กไตวายเรื้อรังอาจมีสาเหตุจากการที่การทำงานของไตลดลง ทำให้ไม่สามารถขับน้ำออกจากร่างกายได้ตามปกติ ภาวะยูรีเมียทำให้ผู้ป่วยมีอาการเบื่ออาหารซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดภาวะทุพโภชนาการและทำให้เกิดความผิดปกติของสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ได้ง่ายกว่าเด็กปกติเนื่องจากระดับโปรตีนในเลือดต่ำลง¹⁻² ผู้ป่วยบางรายได้รับการรักษาด้วยสารสเตรียรอยด์ซึ่งสามารถทำให้เกิดการคั่งของสารน้ำและอิเล็กโทรไลต์ในร่างกายได้ ดังนั้นการที่จะประเมินปริมาตรสารน้ำในร่างกายโดยอาศัยการคำนวณจากน้ำหนักตัวเพียงอย่างเดียวอาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนได้มาก

ในการรักษาผู้ป่วยไตวายเรื้อรังโดยวิธีไตเทียมนั้นจำเป็นต้องทราบปริมาตรน้ำในร่างกายที่ถูกต้องที่สุดเพื่อใช้ในการคำนวณค่า dialysis clearance (Kt/V) ซึ่งหมายถึง การวัดปริมาณสารยูเรียทั้งหมดที่กรองออกมาได้ (Kt) หารด้วยปริมาตรน้ำในร่างกายที่สารยูเรียกระจายตัวอยู่ (V) โดยที่ ค่า K หมายถึงความสามารถในการกรองสารยูเรียของตัวกรอง (dialyzer urea clearance) t หมายถึง เวลาที่ใช้ในการรักษา และ V หมายถึง ปริมาตรน้ำในร่างกายที่สารยูเรียกระจายตัวอยู่ ซึ่งก็คือ ปริมาตรน้ำทั้งหมดในร่างกายนั่นเอง ในปัจจุบันนิยมใช้ค่า Kt/V เป็นตัวชี้วัดความเพียงพอของการรักษา เนื่องจากพบว่าผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยเครื่องไตเทียมที่มี ค่า Kt/V ที่พอเหมาะ (มากกว่า 1.2 ในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษา 2 ครั้งต่อ

สัปดาห์และมากกว่า 1.8 ในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษา 3 ครั้งต่อสัปดาห์) จะมีอัตราการเจ็บป่วยและอัตราการตายน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับการรักษาไม่เพียงพอ^{3,4}

ในบทความชิ้นนี้ จะกล่าวถึงวิธีการประเมินปริมาตรน้ำในร่างกายด้วยวิธีต่างๆ ทั้งในเด็กปกติและในผู้ป่วยเด็กโรคไตวายเรื้อรัง เพื่อให้ทราบถึงวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเพื่อประโยชน์แก่แพทย์ในการนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในงานวิจัยและใช้ในการรักษาผู้ป่วยให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

การประเมินปริมาตรสารน้ำในร่างกายในเด็ก

Assessment of total body water in children

ในอดีตที่ผ่านมาการประเมินปริมาตรสารน้ำในร่างกายในเด็กใช้วิธีที่ความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง เช่น การประมาณค่าจากการวัดปริมาณสาร tritium ที่ให้เข้าไปในร่างกายโดยใช้เครื่องตรวจนับ กัมมันตภาพรังสี (scintillation counter)⁵ ในปัจจุบันการวัดปริมาณสารน้ำในร่างกายได้พัฒนาขึ้นหลายวิธีทำให้การประมาณค่าสารน้ำในร่างกายมีความถูกต้องน่าเชื่อถือมากขึ้นรวมถึงสามารถนำไปใช้ได้ทั้งในเด็กปกติและในผู้ป่วยไตวายเรื้อรัง

การประเมินปริมาตรสารน้ำทั้งหมดในร่างกายโดยวิธีวัดสารไอโซโทปชนิดคงตัว (stable isotope techniques)

