

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

การสั่งสารอาหารให้ทางหลอดเลือดดำ (Ordering parenteral nutrition)

การสั่งสารอาหารให้ทางหลอดเลือดดำแก่ผู้ป่วยเป็นหน้าที่ของแพทย์ อย่างไรก็ตามในบางแห่งอาจจะมอบหมายให้เป็นหน้าที่ของเภสัชกร พยาบาล หรือนักกำหนดอาหาร ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องอยู่ในทีมโภชนบำบัด (nutrition support team) (Mirtallo et al., 2004)

การสั่งสารอาหารให้ทางหลอดเลือดดำ บางโรงพยาบาลเขียนสั่งในใบสั่งยาทั่วไป บางโรงพยาบาลเขียนสั่งในแบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับสั่ง PN (Standardized PN order forms) และบางโรงพยาบาลใช้วิธีการสั่งผ่านระบบคอมพิวเตอร์ จากผลสำรวจในปี ค.ศ. 2003 ของคณะทำงานเพื่อทบทวนแนวปฏิบัติให้เกิดความปลอดภัยในการให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำ (Task Force for the Revision of Safe Practice for Parenteral Nutrition) (Mirtallo et al., 2004) พบว่าร้อยละ 87 ใช้แบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับสั่ง PN คิดแยกเป็นแบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับสั่ง PN สำหรับผู้ป่วยผู้ใหญ่ ผู้ป่วยเด็ก และผู้ป่วยทารกแรกคลอด ร้อยละ 96 ร้อยละ 40 และร้อยละ 42 ตามลำดับ มีเพียงร้อยละ 29 ที่ใช้วิธีการสั่งผ่านระบบคอมพิวเตอร์ คิดเป็นระบบคอมพิวเตอร์สำหรับสั่ง PN สำหรับผู้ป่วยผู้ใหญ่ ผู้ป่วยเด็ก และทารกแรกคลอดร้อยละ 88 ร้อยละ 54 และร้อยละ 58 ตามลำดับ

ปัญหาของการสั่งสารอาหารให้ทางหลอดเลือดดำ คือ ใช้เวลานาน มีการประเมินและคำนวณมากหลายขั้นตอน ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญความมีประสบการณ์เป็นอย่างสูง จึงเสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อน (Hermansen et al., 1986; Vincer et al., 1989; Legler, 1990; Tepas et al., 1991; Horn et al., 2002) และการเกิดภาวะแทรกซ้อนในระหว่างการรักษาได้ง่าย ซึ่งอาจรุนแรงถึงแก่ชีวิตของผู้ป่วยหากขาดซึ่งความระมัดระวัง ขาดความรู้ความเข้าใจ หรือขาดการกำกับดูแลอย่างถูกต้องเหมาะสม (ประสงค์, 2545; Klein and Rivera, 1985; Baker et al., 1986; Husami and Abumrad, 1986; Brown and Wojtysiak, 1992; ChrisAnderson et al., 1996; Wongpoowarak et al., 1999) ความคลาดเคลื่อนที่พบได้บ่อย คือ การคำนวณผิด การลืมสั่งสารอาหารบางชนิด การสั่งสารอาหารหลัก คือ dextrose, amino acid, fat emulsion ในความเข้มข้นหรือปริมาณที่ไม่เหมาะสม การสั่งแคลเซียมและฟอสเฟตในความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการผสมรวมกันไม่

ได้ นอกจากนี้ยังพบปัญหาจากการเขียนใบสั่งที่ไม่ชัดเจนทำให้เกิดข้อผิดพลาดและพยาบาลต้องเสียเวลาในการตรวจสอบและสอบถามซ้ำ (Potts and Monheim, 1980; Wright and Robinson, 1981; Petros and Shank, 1986; Mitchell et al., 1990; Foulks et al., 1997)

จากความคลาดเคลื่อนดังกล่าว พบว่าปัจจัยสาเหตุที่สำคัญ คือ การขาดความรู้ที่เพียงพอของผู้สั่ง และจำนวนผู้ป่วยที่ได้รับการสั่งให้ PN มีจำนวนมาก ทำให้ต้องรีบเร่งในการสั่ง จึงเกิดข้อผิดพลาดขึ้น (Mirtallo et al., 2004)

รายงานวิจัยหลายฉบับพบว่า การใช้แบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับสั่ง PN ช่วยลดเวลาและความคลาดเคลื่อนจากการสั่งได้ (Petros and Shank, 1986; Cerra, 1990; Mitchell et al., 1990) โดยในแบบฟอร์มนั้นประกอบด้วยแนวปฏิบัติต่าง ๆ (guideline) เช่น แนวปฏิบัติในการเริ่มการสั่งให้ PN แนวปฏิบัติในการหยุดการให้ PN ขนาดแนะนำของสารอาหารต่าง ๆ (nutrients dosage recommendations) รายละเอียดแสดงส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์วิตามินและสารละลาย Trace elements (Potts and Monheim, 1980; Wright and Robinson, 1981; Mitchell et al., 1990; Lewis, 1993) แบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับสั่ง PN จัดเป็นเครื่องมือประเภทหนึ่งของการให้การศึกษาและความรู้แก่แพทย์ (provide physician education) (Potts and Monheim, 1980; Wright and Robinson, 1981; Cerra, 1990; Mitchell et al., 1990; Foulks et al., 1997) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแพทย์ที่ยังไม่มีประสบการณ์หรือยังไม่คุ้นชินกับการสั่ง PN ซึ่งจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการสั่งได้ พบว่าการใช้แบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับสั่ง PN สามารถลดความคลาดเคลื่อนได้ตั้งแต่ร้อยละ 9 ถึง 82 โดยความคลาดเคลื่อนที่ลดลง คือ ความคลาดเคลื่อนจากการลืมสั่งสารอาหารบางชนิด การสั่งสารอาหารในขนาดความเข้มข้นที่ไม่เหมาะสม และการสั่งแคลเซียมและฟอสเฟตในขนาดความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการผสมรวมกันไม่ได้ (Potts and Monheim, 1980; Wright and Robinson, 1981; Petros and Shank, 1986; Mitchell et al., 1990; Foulks et al., 1997) แสดงให้เห็นว่าแบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับสั่ง PN มีส่วนเพิ่มคุณภาพการดูแลผู้ป่วยด้านโภชนาบำบัดให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (Wright and Robinson, 1981; Petros and Shank, 1986; Cerra, 1990)

Task Force for the Revision of Safe Practice for Parenteral Nutrition ได้เสนอแนวปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสำหรับการสั่ง PN คือ อย่างน้อยควรจัดให้มีแบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับสั่ง PN เพื่อป้องกันหรือลดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวข้างต้น (Mirtallo et al., 2004) ส่วน ESPGHAN Committee on Nutrition (2005) ได้เสนอแนะว่าควรส่งเสริมให้มีการสั่ง PN ผ่านระบบคอมพิวเตอร์ (computerized prescribing system) เพื่อลดเวลาและป้องกันความคลาดเคลื่อนจากการคิดคำนวณ

คอมพิวเตอร์กับการบริหารจัดการงานให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำ

โรงพยาบาลและสถาบันทางการแพทย์หลายแห่งในต่างประเทศ ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สนับสนุนระบบการจัดการทั้งในส่วนของแพทย์และเภสัชกร (Feldman and Kizka, 1981; Edwards, 1982; Rich et al., 1982; DiDonato, 1983; Gale et al., 1983; MacMahon, 1984; Ball et al., 1985; Yamamoto et al., 1986; Picart et al., 1989; Seidel et al., 1991; Porcelli et al., 1997; Puangco et al., 1997; Peverini et al., 2000; Schloerb, 2000; Horn et al., 2002) ซึ่งช่วยลดภาระงานประจำวัน ลดเวลา ลดความคลาดเคลื่อน ช่วยให้การวางแผนการให้โภชนบำบัดมีความรวดเร็วขึ้น ช่วยให้คุณภาพการดูแลผู้ป่วยด้านโภชนบำบัดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

คอมพิวเตอร์ช่วยการสั่งสารอาหารให้ทางหลอดเลือดดำ

(Computer Assisted PN Prescribing)

Edwards (1982) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมภาษา BASIC ซึ่งสามารถทำงานบน HP9845 desktop computer หรือ HP41CV programmable hand-held calculator เพื่อช่วยการวางแผนการรักษาด้านโภชนบำบัด ประกอบด้วยการประเมินภาวะโภชนาการ (nutritional assessment) การคำนวณความต้องการพลังงาน (caloric requirements) แผนการรักษาด้านโภชนบำบัด (nutritional therapeutic plan) และการประเมินผลการให้โภชนบำบัด (assessment of therapy) ซึ่งการประเมินภาวะโภชนาการ โปรแกรมจะทำการคำนวณและประเมิน somatic protein mass, visceral protein mass, fat reserves และ prognostic nutritional index จากข้อมูลอายุ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูงและข้อมูลการตรวจทางชีวเคมีของผู้ป่วยซึ่งแพทย์ได้ป้อนค่าไว้ สูตรการคำนวณต่าง ๆ ได้กำหนดไว้ในรูปสมการฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ (exponential and polynomial equation) การคำนวณความต้องการของพลังงาน จะคำนวณจากผลคูณของ basal energy expenditure (BEE) กับ stress factor โดย BEE คำนวณจาก Harris-Benedict equation และโปรแกรมจะแสดงตาราง stress factor เพื่อให้ user เลือกและป้อนค่าที่เหมาะสมในการคำนวณต่อไป ส่วนการประเมินผลการให้โภชนบำบัด โปรแกรมจะคำนวณและแสดงค่าสมดุลไนโตรเจน (nitrogen balance) และคำนวณค่า respiratory quotient (RQ) หาก RQ มีค่าสูงจะเป็นดัชนีชี้วัดที่บอกให้ทราบว่าควรจะต้องมีการปรับเปลี่ยนสูตร PN ให้เหมาะสมมากขึ้น โดยลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตให้น้อยลง