การประเมินปริมาตรสารน้ำทั้งหมดในร่างกายโดยใช้วิธีวัดสารไอโซโทปที่คงตัวมีใช้กันมานานกว่า 40 ปี โดยการให้ผู้ป่วยดื่มน้ำที่จับตัว (label) กับสารกัมมันตภาพรังสีที่ทราบปริมาณที่แน่ชัด เช่น การใช้สาร deuterium (²H), oxygen 18 (¹⁸O) หรือ tritium^{6,7} ในปัจจุบันนิยมใช้ deuterium และ oxygen 18 มากกว่า tritium เนื่องจากพบว่าสาร deuterium และ oxygen 18 มีความคงตัวมากกว่า tritium จึงทำให้การประเมินปริมาตรน้ำทั้งหมดในร่างกายทำได้ถูกต้องมากขึ้น

ในคนปกติจะมีส่วนประกอบของน้ำในร่างกายค่อนข้างคงที่ซึ่งสามารถวัดสารไอโซโทปนั้น ๆ ได้ในซีรัม น้ำลาย และในปัสสาวะ เช่น เมื่อให้ deuterium ในขนาด 1 กรัม/กก. (lean body mass) แล้วทำการเก็บตัวอย่างเลือดหลังจากให้ deuterium แล้ว 4 ชม. เพื่อให้สาร deuterium กระจายทั่วร่างกาย (steady state) เก็บตัวอย่างปัสสาวะพร้อมกับตัวอย่างเลือด สามารถคำนวณหาปริมาตรสารน้ำทั้งหมดในร่างกายได้จากสูตรของ Blagojevic et al⁹ ดังนี้

$$TBW = 1/N \Sigma(M-Lt)/[D_2O]t$$

- M หมายถึง ปริมาณสาร D₂O ที่ได้รับ (กรัม)
- [D₂O] หมายถึง ความเข้มข้นของสาร D₂O ในซีรัม ณ เวลา t (กรัม/ลิตร)
- L หมายถึง ปริมาตรปัสสาวะที่เก็บได้ทั้งหมด ณ เวลา t (ลิตร)
- N หมายถึง จำนวนครั้งของตัวอย่างเลือดที่เก็บหลังจาก 4 ชม.

Mellits และ Check ได้ทำการตรวจวัดปริมาตรน้ำทั้งหมดในร่างกายด้วยวิธีการตรวจนับสาร deuterium oxide โดยทำการศึกษาในคนปกติเพศหญิงอายุตั้งแต่ 1 เดือน ถึง 31 ปี และในเพศชาย อายุ 1 เดือน ถึง 34 ปี พบว่าปริมาตรน้ำทั้งหมดในร่างกายมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักและส่วนสูง ดังสมการต่อไปนี้⁹

สำหรับเด็กผู้ชาย

- ส่วนสูง <132.7 ซม. $V = -1.927 + 0.465 Wt + 0.045 Ht$
- ส่วนสูง >132.7 ซม. $V = -21.993 + 0.406 Wt + 0.209 Ht$

สำหรับเด็กผู้หญิง

- ส่วนสูง <110.8 ซม. $V = 0.076 + 0.507 Wt + 0.013 Ht$
- ส่วนสูง >110.8 ซม. $V = -10.313 + 0.252 Wt + 0.154 Ht$
- V หมายถึง ปริมาตรสารน้ำทั้งหมดในร่างกาย (ลิตร)
- Wt หมายถึง น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)
- Ht หมายถึง ส่วนสูง (เซนติเมตร)

ถึงแม้ว่าการประเมินปริมาตรสารน้ำทั้งหมดในร่างกายด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากนักแต่ยังพบว่ามีข้อจำกัดบางประการ เช่น ไอโซโทปของไฮโดรเจน (³H) อาจเกิดการแลกเปลี่ยนกับไฮโดรเจนซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในร่างกายจึงอาจทำให้การประเมินสารน้ำในร่างกายได้มากกว่าความเป็นจริงประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์¹⁰

การประเมินปริมาตรสารน้ำในร่างกายโดยวิธีการวัดความต้านทานกระแสไฟฟ้าของเนื้อเยื่อ (bioelectrical impedance analysis)

Bioelectrical impedance analysis (BIA) สามารถบอกถึงปริมาตรน้ำในร่างกายโดยอาศัยการตรวจวัดความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าที่เดินทางผ่านเนื้อเยื่อในร่างกาย โดยอาศัยหลักการที่ว่ากระแสไฟฟ้าสามารถเดินทางผ่านเนื้อเยื่อได้เฉพาะในส่วนที่ไม่ใช่ไขมัน (fat free tissue) ความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าที่เดินทางผ่านเนื้อเยื่อในร่างกายจะแตกต่างกันไปตามปริมาณของเนื้อเยื่อส่วนที่ไม่ใช่ไขมัน โดยพบว่าความต้านทานของเนื้อเยื่อโดยรวมของร่างกาย (whole body bioelectrical impedance) จะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาตรน้ำในร่างกายและการวัดค่าความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนให้เป็นค่ามาตรฐาน (normalize) หรือมีชื่อเรียกว่าดัชนีความต้านทาน (resistance index) ตามขนาดความสูง ดังสมการ¹¹

$$\text{Resistance index (RI)} = \text{height}^2/\text{impedance}$$

ค่าดัชนีความต้านทาน (RI) มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับปริมาตรน้ำในร่างกายและเนื่องจากในคนปกติปริมาตรน้ำในร่างกายจะมีสัดส่วนต่อเนื้อเยื่อที่ไม่ใช่ไขมันค่อนข้างคงที่ เราจึงสามารถใช้ค่าดัชนีความต้านทานประมาณค่าปริมาตรน้ำในร่างกายได้

การคำนวณค่าปริมาตรน้ำในร่างกายโดยวิธี BIA สามารถทำได้ง่ายกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากไม่ต้องอาศัยผู้ทำที่มีความชำนาญมากนักและราคาถูกกว่าการตรวจสารไอโซโทป จึงทำให้ได้รับความนิยมและใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจหาปริมาตรน้ำในร่างกายทั้งในเด็กปกติและในผู้ป่วยเด็กไตวายเรื้อรัง¹¹⁻¹²

ส่วนการประเมินปริมาตรน้ำในร่างกายโดยวิธี BIA ในผู้ป่วยเด็กไตวายเรื้อรังที่ได้รับการรักษาด้วยไตเทียมนั้นยังคงอยู่ในขั้นตอนการตรวจสอบความน่าเชื่อถืออยู่ Wuhl E และคณะ¹³⁻¹⁴ ได้ทำการศึกษาผู้ป่วยเด็กไตวายเรื้อรังที่ได้รับการรักษาด้วยไตเทียม โดยเปรียบเทียบค่าปริมาตรน้ำในร่างกายซึ่งคำนวณได้จากวิธี deuterium oxide dilution และ วิธี BIA พบว่าปริมาตรน้ำในร่างกายของผู้ป่วยเด็กไตวายเรื้อรังที่ได้รับการรักษาด้วยไตเทียมที่คำนวณด้วยวิธี BIA แบบที่ใช้ในเด็กปกติทั่วไปจะทำให้ผลการประเมินปริมาตรน้ำในร่างกายผิดพลาดได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า residual error ประมาณ 2.81 จากการศึกษาที่ Wuhl E และคณะ ได้พัฒนาสมการที่สามารถใช้ได้กับผู้ป่วยเด็กที่ได้รับการรักษาด้วยไตเทียม ดังนี้

$$TBW = 0.144 (\text{impedance/height}^2) + 0.4Wt + 1.99$$

- TBW หมายถึง ปริมาณน้ำทั้งหมดในร่างกาย (ลิตร)
- Impedance หมายถึง ความต้านทานของเนื้อเยื่อต่อกระแสไฟฟ้า (โอห์ม)
- Height หมายถึง ส่วนสูง (เซนติเมตร)

เนื่องจากการวัดความต้านทานของเนื้อเยื่อต่อกระแสไฟฟ้าด้วยวิธี BIA นั้นสามารถวางขั้ว electrode ไว้ที่แขนและขาจึงไม่ถูกรบกวนโดยน้ำยาไตเทียมในช่องท้อง ดังนั้นจึงสามารถใช้ประเมินปริมาตรสารน้ำทั้งหมดในร่างกายได้ดีในผู้ป่วยที่รับการรักษาด้วยวิธีไตเทียมในช่องท้อง