Gale และคณะ (1983) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมภาษา BASIC เพื่อช่วยในการกำหนดและคำนวณสูตร PN และ EN สำหรับผู้ป่วยทารกแรกคลอด ซึ่งโปรแกรมจะช่วยคำนวณความต้องการพลังงาน ปริมาตรสารน้ำ สารอาหาร เกลือแร่ และวิตามิน ซึ่งแพทย์จะยอมรับสูตรที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณให้หรือปรับแก้ไขสูตรตามสถานะทางคลินิกของผู้ป่วยได้ตามความต้องการ โปรแกรมมีระบบทดสอบความปลอดภัย (Safety Tests) โดยได้กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณสารอาหารแต่ละชนิดไว้ (An upper limit of nutrients) หากมีการสั่งสารอาหารใด ๆ เกินกำหนด จะปรากฏข้อความ (message) แจ้งเตือนให้ทราบ เช่น พลังงานจากไขมันที่ให้ทางหลอดเลือดเกินร้อยละ 40 ของพลังงานทั้งหมด จะปรากฏข้อความว่า “Too many lipid calory” ซึ่งแพทย์จะต้องมีการปรับแก้ไขสูตรจนกระทั่งผ่านการทดสอบความปลอดภัย และหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการกำหนดสูตร โปรแกรมจะเข้าสู่ mode การคำนวณสูตรการผสมสำหรับเภสัชกร และเข้าสู่ mode การพิมพ์เพื่อพิมพ์ order sheets สำหรับแพทย์ และพิมพ์ working formula sheets สำหรับเภสัชกร ผลจากการใช้โปรแกรมพบว่าสามารถลดเวลาที่ใช้ในการกำหนดและคำนวณสูตรได้เป็นอย่างดี จากเดิมสำหรับผู้ป่วย 1 ราย ต้องใช้เวลา 30-45 นาที เหลือเพียง 4-5 นาที

MacMahon (1984) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมภาษา BASIC เพื่อช่วยในการสั่ง PN สำหรับผู้ป่วยทารกแรกคลอด ลักษณะโปรแกรมจะแสดงข้อมูลแนะนำปริมาณสารอาหารแต่ละชนิดที่ควรจะได้รับซึ่งจะแปรผันตามผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแพทย์ผู้สั่งสามารถที่จะยอมรับหรือปฏิเสธค่าที่แนะนำได้ โปรแกรมมีระบบป้องกันอันตราย (safeguards) จากการสั่งหรือป้อนค่าที่เกินจากค่าที่แนะนำ โดยจะปรากฏข้อความแจ้งเตือนบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ให้ทราบ แต่ถ้าแพทย์ยังป้อนค่าหรือตัวเลขเดิม โปรแกรมจะถือว่าผู้สั่งยืนยันค่านั้น และจะยินยอมให้ทำงานต่อไปได้ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการสั่ง โปรแกรมจะคำนวณสูตรการผสม คำนวณอัตราเร็วในการให้สารละลาย และวิเคราะห์สัดส่วนของพลังงานให้ทราบ ผลจากการใช้โปรแกรมพบว่า สามารถลดเวลาที่ใช้ในการกำหนดและคำนวณสูตร สามารถป้องกันปัญหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกำหนดสูตรการคำนวณได้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างตารางแนะนำปริมาณ โซเดียมที่ควรจะได้รับ

Infant's weight (kg)	Plasma Na (mmol/L)	Recommended intake (mmol/kg/day)
> 1	≥ 130	2*
	< 130	3
	< 120	4
≤ 1	> 144	2
	≥ 130	3*
	< 130	4
	< 120	5

* Recommended values if the plasma concentration is unknown

Yamamoto และคณะ (1986) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมภาษา Microsoft[®] GW Basic Language ทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC computers) ใช้ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์ เพื่อช่วยในการกำหนดสูตร PN ให้แก่ผู้ป่วยเด็ก โปรแกรมจะเฉพาะสำหรับการสั่ง PN เท่านั้น ซึ่งรูปแบบของการช่วยสั่งหรือกำหนดสูตรจะทำนองเดียวกันกับที่รายงานโดย Gale และคณะ (1983) แต่มีเพิ่มเติมใน mode ของการสั่ง order คือโปรแกรมจะแสดง order ของวันที่ผ่านมาด้วย เพื่อให้สะดวกในการเปรียบเทียบสูตร และใน mode ของการพิมพ์ จะเพิ่มการพิมพ์ฉลาก (Label) สำหรับเภสัชกรใช้ติดที่ขวดสารละลาย PN ไปด้วย เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนของการพิมพ์ฉลากของเภสัชกร

Picart และคณะ (1989) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมภาษา Microsoft[®] GW Basic Language ทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC computers) ใช้ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการสั่งให้โภชนบำบัดแก่ผู้ป่วยเด็กในหออภิบาลผู้ป่วยทารกแรกคลอดและหออภิบาลผู้ป่วยเด็ก และมีความถูกต้องปลอดภัยแก่ผู้ป่วย ประกอบด้วยโปรแกรมสั่ง PN สำหรับผู้ป่วยที่ต้องการสารอาหารทางหลอดเลือดแบบสมบูรณ์ (Total PN, TPN) และโปรแกรมสำหรับสั่งให้โภชนบำบัดแบบผสม สำหรับผู้ป่วยที่ได้รับโภชนบำบัดทางหลอดเลือด ร่วมกับการให้โภชนบำบัดทางระบบทางเดินอาหาร (Combined parenteral and enteral nutrition, CPEN) หากเลือกโปรแกรม CPEN ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลในส่วนของคุณค่าและปริมาตรของ EN ที่ผู้ป่วยได้รับ ซึ่งโปรแกรมจะแสดงผลเป็นปริมาณสาร

อาหารที่ได้รับจาก EN และนำค่าที่ได้ไปหักลบจากปริมาณสารอาหารและสารน้ำทั้งหมดที่ผู้ป่วยควรได้รับ เพื่อกำหนดเป็นปริมาณสารอาหารและสารน้ำที่ควรได้รับจาก PN ต่อไป ส่วนลักษณะของโปรแกรมในส่วนของคำสั่งใช้ (prescription module) จะมีการแสดงข้อความที่เป็นแนวทางหรือข้อเสนอแนะสำหรับการสั่งสารอาหารนั้น ๆ หรือ แสดงส่วนประกอบของสูตร EN ต่าง ๆ ซึ่งได้จัดทำไว้เป็นระบบฐานข้อมูลตลอดการสั่ง แต่ผู้ใช้สามารถเลือกให้แสดงหรือไม่แสดงข้อความเหล่านั้นก็ได้ นอกจากนี้โปรแกรมยังมีระบบเตือนเพื่อป้องกันความผิดพลาดซึ่งมีทั้งระบบเตือนด้วยเสียงและระบบเตือนด้วยข้อความ ถ้าหากมีการสั่งสารอาหารเกินช่วงมาตรฐานกำหนด อย่างไรก็ตามโปรแกรมมีความยืดหยุ่น โดยยินยอมให้มีการสั่งสารอาหารนอกช่วงมาตรฐานได้หากแพทย์ยืนยันผลจากการใช้โปรแกรม พบว่านอกจากจะช่วยให้เกิดความรวดเร็ว ลดความยุ่งยากในการสั่ง PN รวมถึงเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ป่วยแล้ว โปรแกรมยังช่วยในการจัดพิมพ์ฉลากสำหรับติดที่ขวด PN ช่วยพิมพ์ PN prescription data sheet เพื่อเป็นหลักฐานสำหรับจัดเก็บในแฟ้มประวัติการรักษาของผู้ป่วย และพิมพ์ PN formulation sheet เป็นหลักฐานของเภสัชกรในการเตรียมสารละลาย

Porcelli และคณะ (1997) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยการสั่ง PN (Computer software assisted ordering, CSAO) สำหรับกลุ่มผู้ป่วยทารกแรกคลอดที่มีน้ำหนักตัวต่ำมาก (น้ำหนักตัวน้อยกว่า 1500 กรัม) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ป่วยในกลุ่มนี้ได้รับแคลเซียมและฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่เหมาะสม และมีปริมาณที่สูงเพียงพอสำหรับการป้องกันภาวะกระดูกบางหรือปัญหาทางกระดูกอื่น ๆ ขณะเดียวกันจะต้องไม่มีปัญหาเรื่องการตกตะกอนของสารละลาย ซึ่ง CSAO จะประเมินปริมาตรของ PN ที่แพทย์สั่งและจะแนะนำขนาดของแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมและไม่เกิดปัญหาการตกตะกอน ผลการศึกษาพบว่าผู้ป่วยที่ใช้โปรแกรม CSAO ช่วยสั่ง PN ได้รับแคลเซียมและฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม (ใช้แบบฟอร์มใบสั่งมาตรฐาน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แคลเซียม 60.3 ± 16.7 mg/kg/day และ 50.0 ± 17.1 mg/kg/day, ฟอสฟอรัส 32.8 ± 13.9 mg/kg/day และ 25.1 ± 9.1 mg/kg/day, mean \pm SD, $P < 0.001$) และจำนวนผู้ป่วยที่ได้รับแคลเซียมและฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 ของขนาดที่แนะนำ มีจำนวนสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ร้อยละ 82 ในกลุ่ม CSAO และร้อยละ 51 ในกลุ่มควบคุม, $P < 0.001$) และไม่พบปัญหาการตกตะกอนของสารละลายเลย

Puangco และคณะ (1997) ศึกษาเวลาที่ใช้ในการสั่ง การนำส่งใบสั่ง และคุณภาพทางการรักษาผู้ป่วยด้วย PN โดยเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยการสั่ง PN โดยทำการศึกษาในผู้ป่วยทารกแรกคลอดที่ได้รับ PN มากกว่า 5 วัน พบว่าเวลาที่ใช้ในเขียนและนำส่งใบสั่ง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยลดจาก 4.5 ± 0.5 เหลือ 1.4 ± 0.2 นาที ($P = 0.0001$) และคุณภาพทางการรักษาประเมินจากส่วนประกอบของ PN ในด้านพลังงาน โปรตีน แคลเซียม และ

ฟอสเฟต พบว่าผู้ป่วยในกลุ่มที่ใช้โปรแกรมช่วยการสั่ง PN ได้รับพลังงานและสารอาหารในปริมาณที่เหมาะสมมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (พลังงาน 79.12 ± 1.8 และ 93.4 ± 1.48 kcal/kg/day; $P=0.0001$, โปรตีน 2.7 ± 0.03 และ 2.92 ± 0.02 gm/kg/day; $P=0.0001$, แคลเซียม 2.3 ± 0.1 และ 1.8 ± 0.1 mEq/kg/day; $P=0.0005$, ฟอสเฟต 0.9 ± 0.06 และ 1.3 ± 0.06 mmol/kg/day; $P=0.0001$) นอกจากนี้ยังพบว่าระดับของ alkaline phosphatase ในเลือดดีขึ้น (404 ± 25 และ 272 ± 11 U/L; $P=0.0001$) และผู้ป่วยได้รับ PN ที่ให้พลังงานและโปรตีนตรงตามเป้าหมายที่ต้องการได้เร็วกว่า (8.7 ± 0.8 และ 5.9 ± 0.4 วัน; $P=0.0045$) สรุปได้ว่าการสั่ง PN ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยลดเวลาและเพิ่มคุณภาพทางการรักษาในด้านของส่วนประกอบของสารอาหารที่ผู้ป่วยได้รับ

Peverini และคณะ (2000) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมภาษา Visual Basic ทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC computers) ใช้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows NT มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยการสั่ง PN สำหรับผู้ป่วยเด็กในหออภิบาลผู้ป่วยทารกแรกคลอด ให้มีความถูกต้อง ลดเวลา ลดภาระงานในการคำนวณที่มากมายขั้นตอน และเพื่อแก้ปัญหาการสั่งแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ไม่ได้สัดส่วนที่เหมาะสม รวมถึงการสั่งเติมในปริมาณที่เสี่ยงต่อการตกตะกอน ลักษณะโปรแกรมเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (decision support system) ประกอบด้วย guidelines แนะนำปริมาณสารอาหารที่ผู้ป่วยควรได้รับ มีการกำหนดช่วงความปลอดภัยทางคลินิก มีระบบเตือนเป็นรหัสสีเมื่อมีการสั่งสารอาหารนอกช่วงแนะนำหรือนอกช่วงความปลอดภัย โดยจะปรากฏรหัสตัวอักษรสีเหลืองถ้ามีการสั่งสารอาหารนอกช่วงแนะนำ และปรากฏรหัสสีแดงเมื่อมีการสั่งสารอาหารนอกช่วงความปลอดภัย เพื่อเป็นการกระตุ้นเตือนสติ แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรมก็ยินยอมให้แพทย์สั่งสารอาหารนอกช่วงแนะนำได้ หากแพทย์ยืนยันแต่จะไม่ยินยอมให้สั่งนอกช่วงปลอดภัย มีระบบตรวจสอบและเตือนการตกตะกอนของแคลเซียมและฟอสเฟต โดยจะแสดงผลที่หน้าจอเป็นรูปภาพ (graphical user interface) โดยแกน y แสดงปริมาณโปรตีนหน่วยเป็น gm/dL แกน x แสดงผลรวมของแคลเซียมและฟอสเฟตหน่วยเป็น mEq/L หากการตรวจสอบพบว่ามีความเสี่ยงต่อการตกตะกอน จะมีข้อความเตือนเป็นอักษรสีแดงว่า "Precipitate Warning" ซึ่งแพทย์ต้องปรับแก้ไขโดยลดปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตให้อยู่ในช่วงที่ปลอดภัย นอกจากนี้โปรแกรมยังมีการวิเคราะห์บอกให้ทราบถึง สัดส่วนของแคลเซียมและฟอสฟอรัส (Calcium :Phosphorus ratio) อัตราเร็วในการให้กลูโคส (glucose infusion rate) และสัดส่วนพลังงานที่ผู้ป่วยได้รับ ผลจากการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ พบว่าได้ช่วยให้มีสิ่ง PN ได้อย่างถูกต้อง สามารถป้องกันปัญหาจากการสั่ง PN ที่มีส่วนประกอบของสารอาหารนอกช่วงแนะนำ ป้องกันการสั่งแคลเซียมและฟอสฟอรัสไม่ได้สัดส่วนที่เหมาะสม รวมถึงการสั่งแคลเซียมและฟอสฟอรัสในปริมาณที่เสี่ยงต่อการตกตะกอน พบว่าก่อนใช้โปรแกรมพบปัญหาหกรวม 44 ครั้ง จาก

จำนวนการสั่ง PN รวม 266 ครั้ง (เวลา 14 วัน) แยกเป็นปัญหาจากการสั่งแคลเซียมและฟอสฟอรัส ในปริมาณที่เสี่ยงต่อการตกตะกอน 12 ครั้ง ปัญหาจากการสั่งแคลเซียมและฟอสฟอรัสไม่ได้สัดส่วนที่เหมาะสมหรือสั่งนอกช่วงแนะนำ 14 ครั้ง และการสั่งสารอาหารอื่น ๆ นอกช่วงแนะนำ 18 ครั้ง และหลังจากใช้โปรแกรม จากจำนวนการสั่ง PN รวม 290 ครั้ง (เวลา 14 วัน) ไม่พบปัญหาจากการสั่ง PN เลย

Schloerb (2000) รายงานว่าสืบเนื่องมาจากผลสำรวจที่พบว่าอย่างน้อย 1 ใน 4 ถึง 1 ใน 2 ของโรงเรียนแพทย์จำนวน 106 แห่งในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการสั่งให้ PN แก่ผู้ป่วยโดยให้พลังงานและปริมาณกลูโคสที่มากเกินไป ก่อให้เกิดผลแทรกซ้อนต่อผู้ป่วย (Schloerb et al, 1998) และเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการให้การรักษาด้วยโภชนบำบัดไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของ PN หรือ EN จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ “Electronic Parenteral and Enteral Nutrition” (EPEN) เพื่อใช้ใน University of Kansas Medical Center ซึ่งมีทั้งโปรแกรมสำหรับผู้ป่วยผู้ใหญ่และโปรแกรมสำหรับผู้ป่วยเด็ก โดยโปรแกรมประกอบด้วย 1) ส่วนของการคำนวณส่วนประกอบของร่างกาย (body composition) และการคำนวณพลังงานที่ต้องการ 2) ส่วนของการสั่ง PN ที่เป็นสูตรมาตรฐาน (Standard TPN) 3) ส่วนของการสั่ง PN ที่เป็นสูตรผู้ป่วยเฉพาะราย (Alternate TPN) 4) ส่วนของการสั่ง Enteral Nutrition และ 5) ส่วนของสารสนเทศและการอธิบาย (Information and Explanation) ซึ่งการกำหนดปริมาณสารอาหารที่ผู้ป่วยแต่ละรายควรได้รับ จะคำนวณตาม body cell mass (BCM) ผลการศึกษาพบว่าคอมพิวเตอร์มีส่วนช่วยให้การวางแผนการให้โภชนบำบัดมีความรวดเร็วขึ้น ช่วยลดอุบัติการณ์ของการที่ผู้ป่วยจะได้รับพลังงานและกลูโคสในปริมาณที่สูงมากเกินไป

Horn และคณะ (2002) ได้พัฒนาและติดตั้งโปรแกรม VIE-PNN (Vienna Expert System for Parenteral Nutrition of Neonates) สำหรับใช้ในหออภิบาลผู้ป่วยทารกแรกคลอด ซึ่งเป็นโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้ประยุกต์องค์ความรู้จากตำราและองค์ความรู้จากประสบการณ์ของกุมารแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านโภชนบำบัด มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1991 และมีการปรับปรุงโปรแกรมมาโดยตลอดด้วยเหตุผลสำคัญ คือ แพทย์โดยส่วนใหญ่จะยอมรับโปรแกรมระบบที่สามารถลดหรือประหยัดเวลาได้เท่านั้น โปรแกรม VIE-PNN ล่าสุดเป็นรุ่นที่ 5 (version 5) ซึ่งถูกพัฒนาโดยใช้ Hypertext Markup Language (HTML)-based client-server architecture และได้เชื่อมต่อเข้ากับระบบการจัดการข้อมูลผู้ป่วย (patient data management system, PDMS) โปรแกรมประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนของทะเบียนผู้ป่วย ส่วนของการวางแผนกำหนดและสั่งใช้ PN และสุดท้ายเป็นส่วนของฐานองค์ความรู้ ซึ่งได้มีการออกแบบระบบให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถเข้าปรับปรุงแก้ไขข้อมูลเพื่อให้เป็นองค์ความรู้ที่ทันสมัยอยู่เสมอ พบว่าโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญช่วยลดเวลาที่ใช้ในการ