การประเมินปริมาตรน้ำทั้งหมดในร่างกายโดยการคำนวณจาก urea kinetic modeling

ในผู้ป่วยที่รับการรักษาด้วยเครื่องไตเทียม (hemodialysis) แพทย์สามารถติดตามประเมินผลการรักษาได้โดยการตรวจวัดระดับสารยูเรียในร่างกายก่อนและหลังการรักษาเพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาที่เพียงพอโดยการคำนวณค่า KtV^{16-18} โดยในขั้นตอนการคำนวณค่า KtV นั้นสามารถประมาณค่าปริมาตรน้ำในร่างกายทั้งก่อนและหลังการรักษาได้โดยอาศัยทฤษฎีของ Depner¹⁹ ซึ่งมีแนวคิดที่ว่าสารยูเรียกระจายตัวอยู่เท่า ๆ กันทุกส่วนของสารน้ำในร่างกาย (single pool, variable volume model) และการเปลี่ยนแปลงของสารยูเรียในร่างกายมีค่าเท่ากับปริมาณสารยูเรียที่ร่างกายสร้างขึ้น (urea production) ลบด้วยปริมาณยูเรียที่ถูกกรองออกมา (urea removal) โดยสามารถเขียนเป็นสมการที่ 1²⁰⁻²³ ได้ดังนี้

$$\frac{dVC}{dt} = G - (K_D + K_R)C$$

- V หมายถึง ปริมาตรน้ำในร่างกาย (urea distribution volume)
- C หมายถึง ความเข้มข้นของสารยูเรียในพลาสมา (urea concentration)
- G หมายถึง อัตราการสร้างสารยูเรียในร่างกาย (urea generation rate)
- K_D หมายถึง dialyzer urea clearance
- K_R หมายถึง patient's residual urea clearance

ถ้าการเปลี่ยนแปลงของสารน้ำในร่างกายมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาตรน้ำที่กรองออกมาได้ จะได้สมการที่ 2 ดังนี้

$$Vt = V_0 + Bt$$

- V_0 หมายถึง ปริมาตรน้ำในร่างกายก่อนการรักษา
- Vt หมายถึง ปริมาตรน้ำในร่างกาย ณ เวลา t
- Bt หมายถึง อัตราการเพิ่ม (หรือลด) ของน้ำในร่างกาย

แทนที่สมการที่ 2 ใน สมการที่ 1 และแก้สมการจะได้สมการที่ 3 ดังนี้

$$C = C_0 \left(\frac{V_0 + Bt}{V_0} \right)^{-\left(\frac{K+B}{B}\right)} + \left(\frac{G}{K+B} \right) \left[1 - \left(\frac{V_0 + Bt}{V_0} \right)^{-\left(\frac{K+B}{B}\right)} \right]$$

- V_0 หมายถึง ปริมาตรน้ำในร่างกายก่อนการรักษา
- Bt หมายถึง อัตราการเพิ่ม (หรือลด) ของน้ำในร่างกาย
- K หมายถึง ผลรวมของ K_D และ K_R

สามารถคำนวณอัตราการสร้างสารยูเรียในร่างกาย (G) และปริมาตรน้ำในร่างกาย (V) ได้โดยการสมมติค่าทั้งสองแล้วแทนลงในสมการจนกว่าค่าความเข้มข้นของสารยูเรียในเลือดที่ได้จากสมการมีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นของสารยูเรียในเลือดที่วัดได้จริง (หรือแตกต่างกันไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์) จะได้ค่าประมาณของปริมาตรสารน้ำในร่างกายซึ่งสามารถนำไปใช้หาค่า KtV ได้

การประเมินปริมาตรน้ำในร่างกายด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น 1) สมการต่าง ๆ ได้มาจากสมมติฐานที่ยังไม่พิสูจน์แน่ชัดจึงอาจเกิดความคลื่อนได้สูงโดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้ในผู้ป่วยเด็ก 2) ใช้ได้เฉพาะผู้ป่วยที่รับการรักษาด้วยเครื่องไตเทียม (hemodialysis) เท่านั้น และ 3) การคำนวณมีความยุ่งยากจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณจึงยังไม่ได้รับความนิยมในทางปฏิบัติ