ตั้ง PN จาก 7.1 นาทีเหลือ 2.4 นาทีต่อผู้ป่วย 1 ราย นอกจากนี้ยังช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณได้ โดยลดจากร้อยละ 56 เหลือเพียงร้อยละ 22

คอมพิวเตอร์กับการบริหารจัดการงานผสมสารอาหารให้ทางหลอดเลือดดำ

การบริหารจัดการงานผสมสารอาหารให้ทางหลอดเลือดดำ เป็นการบริหารจัดการที่มีความยุ่งยากซับซ้อนใช้เวลามาก เริ่มตั้งแต่การจัดทำแฟ้มประวัติผู้ป่วย การช่วยทวนสอบความถูกต้องความครบถ้วนของชนิดและปริมาณสารอาหารที่สั่ง การตรวจสอบความสามารถในการผสมเข้ากันได้ของสารละลาย (compatibility) ซึ่งหากพบว่าการตั้งสารอาหารต่าง ๆ ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดความคลาดเคลื่อน หรือมีความเสี่ยงที่จะเกิดการผสมเข้ากันไม่ได้ เกสซักรจะปรึกษาแพทย์ผู้สั่งเพื่อยืนยันหรือปรับแก้ไขให้ถูกต้องเหมาะสม จึงจะคำนวณสูตรการผสมและเตรียมผสมสารละลาย PN ต่อไป โดยในขั้นตอนการคำนวณสูตรการผสม เกสซักรจะแปลงสูตรอาหารที่แพทย์สั่งจากหน่วยปริมาณ (mEq, mmol, mcg, mg, gm) ให้เป็นหน่วยปริมาตร (ml) ที่สามารถตวงวัดได้ ซึ่งขั้นตอนนี้ใช้เวลามากและมีความเสี่ยงที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดจากการคำนวณได้ง่าย (DiDonato, 1983) เพื่อแก้ปัญหากระบวนการจัดการเหล่านี้ โรงพยาบาลและสถาบันทางการแพทย์หลายแห่งในต่างประเทศ จึงได้พัฒนาโปรแกรมซอฟต์แวร์ขึ้น โดยโปรแกรมอาจจะทำงานบนเครื่องคำนวณที่สามารถเขียนโปรแกรมได้ (programmable hand-held calculator) (Feldman and Kizka, 1981; DiDonato, 1983) หรืออาจเป็นเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Rich et al., 1982; Ball et al., 1985; Seidel et al., 1991) ซึ่งช่วยลดภาระงานประจำวัน ลดเวลา ลดความคลาดเคลื่อน ช่วยให้การผสม PN มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น (Feldman and Kizka, 1981; Rish et al., 1982; DiDonato, 1983; Ball et al., 1985; Seidel et al., 1991)

Feldman และ Kizka (1981) และ DiDonato (1983) ได้พัฒนาโปรแกรมช่วยคำนวณสูตรสารละลายอาหารที่เป็นส่วนประกอบของ PN สำหรับผู้ป่วยทารกและเด็ก โดยโปรแกรมทำงานบนเครื่องคำนวณ (programmable hand-held calculator) พบว่าสามารถลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณสูตรของเกสซักรได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย Feldman และ Kizka รายงานว่าใช้เวลาในการทำงานลดลงจากเดิม 4.6 นาทีต่อ 1 คำสั่งเหลือเพียง 2.2 นาทีต่อ 1 คำสั่ง ส่วน DiDonato รายงานว่าสามารถประหยัดเวลาในการคำนวณสูตรได้ร้อยละ 50 ของเวลาเดิม และ ความผิดพลาดจากการคำนวณสูตรลดลงจากร้อยละ 3 เป็นร้อยละ 0 หรือไม่พบความผิดพลาดจากการคำนวณเลย

Rich และคณะ (1982) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษา BASIC โดยโปรแกรมทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยการจัดทำแฟ้มประวัติผู้ป่วย การ

คำนวณสูตรการผสม การเตรียมเอกสารการผลิต (preparation work sheets) การพิมพ์ฉลากสำหรับติดที่ขวดสารละลาย และทำการประเมินผลการใช้คอมพิวเตอร์ในด้านการประหยัดเวลา พบว่าสามารถประหยัดเวลาได้เฉลี่ย 2.61 นาทีต่อ 1 คำสั่ง คิดเป็นร้อยละ 41.3 ของเวลาในระบบเดิม ซึ่งสามารถประหยัดเวลาได้ 300-400 ชั่วโมงต่อปี และช่วยให้เภสัชกรมีเวลาดำเนินงานเภสัชกรรมคลินิกมากขึ้น

Ball และคณะ (1985 b.) พบปัญหาปริมาณงานเตรียม PN มีมากขึ้น ในขณะที่อัตราคำสั่งมีเท่าเดิม จากการวิเคราะห์ภาระงานของเภสัชกรหน่วยผสม PN โรงพยาบาลเด็ก Birmingham พบว่าร้อยละ 50 ของเวลาของเภสัชกร (pharmacist hours) ถูกใช้ไปในการคิดคำนวณสูตรการผสม การจดบันทึกและการจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของผู้ป่วย เพื่อลดภาระงานของเภสัชกรในการคำนวณสูตร และงานเอกสารต่าง ๆ จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้น โดยโปรแกรมทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ พบว่าสามารถประหยัดเวลาของเภสัชกรในงานเหล่านี้ได้มากถึงร้อยละ 90 ของงานเดิม นอกจากนี้ยังพบว่าการบันทึกและการจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของผู้ป่วยโดยระบบคอมพิวเตอร์มีความละเอียดถูกต้องมากขึ้น

Seidel และคณะ (1991) วิเคราะห์ภาระงานของเภสัชกรและเจ้าหน้าที่เทคนิคในงานเตรียม PN ในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย Minnesota ซึ่งเปิดบริการตลอด 24 ชั่วโมงและประกอบด้วยขั้นตอนการรับใบสั่ง การจัดทำแฟ้มประวัติผู้ป่วยประกอบด้วยคำสั่งแพทย์และบันทึกการเตรียม PN ของเภสัชกร การคำนวณสูตรการผสม การทวนสอบซ้ำการคำนวณสูตรโดยเภสัชกรคนที่ 2 การเตรียมเอกสารการผลิต (preparation work sheets) การพิมพ์ฉลากสำหรับติดที่ขวดสารละลายและการผสมสารละลายเปรียบเทียบก่อนและหลังการนำโปรแกรมซอฟต์แวร์มาใช้ โดยโปรแกรมซอฟต์แวร์ทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM และทำงานควบคู่กับเครื่องผสม PN อัตโนมัติ (PN Automated compounder) ซึ่งโปรแกรมจะจัดทำแฟ้มประวัติผู้ป่วย คำนวณสูตรการผสม การเตรียมเอกสารการผลิต และการพิมพ์ฉลาก พบว่าสามารถลดเวลาได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) คือ ลดลงร้อยละ 28 คิดเป็น 6.2 นาทีต่อ 1 คำสั่ง ทำให้ภาระงานของเภสัชกรลดลงโดยเฉลี่ย 6 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งสามารถลดเภสัชกรที่ปฏิบัติงานเต็มเวลา (full time pharmacist) ได้วันละ 1 คน

โภชนบำบัด (Nutrition support)

การป้องกันและรักษาภาวะทุโภชนาการทำได้โดยการให้โภชนบำบัด ซึ่งสามารถให้ได้ 3 ทาง คือ การให้ผู้ป่วยรับประทานเองทางปาก (Oral nutrition) การให้อาหารทางสายให้อาหาร (Enteral nutrition) และการให้อาหารทางหลอดเลือดดำ (PN) (ประสงค์, 2545) การที่จะเลือกให้วิธีใดวิธีหนึ่งหรืออาจให้หลาย ๆ วิธีร่วมกันนั้น ขึ้นกับภาวะทางคลินิกของผู้ป่วย ตราบใดที่ระบบทางเดินอาหารของผู้ป่วยยังทำงานได้ดีหรือค่อนข้างดี ควรรักษาภาวะทุโภชนาการด้วยการให้อาหารทางระบบทางเดินอาหาร (วิชัย, 2532; ถัดดา, 2536 ก.; ประสงค์, 2545; สุนทรี, 2546 ก.) และควรให้อาหารทางหลอดเลือดดำ เมื่อไม่สามารถให้ผู้ป่วยรับประทานหรือให้อาหารแก่ผู้ป่วยทางสายให้อาหารได้ ผู้ป่วยไม่ยอมรับประทานหรือไม่ยอมให้ใส่สายให้อาหาร ไม่สมควรให้อาหารผ่านทางเดินอาหาร หรือไม่สามารถได้อาหารครบถ้วนเมื่อให้อาหารทางระบบทางเดินอาหาร (วิชัย, 2532)

การให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำ (Parenteral nutrition, PN)

ข้อบ่งชี้การให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำ

PN ใช้ในกรณีที่ผู้ป่วยไม่สามารถรับประทานอาหาร หรือรับอาหารทางสายให้อาหารได้ ผู้ป่วยไม่ยอมรับประทานหรือไม่ยอมให้ใส่สายให้อาหาร ไม่สมควรให้อาหารผ่านทางเดินอาหาร หรือไม่สามารถได้อาหารครบถ้วนเมื่อให้อาหารทางระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ ภาวะต่อไปนี้

1. ทารกที่มีน้ำหนักตัวแรกคลอดต่ำกว่าปกติมาก (very low birth weight) น้อยกว่า 1,000 กรัม ที่ให้อาหารทางระบบทางเดินอาหารไม่ได้อีกนาน หรือทารกแรกคลอดที่มีปัญหาให้อาหารทางระบบทางเดินอาหารไม่ได้
2. ปัญหาทางสัลยกรรม ผ่าตัดระบบทางเดินอาหาร ที่คาดว่าต้องอดอาหารนานเกิน 3 วันสำหรับผู้ป่วยเด็ก และเกิน 5-7 วันในผู้ป่วยผู้ใหญ่
3. ภาวะท้องร่วงเรื้อรัง ที่ให้สูตรนม semi-elemental หยดให้แบบต่อเนื่องแล้วยังไม่ได้ผล
4. ภาวะอาเจียนอย่างรุนแรง และคาดว่าไม่สามารถรับอาหารทางระบบทางเดินอาหารได้นานเกิน 3 วันสำหรับผู้ป่วยเด็ก และเกิน 5-7 วันในผู้ป่วยผู้ใหญ่

5. ภาวะลำไส้สั้น
6. ภาวะทางเดินอาหารอักเสบ เช่น Crohn's disease, ulcerative colitis, necrotizing enterocolitis (NEC)
7. ภาวะทางเดินอาหารติดต่อกับภายนอก (gastrointestinal fistulas)
8. ภาวะเจ็บป่วยที่ให้อาหารทางระบบทางเดินอาหารไม่ได้เต็มที่ เช่น anorexia nervosa, มะเร็ง เป็นต้น
9. ภาวะที่มีการสลายของสารอาหารอย่างรุนแรง เช่น major burns, multiple injuries
10. ผู้ป่วยที่หมดสติและไม่สามารถให้อาหารทางสายให้อาหารได้

รูปแบบการให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำ

รูปแบบการให้ PN หากแบ่งตามรูปแบบของวิธีการผสมและวิธีการให้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ conventional administration method และ All-in-one/ Three-in-one/ Total nutrient admixture

Conventional administration method

เป็นการแยกให้ไขมันที่ให้ทางหลอดเลือดดำ ต่างหากจากสารอาหารอื่นที่ละลายน้ำ โดยแยกสารอาหารเป็น 2 ขวด/ ถุง ซึ่งการให้โดยวิธีนี้มีข้อดีคือ หากมีการตกตะกอนของส่วนประกอบจะสังเกตเห็นได้ง่าย แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้ infusion pump 2 เครื่อง และพยาบาลต้องเสียเวลาในการต่อและดูแลสายให้อาหาร 2 ครั้ง สารละลายในขวด/ ถุงที่ 1 ประกอบด้วย กลูโคส กรดอะมิโน เกลือแร่ วิตามินที่ละลายน้ำได้ และ trace elements ซึ่งเป็นสารละลายใส ส่วนขวด/ ถุงที่ 2 เป็นสารละลายไขมันที่ให้ทางหลอดเลือด ซึ่งอาจมีการผสมวิตามินที่ละลายได้ในไขมันไว้ด้วย เมื่อจะให้แก่ผู้ป่วยต้องต่อเข้ากับเครื่อง infusion pump และต่อสายให้อาหารทั้งสองขวด/ ถุงผ่าน Y-connector ก่อนเข้าสู่ตัวผู้ป่วย

All-in-one/ Three-in-one/ Total nutrient admixture

การให้ PN แบบ All-in-one เป็นการผสมสารอาหารทุกชนิดในขวดหรือถุงเดียวกัน ทั้งสารอาหารที่ละลายน้ำได้และสารละลายไขมันที่ให้ทางหลอดเลือด ทำให้ได้สารละลายอาหารเป็นลักษณะขุ่นขาวแบบ emulsion วิธีนี้ใช้เครื่อง infusion pump ในการให้อาหารเพียงเครื่องเดียว ซึ่งประหยัดเวลาในการให้ แต่ก็มีข้อเสีย คือ หากมีการตกตะกอนของส่วนประกอบจะสังเกตได้ยาก ซึ่งอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตผู้ป่วย

ช่องทางการให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำ

PN สามารถให้ได้ 2 ช่องทาง คือ การให้ทาง peripheral vein และทาง central vein การพิจารณาว่าจะให้ทางใดขึ้นกับภาวะโภชนาการ และความต้องการสารอาหารของผู้ป่วย Osmolarity ของสารละลายที่จะให้ ระยะเวลาที่จะให้ และอัตราเสี่ยงต่อการติดเชื้อ

การให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำส่วนปลาย (Peripheral PN, PPN)

เนื่องจาก peripheral vein ไม่สามารถทน osmolarity สูง ๆ และ/หรือ pH ต่ำ ๆ ได้ จึงต้องให้สารละลายในรูปที่มี caloric density ต่ำ และให้ในปริมาณมาก จึงไม่ควรใช้กับผู้ป่วยที่ต้องจำกัดปริมาณน้ำ และสารละลายที่ใช้ควรมี osmolarity ประมาณ 600 mOsm/L หรือไม่สูงกว่า 900 mOsm/L โดยเฉพาะสารละลาย glucose ซึ่งเป็น hypertonic ให้ได้ไม่เกินร้อยละ 12.5 เพราะความเข้มข้นที่สูงจะทำให้เส้นเลือดอักเสบ (thrombophlebitis) ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ข้อดีของ PPN คือ ความเสี่ยงในการเกิดภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ทั้งทางด้าน mechanical, metabolic และ infectious จะต่ำกว่า

การให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำส่วนกลาง (Central PN, CPN)

การให้อาหารทางหลอดเลือดส่วนกลาง สามารถให้สารอาหารที่มี osmolarity สูงได้ โดยเฉพาะสารละลาย glucose ซึ่งเป็น hypertonic ได้ถึงร้อยละ 25 ทำให้ผู้ป่วยได้รับพลังงานเพียงพอโดยปริมาณสารน้ำไม่สูงมาก ให้ในกรณีที่ต้องงดน้ำงดอาหารนานเกิน 7-10 วัน ผู้ป่วยมีความต้องการสารอาหารและพลังงานมาก หรือต้องจำกัดปริมาณน้ำ เป็นวิธีการให้สารอาหารโดยการใส่

สายสวน (Catheter) โดยปลายสายสวนอยู่ในตำแหน่งเส้นเลือดใหญ่ ตำแหน่งของ central vein โดยปกติจะให้ทาง Superior vena cava (SVC) โดยผ่าน internal jugular, subclavian, basilic หรือ cubital vein ข้อเสียของ CPN คือ ความเสี่ยงในการเกิดภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ทั้งทางด้าน mechanical, metabolic และ infectious จะสูงกว่า

ระยะเวลาในการให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำ

ระยะเวลาในการให้ PN มี 2 ลักษณะ คือ การให้ต่อเนื่องแบบ continuous infusion และการให้เป็นช่วง ๆ แบบ intermittent infusion/ cyclic infusion

การให้ต่อเนื่องแบบ Continuous infusion

เป็นการให้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาความไม่สมดุลของ fluid และยังคงควบคุมระดับน้ำตาลได้ไม่ดี เป็นการให้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาความไม่สมดุลของ fluid และยังคงควบคุมระดับน้ำตาลได้ไม่ดี

การให้เป็นช่วง ๆ แบบ Intermittent infusion/ cyclic infusion

เป็นการให้ในช่วงเวลาไม่ถึง 24 ชั่วโมงแล้วหยุดให้ ส่วนใหญ่นิยมให้วันละ 12-18 ชั่วโมง การให้แบบ cyclic infusion ช่วยป้องกันหรือรักษาสภาวะ hepatotoxicity จากการให้ PN แบบ continuous infusion และยังคงเหมาะกับผู้ป่วยที่ได้รับ PN ที่บ้าน (home PN) โดยให้ PN ในเวลากลางคืน และหยุดให้ในเวลากลางวันเพื่อให้ผู้ป่วยมีความสะดวกในการทำกิจกรรมต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การให้สารอาหารแบบนี้ อัตราเร็วต่อชั่วโมงจะเร็วกว่าการให้แบบ continuous infusion ทำให้ได้รับสารอาหารในปริมาณมากในระยะเวลาสั้น ผู้ป่วยบางรายไม่สามารถทนต่อการให้วิธีนี้ได้ ดังนั้นจึงไม่ควรให้วิธีนี้ในผู้ป่วยที่มีปัญหาความไม่สมดุลของ fluid ผู้ป่วยภาวะไตบกพร่อง หัวใจทำงานผิดปกติ และผู้ที่มีปัญหาเรื่องระดับน้ำตาลในเลือด

ความต้องการสารอาหารและพลังงาน

โปรตีน

โปรตีนที่ให้ทางหลอดเลือดดำ ต้องอยู่ในรูปของ amino acids ในรูป L - form ซึ่งร่างกายนำไปใช้ได้ดีกว่า D - form มีจุดมุ่งหวังหลักเพื่อนำไปสังเคราะห์ สร้างเสริมโปรตีนและเนื้อเยื่อของร่างกาย รวมถึงเพิ่มสมดุลไนโตรเจน มิใช่เพื่อให้พลังงาน แม้ว่าโปรตีน 1 กรัม จะให้พลังงาน 4 kcal ก็ตาม การคำนวณปริมาณ nitrogen ในโปรตีนใช้หลักคิด คือ โปรตีนหรือ amino acids มี nitrogen อยู่ร้อยละ 16 หรือ nitrogen 1 กรัม มีอยู่ในโปรตีน 6.25 กรัม