การประเมินปริมาตรสารน้ำในร่างกายโดยทางอ้อมอื่น ๆ

การประเมินปริมาตรน้ำในร่างกายสามารถคำนวณได้อย่างคร่าว ๆ เช่น การประเมินจากความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวเพียงอย่างเดียว ในทางปฏิบัตินิยมประมาณค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เช่น ในทารกแรกเกิดปริมาตรน้ำในร่างกายจะมีค่าประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและค่อย ๆ ลดลงเหลือประมาณ 55-60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวเมื่ออายุ 1 ปี ในวัยรุ่นค่าประมาณของสารน้ำในร่างกายของเด็กหญิงมีค่าประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและเด็กชายมีค่าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในวัยรุ่นเพศหญิงพบว่าปริมาตรน้ำในร่างกายน้อยกว่าในเพศชายเนื่องจากในวัยรุ่นเพศหญิงจะมีการสะสมของไขมันในร่างกายมากกว่าเพศชาย นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำในร่างกายและน้ำหนักตัว²⁴ โดยพบว่า

ปริมาตรสารน้ำในร่างกาย = 0.61 น้ำหนักตัว (กก.) + 0.251

การประเมินปริมาตรสารน้ำในร่างกายยังสามารถประเมินได้โดยการคำนวณค่า fat free body mass โดยการแบ่งกลุ่มตามช่วงอายุและเพศ โดยมีสมมุติฐานว่า

สมการที่ 1 Body weight

= fat + fat free body mass

สมการที่ 2 Body weight

= fat + total body water + protein + carbohydrate + mineral

Suskind RM.⁶ ได้ทำการรวบรวมการศึกษาปริมาตรสารน้ำในร่างกายโดยอาศัยการคำนวณปริมาณโปรตีนและเกลือแร่ในร่างกายแล้วคำนวณตามสมการที่ 2 ดังสรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าส่วนประกอบต่าง ๆ ของ fat free mass ในร่างกายในช่วงอายุต่าง ๆ

อายุ (ปี)	ปริมาณ fat free body mass ในร่างกาย		
	น้ำ (%)	โปรตีน (%)	เกลือแร่ (%)
	เพศชาย		
แรกเกิด	80.6	15.0	3.7
1	70.0	16.6	3.7
3	77.5	17.8	4.0
5	76.6	18.5	4.3
7-9	76.8	18.1	5.1
9-11	76.2	18.4	5.4
11-13	75.4	18.9	5.7
13-15	74.7	19.1	6.2
15-17	74.2	19.3	6.5
17-20	74.0	19.4	6.6
	เพศหญิง		
แรกเกิด	80.6	15	3.7
1	78.8	16.9	3.7
3	77.9	17.7	3.7
5	77.6	18.0	3.7
7-9	77.6	17.5	4.9
9-11	77.0	17.8	5.2
11-13	76.6	17.9	5.5
13-15	75.5	18.6	5.9
15-17	75	18.9	6.1
17-20	74.8	19.2	6.0

หมายเหตุ ไม่รวมส่วนประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรต

บทสรุป

การประเมินปริมาตรน้ำทั้งหมดในร่างกายสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่มีความแม่นยำมากและได้รับความนิยมใช้เป็นมาตรฐาน (gold standard) ในเด็กปกติได้แก่ deuterium oxide dilution และ bioelectrical impedance analysis ส่วนในผู้ป่วยไตวายเรื้อรังที่มีภาวะน้ำคั่งในร่างกายควรเลือกใช้วิธี bioelectrical impedance analysis จะให้ผลการตรวจวัดที่แม่นยำกว่าในผู้ป่วยไตวายเรื้อรังที่ได้รับการรักษาด้วยเครื่องไตเทียมสามารถใช้การคำนวณจาก urea kinetic modeling เนื่องจาก การตรวจระดับยูเรียในเลือดสามารถทำได้ง่ายกว่าการตรวจด้วยวิธีอื่น ๆ โดยทั่วไปในทางปฏิบัติสามารถประมาณค่าสารน้ำในร่างกายโดยคิดจาก 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว แต่ในกรณีที่ต้องการประเมินสารน้ำในร่างกายให้ถูกต้องมากที่สุด เช่น ผู้ป่วยในระยะวิกฤต ควรประเมินจากสมการของ Mellits-Cheek จะให้ผลการประเมินที่แม่นยำกว่า