Amino acid solutions ที่มีใช้ในปัจจุบัน มีความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 15 แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ standard amino acids/ mixed amino acids, high branched-chain amino acids และ high essential amino acids formula การจะเลือกใช้ชนิดใดขึ้นอยู่กับความสภาวะทางคลินิกและความต้องการโปรตีนของผู้ป่วย ปริมาณความต้องการโปรตีนของผู้ป่วย แสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณความต้องการโปรตีนในผู้ใหญ่ (A.S.P.E.N. Board of Directors, 2002; Mirtallo et al., 2004)

Status	Protein requirement
Maintenance	0.8-1 g/kg/day
Catabolic patients	1.2-2 g/kg/day
Chronic renal failure	
Non- dialyzed	0.6-0.8 g/kg/day
Hemodialyzed or peritoneal dialysis	1.2-1.5 g/kg/day
Continuous hemofiltration	1 g/kg/day
Acute renal failure + catabolic	1.5-1.8 g/kg/day

ตารางที่ 3 ปริมาณความต้องการโปรตีนในผู้ป่วยเด็ก (A.S.P.E.N. Board of Directors, 2002; Mirtallo et al., 2004)

	Normal organ function	Critically ill
Preterm neonates	3-4 g/kg/day	3-4 g/kg/day
Full term neonates	2-3 g/kg/day	2.5-3 g/kg/day
Infants (1-12 months)	2-3 g/kg/day	2-3 g/kg/day
Children (>10 kg or 1-10 yrs)	1-2 g/kg/day	2 g/kg/day
Adolescents (11-17 yrs)	0.8-1.5 g/kg/day	1.5-2 g/kg/day

คาร์โบไฮเดรต (ลัดดา, 2536 ข.; สุนทรี, 2546 ข.; โปยม, 2547; A.S.P.E.N. Board of Directors, 2002; Mirtallo et al., 2004)

คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ใน PN ต้องอยู่ในรูปของ monosaccharide อาจเลือกใช้ได้หลายตัว เช่น glucose/dextrose, fructose และกลุ่ม sugar alcohols เช่น sorbitol, glycerol แต่กลุ่มหลังมีข้อจำกัด คือ ถ้าใช้ในปริมาณมากอาจทำให้เกิด lactic acidosis (วิชัย, 2532; ลัดดา, 2536 ข.; ประสงค์, 2545; สุนทรี, 2546 ข.) นอกเสียจากผู้ป่วยจะมีปัญหา glucose intolerance ดังนั้นโดยทั่วไปแหล่งของคาร์โบไฮเดรตหลักจึงเป็นสารละลาย glucose หรือ dextrose monohydrate โดย dextrose 1 กรัมให้พลังงาน 3.4 kcal ร่างกายจะสามารถ oxidize glucose ได้ในอัตราเร็ว 4-7 mg/kg/minute ในผู้ใหญ่ แต่ทารกแรกคลอดสามารถ oxidize และใช้ glucose ได้เร็วกว่าผู้ใหญ่ เพราะมีส่วนสัมพันธ์ของ metabolic active organs ต่อร่างกายทั้งหมดมากกว่าผู้ใหญ่ โดยพบว่าในทารกแรกคลอดที่มีน้ำหนักตัวน้อยมาก ๆ สามารถ oxidize glucose ได้ถึง 12-15 mg/kg/minute (โปยม, 2547) ขนาดและวิธีการให้ glucose ในสารละลาย PN แสดงในตารางที่ 4

Metabolism ของ glucose ต้องอาศัยการทำงานของ insulin ในภาวะที่ร่างกายมีการติดเชื้อหรือบาดเจ็บรุนแรง จะมีกลไกที่มีการหลั่ง stress hormones ได้แก่ glucocorticoid, adrenaline, glucagons ทำให้เกิด gluconeogenesis และขัดขวางการออกฤทธิ์ของ insulin

การได้ glucose ปริมาณมากและมีการทำงานของ insulin ต่ำ ทำให้เกิดปัญหา hyperglycemia เกิดภาวะ glucosuria และ osmotic diuresis เป็นผลให้มีการเสียสมดุลของน้ำและเกลือแร่ และเกิดภาวะ hyperosmolarity ในเลือด มีอาการ hyperosmolar coma และมีเลือดออกในสมองได้ ทารกคลอดก่อนกำหนดมีโอกาสเกิด hyperglycemia (plasma glucose มากกว่า 150

ตารางที่ 4 ขนาดและวิธีการให้ glucose ในสารละลาย PN (A.S.P.E.N. Board of Directors, 2002; ESPGHAN, 2005)

	A.S.P.E.N. Board of Directors	ESPGHAN
Preterm neonates		
Start	6-8 mg/kg/min	4-8 mg/kg/min
Maximum glucose oxidation	10-14 mg/kg/min	8.3 mg/kg/min
Critically ill children	ไม่มีข้อมูล	ไม่เกิน 5 mg/kg/min
Full term neonate-2 yrs	Maximum 10-14 mg/kg/min	Maximum 13 mg/kg/min
Adult	Maximum 5 mg/kg/min	

mg/dL. หรือ whole blood glucose มากกว่า 125 mg/dL.)ได้บ่อยกว่าทารกคลอดครบกำหนด ดังนั้นควรมีการติดตามตรวจน้ำตาลในปัสสาวะ ถ้า urine sugar $\geq 1+$ ควรตรวจระดับน้ำตาลในเลือด ถ้าเกิน 150 มก/ดล ควรปรับลดปริมาณน้ำตาลที่ให้โดยลดความเร็ว หรือความเข้มข้นลง หากยังมีภาวะ hyperglycemia อยู่ขณะที่ปรับลดปริมาณที่ให้ลงแล้ว และพลังงานที่ให้ต่ำกว่า BMR อาจพิจารณาให้ insulin ขนาด 0.01-0.1 unit/kg/hour หยดให้แบบต่อเนื่อง (A.S.P.E.N. Board of Directors, 2002) แล้วติดตามผลต่อไป แม้จะยังไม่มีข้อตกลงที่แน่ชัดถึงระดับน้ำตาลในเลือดที่ควรจะเป็น แต่โดยทั่วไปจะถือหลักว่าควรควบคุมให้อยู่ในช่วง 100-150 mg/dL. (A.S.P.E.N. Board of Directors, 2002; Mirtallo et al., 2004)

หลักการทั่วไปในการให้ insulin (ใช้ได้เฉพาะ regular human insulin ซึ่งสามารถผสมเข้ากันได้กับสารละลาย PN) คือ เริ่มต้นด้วย 0.1 units ต่อ 1 กรัมของ dextrose ในสารละลาย PN หากยังมีภาวะ hyperglycemia ให้เพิ่มเป็น 0.15 units ต่อ 1 กรัม dextrose (Mirtallo et al., 2004) โดยเติมในสารละลาย PN หรือแยกให้ต่างหากก็ได้ และเนื่องจาก insulin ถูก adsorb โดยแก้วพลาสติก และสาย catheter ได้ ดังนั้นหากเติมใน PN ควรเติมอย่างน้อย 10 U (ปรีชา นิมิตรพงษ์พันธ์, 2536; Ray, 1993)

ไขมัน (ปรีชา, 2536; สุนทร, 2546 ข.; โปยม, 2547; Mattox, 2002)

ไขมันที่ให้ทางหลอดเลือดดำอยู่ในรูปของ Lipid emulsion มีชนิดเข้มข้น 10% และ 20% ในผู้ป่วยเด็กควรใช้ชนิด 20% เนื่องจากทำให้ได้รับ phospholipids น้อยกว่าชนิด 10% ซึ่ง phospholipids มีผลยับยั้งเอนไซม์ lipoprotein lipase ทำให้เกิดภาวะไขมันในเลือดสูงได้

Lipid emulsion ประกอบด้วย triglyceride (TG) ซึ่งส่วนใหญ่มาจาก soybean oil มี phospholipids เป็น emulsifier และ glycerol เป็นตัวปรับ isotonic ดังนั้นแม้ lipid 1 กรัม จะให้พลังงาน 9 kcal แต่ lipid emulsion มี glycerol และ phospholipids ซึ่งให้พลังงานด้วย ดังนั้น 1 กรัม ของ 10 % Lipid emulsion ให้พลังงานเท่ากับ 11 kcal หรือ 1.1 kcal/ml และ 1 กรัม ของ 20 % Lipid emulsion ให้พลังงานเท่ากับ 10 kcal หรือ 2 kcal/ml

นอกจาก lipid จะให้พลังงานแล้วยังเป็นแหล่งของ essential fatty acid คือ linoleic acid และ linolenic acid ซึ่งเป็น polyunsaturated long chain fatty acid (LCFA) ใน soybean oil มี linoleic acid ประมาณ 50-60% และมี linolenic acid ประมาณ 4-11% การป้องกันการขาด essential fatty acid (EFA) ทำได้โดยให้ linoleic acid อย่างน้อย 2-4% และให้ alpha linolenic acid อย่างน้อย 0.25-0.5% ของ total calories intake ดังข้อแนะนำในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อแนะนำในการให้ไขมันทางหลอดเลือด (A.S.P.E.N. Board of Directors, 2002; ESPGHAN, 2005)

Prevent EFAD

Preterm infant	Minimum 0.25 g/kg/day of linoleic acid
Term infant & children	Minimum 0.1 g/kg/day of linoleic acid

Lipid intake

Infants	Maximum 3-4 g/kg/day (0.13-0.17 g/kg/hour)
Children	Maximum 2-3 g/kg/day (0.08-0.13 g/kg/hour)
Adult	Maximum 2.5 g/kg/day

Metabolism ของ TG จะถูกย่อยได้เป็น free fatty acid (FFA) และ glycerol ถ้าให้ไขมันเร็วหรือมากเกินไป ทำให้เกิดภาวะ Lipid intolerance มี hypertriglyceridemia ร่างกายต้องกำจัด

ออกโดย reticuloendothelium (RE) ทำให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะที่มี RE-cell ได้แก่ ตับ ไชกระดูก ม้าม ปอด และกลไกการต้านทานโรค

การให้ heparin 1 unit ต่อ PN solution 1 ml ร่วมด้วยจะกระตุ้น endothelial lipoprotein lipase ทำให้ร่างกายจัดไขมันได้ดีขึ้นและช่วยป้องกันการอุดตันในสาย catheter (Mattox, 2002)

Lipid emulsion มี caloric density สูงแต่ osmolarity ต่ำ ดังนั้นสามารถให้ได้ทั้งทาง peripheral vein และ central vein

เกลือแร่

เป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงาน แต่จำเป็นต่อเมตาบอลิซึมของร่างกาย ตารางที่ 6 และ 7 แสดงปริมาณความต้องการเกลือแร่

ตารางที่ 6 ปริมาณความต้องการเกลือแร่ในสารละลาย PN สำหรับผู้ใหญ่ (Mirtallo et al., 2004)

Electrolytes	Standard Requirement
Calcium	10-15 mEq/day
Magnesium	8-20 mEq/day
Phosphorus	20-40 mmole/day
Sodium	1-2 mEq/kg/day
Potassium	1-2 mEq/kg/day
Acetate	As needed to maintain acid-base balance
Chloride	As needed to maintain acid-base balance

ตารางที่ 7 ปริมาณความต้องการเกลือแร่ในสารละลาย PN สำหรับเด็ก (Mitrallo et al., 2004)

Electrolyte	Preterm neonate	Infants/children	Adolescents
			and children > 50 kg
Sodium	2-5 mEq/kg	2-5 mEq/kg	1-2 mEq/kg
Potassium	2-4 mEq/kg	2-4 mEq/kg	1-2 mEq/kg
Calcium	2-4 mEq/kg	0.5-4 mEq/kg	10-20 mEq/day
Phosphorus	1-2 mmol/kg	0.5-2 mmol/kg	10-40 mmol/day
Magnesium	0.3-0.5 mEq/kg	0.3-0.5 mEq/kg	10-30 mEq/day
Acetate	As needed to maintain acid-base balance	As needed to maintain acid-base balance	As needed to maintain acid-base balance
Chloride	As needed to maintain acid-base balance	As needed to maintain acid-base balance	As needed to maintain acid-base balance

วิตามิน

เป็นสารอาหารที่จำเป็นและร่างกายสร้างไม่ได้ ร่างกายจะสามารถนำสารอาหารหลักคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ไปใช้ได้ต้องมีประสิทธิภาพต้องอาศัยวิตามินทุกชนิด ทั้งชนิดที่ละลายในไขมันและวิตามินที่ละลายในน้ำ ดังนั้นควรเติมวิตามินในสารละลาย PN ตั้งแต่วันแรกที่เริ่มให้สารอาหารทางหลอดเลือดแก่ผู้ป่วย ตารางที่ 8 และ 9 แสดงปริมาณความต้องการและส่วนประกอบของวิตามินที่มีขายในประเทศ

ตารางที่ 8 ปริมาณความต้องการวิตามินทางหลอดเลือดในผู้ใหญ่ และ ผลิตภัณฑ์

Vitamins	Unit	Recommendation		Preparations		
		A.S.P.E.N. 2002	Mirtallo et al., 2004	OMVI (4 ml)	Vitalipid adult (10ml) + Soluvit N (10 ml)	Cernevit (5 ml)
B ₁	mg	3	6	3	3	3.5
B ₂	mg	3.6	3.6	3.6	3.6	4.1
B ₃	mg	40	40	40	40	46
Folic acid	mcg	400	600	400	400	414
Pantothenate	mg	15	15	15	15	17.25
B ₆	mg	4	6	4	4	4.5
Biotin	mcg	60	60	60	60	69
B ₁₂	mcg	5	5	5	5	6
C	mg	100	200	100	100	125
A	IU	3300	3300	3300	3300	3500
D	IU	200	200	200	200	220
E	IU	10	10	10	10	11.2
K	mcg	1000	150	2000	2000	-

ตารางที่ 9 ปริมาณความต้องการวิตามินทางหลอดเลือดในเด็ก และ ผลิตภัณฑ์

Vitamins	Unit	A.S.P.E.N. 2002 Recommendation			Preparation
		Preterm dose/kg/day (max: infant dose)	Infants – 11 years (dose/day)	>11 years (dose/ day)	Vitalipid Infant (10 ml) + Soluvit N (10 ml)
B ₁	mg	0.35	1.2	3	2.5
B ₂	mg	0.15	1.4	3.6	3.6
B ₃	mg	6.8	17	40	40
Folic acid	mcg	56	140	400	400
Pantothenate	mg	2	5	15	15
B ₆	mg	0.18	1	4	4
B ₁₂	mcg	0.3	1	5	5
Biotin	mcg	6	20	60	60
C	mg	25	80	100	100
A	IU	1650	2300	3300	2300
D	IU	160	400	200	400
E	IU	2.8	7	10	7
K	mcg	80	200	1000	200

Trace elements

เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นแต่ต้องการในปริมาณน้อย ตารางที่ 10 และ 11 แสดงปริมาณความต้องการ Trace element ในการให้อาหารทางหลอดเลือด

ตารางที่ 10 ปริมาณความต้องการ Trace elements ใน PN สำหรับผู้ใหญ่ (Mirtallo et al., 2004)

Trace element	Standard Requirement
Chromium	10-15 mcg
Copper	0.3-0.5 mg
Iron	Not routinely added
Manganese	60-100 mcg
Selenium	20-60 mcg
Zinc	2.5-5 mg

ตารางที่ 11 ปริมาณความต้องการ Trace elements ใน PN สำหรับเด็ก (Mirtallo et al., 2004)

Trace element	Preterm	Term neonates	Children	Adolescents
	Neonates < 3 kg (mcg/kg/day)	3-10 kg (mcg/kg/day)	10-40 kg (mcg/kg/day)	> 40 kg (per day)
Zinc	400	50-250	50-125	2-5 mg
Copper	20	20	5-20	200-500 mcg
Manganese	1	1	1	40-100 mcg
Chromium	0.05-0.2	0.2	0.14-0.2	5-15 mcg
Selenium	1.5-2	2	1-2	40-60 mcg

ความต้องการน้ำ

ความต้องการน้ำในผู้ป่วยผู้ใหญ่ (โพยม, 2547)

โดยทั่วไปประมาณ 30 ml/kg หรือ คำนวณจากพลังงานที่ต้องการ คือ 1 ml/kcal และคิดเพิ่มสำหรับผู้ป่วยที่มีการสูญเสีย น้ำ เช่น ไข้สูง เหงื่อออกมาก มี metabolism เพิ่มขึ้นหรือมี gastrointestinal loss (เช่น อาเจียน ท้องเสีย high output fistula) ส่วนผู้ป่วยที่มีภาวะ renal failure, congestive heart failure หรือมีภาวะบวม ก็จะต้องลดปริมาณน้ำลง

ความต้องการน้ำในผู้ป่วยเด็ก

ความต้องการน้ำของเด็กมีมากกว่าในผู้ใหญ่ ความต้องการน้ำในแต่ละวัน แสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ปริมาณความต้องการน้ำในผู้ป่วยเด็ก (Mitrallo et al, 2004)

Body weight	Amount
< 1500 g	130-150 mL/kg
1500-2000 g	110-130 mL/kg
2-10 kg	100 mL/kg
>10-20 kg	1000 mL for 10 kg + 50 mL/kg for each kg >10
>20 kg	1500 mL for 20 kg + 20 mL/kg for each kg >20

ความต้องการพลังงาน (ประสงค์, 2545; โปยม, 2547)

ความต้องการพลังงานในผู้ใหญ่ มีวิธีคิดหลายวิธี เช่น

1. Population estimation

เป็นประมาณการจากค่าความต้องการพลังงาน ของประชากร ใช้ในการคำนวณความต้องการทั้งหมดของผู้ใหญ่ เป็นการประมาณคร่าว ๆ โดยไม่คำนึงถึง เพศ อายุ ดังแสดงในตารางที่ 13

2. Harris-Benedict equation (สวนิต, 2536; โปยม, 2547)

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในผู้ใหญ่ (ไม่ใช้ในเด็กอายุต่ำกว่า 6 ปี) สูตรนี้จะได้ค่ามากกว่า BMR ประมาณ 10% สูตรมีดังนี้

$$\text{BEE (ผู้หญิง)} = 655 + 9.6 W + 1.8 H - 4.7 A$$

$$\text{BEE (ผู้ชาย)} = 66 + 13.7 (\text{น้ำหนักตัว}) + 5 (\text{ความสูง}) - 6.8 (\text{อายุ})$$

W = น้ำหนักเป็นกิโลกรัม H = ความสูงเป็นเซนติเมตร A = อายุเป็นปี

ความต้องการพลังงานทั้งหมด (Total energy expenditure; TEE) คำนวณได้ดังนี้

$$\text{TEE} = \text{BEE} \times \text{Activity factor} \times \text{Stress factor}$$