References

1. Watkins SL. Growth failure in the pediatric ESRD patient. Perit Dial Int 1996;17:S12-4.
2. Wassner SJ, Baum M. Physiology and management. In: Barrett TM, Avner ED, Harman WE, eds. Pediatric Nephrology. Baltimore : Williams & Wilkins, 1998:1155-82.
3. Held PJ, Port FK, Wolfe RA, Stannard DC, Carrol CE, Daugirdas JT et al. The dose of hemodialysis and patient mortality. Kidney Int 1996;50:550-6.
4. Yang CS, Chen SW, Chiang CH, Wang M, Peng SJ, Kan YT. Effect of increasing dialysis dose on serum albumin and mortality in hemodialysis patient. Am J Kidney Dis 1996;27:380-6.
5. Bishti ME, Burke J, Gill D, Jones RW, Counahan R, Chantler C. Body composition in children on regular hemodialysis. Clin Nephrol 1981;15:53-60.
6. Figueroa CR. Clinical and laboratory assessment of the malnutrition child. In: Suskind RM, Lewinter-Susind L, eds. Text book of pediatric nutrition. New York : Raven Press, 1992:191-203.
7. Johnson VL, Wang J, Kaskel FJ, Pierson RN. Changes in body composition of children with chronic renal failure on growth hormone. Pediatr Nephrol 2000;14:695-700.
8. Cooper BA, Aslani A, Ryan M, Zhu FY-P, Ibels L, Allen BJ et al. Comparing different methods of assessing body composition in end-stage renal failure. Kidney Int 2000;58:408-16.
9. National Kidney Foundation-dialysis Outcomes Quality Initiatives Clinical Practice Guideline. Am J Kidney Dis 1997;30(Suppl 2):S15-62.
10. Khoshoo V. Nutritional assessment in children and adolescents. Curr Opin Pediatr 1997;9:502-7.
11. Schasfer F, Wuhl E, Feneberg R, Mehls O, Scharer K. Assessment of body composition in children with chronic renal failure. Pediatr Nephrol 2000;14:673-8.

12. Bradbury MG, Brocklebank JT, Smye SW, Davies PSW. Total body water measurement in renal failure. *Pediatr Nephrol* 1996;10:195-9.
13. Wuhl E, Fusch C, Scharer K, Mehls O, Schaefer F. Assessment of total body water in paediatrics patients on dialysis. *Nephrol Dial Transplant* 1996;11:75-80.
14. Wuhl E, Wiens C, Daschner M, Fusch C, Schaefer F. Assessment of total and extracellular body water in pediatric dialysis patients by multifrequency bioelectrical impedance analysis. *Pediatr Nephrol* 1997;11:C27.
15. Aufricht C, Muller T, Lothaller MA, Kitzmuller E, Balzar E. Filling volume of peritoneal cavity does not influence measurement of total body water by bioelectrical impedance in children. *Perit Dial Int* 1995;15:171-4
16. Daugirdas JT. Chronic hemodialysis prescription. In: Daugirdas JT, Ing TS, eds. *Handbook of dialysis*. Boston: Little, Brown and Co, 1994:92-120.
17. Harmon WE, Jabs KL. Hemodialysis. In: Barrett TM, Avner ED, Harman WE, eds. *Pediatric Nephrology*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1998:1267-87.
18. Verina E, Brendolan A, Gusmano R, Ronco C. Chronic renal replacement therapy : Which index is best for adequacy. *Kidney Int* 1998;54:1690-6.
19. Depner TA. *Prescribing Hemodialysis: A Guide to Urea Kinetic Modeling*. Boston : Kluwer Academic Publishers, 1991.
20. Burr T. Two sample hemodialysis urea kinetic modeling: validation of the method. *Nephron* 1995;69:49-53.
21. Burr T, Larsson R. Accuracy of hemodialysis urea kinetic modeling. *Nephron* 1991;59:385-63.
22. Bankhead MM, Toto RD, Star RA. Accuracy of urea removal estimated by kinetics model. *Kidney Int* 1995;48:785-93.
23. Jiravuttipong A, Jones CL. Natural logarithmic formula: Not an alternative method for estimating Kt/V in paediatric haemodialysis. *Nephrology* 2000;5:167-71.
24. Adelman RD, Solhaug MJ. Pathophysiology of body fluids and fluid therapy. In: Behrman RE, Kliegman RM, Jenson HB, eds. *Nelson Textbook of Pediatrics*. Philadelphia : W.B. Saunders, 2000:189-90.