โดย Activity factor สำหรับผู้ป่วยใช้เครื่องช่วยหายใจ = 0.7-0.9

ผู้ป่วยที่นอนอยู่เฉพาะบนเตียง = 1.2

ผู้ป่วยที่เดินไปมาได้ = 1.3

ส่วน Stress factor แสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 13 การประมาณ TEE ในสภาวะต่าง ๆ (โพยม, 2547)

สภาวะ	TEE (kcal/kg/day)
Healthy, normal nutrition status	25
Malnourished or mildly metabolically stressed	30
Critically ill, hypermetabolice	30-35
Major burn injury, severe trauma	40

หรือ

สภาวะ	TEE (kcal/kg/day)
Maintenance	25-30
Moderate stress (Elective surgery, peritonitis, soft tissue trauma)	30-40
Severe stress (Extensive burns, multiple long bone fractures, closed head injury, major sepsis, multiple trauma, multiple organ failure)	40-50

หรือ

สภาวะ	TEE (kcal/kg/day)
Ambulatory with weight maintenance	25-30
Malnutrition with mild stress	34-35
Severe injuries or sepsis	45-60

ตารางที่ 14 แสดง Stress factor ในผู้ป่วยสภาวะต่าง ๆ

สภาวะ	Stress factors
Fever (เพิ่มขึ้น 13% ต่อ 1 องศาเซลเซียส)	1.13
Mild starvation	0.85-1.00
Mild operation	1.20
Postoperative	1.00-1.05
Cancer	1.1-1.45
Soft tissue trauma	1.00-1.30
Peritonitis	1.05-1.25
Long bone fracture	1.15-1.30
Mild infection	1.00-1.20
Moderate infection	1.20-1.40
Severe infection and/or multiple trauma	1.30-1.55
Burns (10-30% body surface)	1.50
Burns (30-50% body surface)	1.75
Burns (> 50% body surface)	2.00
Weight gain	1.10

ความต้องการพลังงานในเด็ก

1. การคำนวณจากสูตร Holliday –Segar

10 กิโลกรัมแรก = 100 kcal/kg/day

10 กิโลกรัมถัดมา = 50 kcal/kg/day

น้ำหนักที่เหลือ = 20 kcal/kg/day

2. การประมาณค่าจาก guideline ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณความต้องการพลังงาน (total kcal/kg) ในผู้ป่วยเด็ก (Mirtallo et al., 2004)

Preterm neonates	90-120 kcal/kg
<6 months	85-105 kcal/kg
6-12 months	80-100 kcal/kg
1-7 yrs	75-90 kcal/kg
7-12 yrs	50-75 kcal/kg
>12-18 yrs	30-50 kcal/kg

การติดตามผลการให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำ (PN monitoring)

การให้ PN ต้องมีการติดตามผล เพื่อประเมินภาวะโภชนาการว่าการให้โภชนาการได้ผลดีหรือไม่ และ เพื่อระวังป้องกันปัญหาแทรกซ้อน สำหรับแนวทางในการติดตามผลจะมีความหลากหลายในแต่ละสถานที่ ขึ้นกับความพร้อมของห้องปฏิบัติการแต่ละแห่ง และตำราแต่ละเล่มยังมีการกำหนดแนวทางการติดตามแตกต่างกันออกไป (ลัดดา, 2536 ข.; ประสงค์, 2545; Ray, 1993) ตัวอย่างแนวทางในการติดตามผลแสดงในตารางที่ 16 และ ตารางที่ 17

ตารางที่ 16 แนวทางในการติดตามผลการให้ PN ในผู้ป่วยผู้ใหญ่

Parameter	รพ.สงขลานครินทร์	Holcombe, 1995
Anthropometric		
Weight	Daily in the first wk then weekly	Daily
Metabolic (blood or plasma)		
Electrolytes	Daily for 3 days, then weekly	Daily
Glucose	Daily for 3 days, then weekly	Daily
BUN/ Creatinine	Weekly	Daily
Calcium/phosphorus	Weekly	2-3 times a week
Magnesium	Weekly	2-3 times a week
Triglyceride	Weekly	Weekly
Albumin/total protein	Weekly	Weekly
Liver function test	Weekly	Weekly
Hgb/Hct	Weekly	2-3 times a week
Platelets, PT, PTT	Weekly	2-3 times a week
WBC count and differential	Weekly	2-3 times a week
Copper/Zinc	Weekly	
Urine		
Glucose	Weekly	Weekly
Ketones	Weekly	-
Specific gravity	Weekly	-
Urea nitrogen	Weekly	Weekly
Clinical observation		
Intake and output	Daily	Daily
Catheter site/dressing	Daily	-

ตารางที่ 17 แนวทางในการติดตามผลการให้ PN ในผู้ป่วยเด็ก
(ดัดแปลงจาก Price, 2000)

Parameter	Initial	Daily	Weekly	As needed
Anthropometric				
Weight	✓	✓		
Height	✓		✓*	
Head circumference	✓		✓*	
Metabolic (blood or plasma)				
Sodium/potassium/chloride	✓		✓+	
Bicarbonate	✓		✓+	
Glucose	✓		✓+	
BUN/creatinine	✓		✓+	
Calcium/phosphorus	✓		✓+	
Magnesium	✓		✓	
Triglyceride	✓		✓#	
Albumin/total protein	✓		✓	
Liver function test (incl SGPT & alk phos)	✓		✓	
Bilirubin (total and direct)	✓		✓	
Hgb/Hct	✓		✓	
Platelets, PT, PTT	✓			✓
WBC count and differential				✓
Prealbumin				✓
Copper/Zinc				✓
Iron studies				✓
Ammonia				✓
Vitamin E				✓

ตารางที่ 17 (ต่อ)

Parameter	Initial	Daily	Weekly	As needed
pH				✓
Cultures				✓
Urine				
Glucose	✓	✓		✓
Ketones	✓	✓		✓
<p>* Until 3 mos corrected age, then monthly thereafter</p> <p>† Daily until stable, then twice weekly</p> <p># Initially and before each I.V. lipid increase. Once I.V. lipids are maximized, weekly determinations are adequate. If an infant becomes septic, a triglyceride level should be assessed, since lipid intolerance is often present during sepsis.</p>				

การหยุดให้สารอาหารทางหลอดเลือดดำ

เมื่อผู้ป่วยพร้อมที่จะรับอาหารทางระบบทางเดินอาหาร ต้องค่อย ๆ ลดปริมาณอาหารที่ให้ทางหลอดเลือด ไม่ควรหยุดให้ PN ในทันทีทันใด โดยเฉพาะสูตรที่มีความเข้มข้นสูง ๆ เพราะจะทำให้ผู้ป่วยเกิด hypoglycemia ได้ ดังนั้นในช่วง 30-60 นาทีสุดท้ายของการให้ PN ให้ค่อย ๆ ลด infusion rate ลง 50% ในทุก ๆ 15-30 นาที หรือหากเกิดปัญหาต้องหยุดการให้กะทันหัน ก็จะต้องให้ 10% dextrose solution แทนและติดตามภาวะ hypoglycemia ทุก 30 นาทีในวันแรกของการหยุดให้ (Lee and Werlin, 1997)

ผู้ป่วยที่ได้รับ Total PN และจะเปลี่ยนไปให้ทาง enteral nutrition จะต้องค่อย ๆ ทำเพื่อให้ทางเดินอาหารค่อย ๆ ปรับตัว โดยค่อย ๆ ลดอัตราเร็วในการให้ PN และค่อย ๆ เพิ่มอัตราเร็วหรือปริมาณของ enteral nutrition และสามารถหยุดให้ PN เมื่อรับ enteral nutrition ประมาณ 2 ใน 3 ของพลังงานทั้งหมดที่ผู้ป่วยต้องการ และหากผู้ป่วยรับประทานอาหารทางปากได้ก็ให้ผู้ป่วยรับประทานอาหารทางปากแทน (Ray, 1993)

ภาวะแทรกซ้อน และการป้องกัน/แก้ไข (สุนทรี, 2546 ข.; โปยม, 2547; Mattox, 2002)

แม้ว่าการให้อาหารทางหลอดเลือดจะเป็นการรักษาที่ให้ผลดี เป็นการรักษาที่สามารถช่วยชีวิต (Life-saving therapy) ผู้ป่วยต่าง ๆ ที่ในอดีตไม่สามารถรักษาได้ให้หายเป็นปกติได้มากมาย แต่การให้อาหารทางหลอดเลือดเป็นการรักษาที่ยุ่งยาก กระบวนการซับซ้อน ใช้เวลาในการบริหารจัดการค่อนข้างมาก ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากสารอาหารแต่ละชนิดมีราคาแพง และทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนได้ง่าย หากใช้อย่างไม่ระมัดระวังซึ่งอาจรุนแรงถึงแก่ชีวิตของผู้ป่วยได้ จึงต้องใช้วิจารณญาณที่ดีในการพิจารณาใช้ ทั้งในแง่การเลือกผู้ป่วย และการเลือกใช้สารอาหารด้วยความรู้ความเข้าใจอย่างถ่องแท้(พิภพ, 2538; อูมาพร และ ไกรสิทธิ์, 2532)

ภาวะแทรกซ้อนของการให้อาหารทางหลอดเลือดอาจพบได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับสถานะผิดปกติที่ผู้ป่วยมีอยู่เดิม การดูแลของทีมรักษาและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ภาวะแทรกซ้อนทาง mechanical ที่เกี่ยวกับสายสวนหรือการแทงหลอดเลือด (Mechanical complications) ภาวะแทรกซ้อนจากการติดเชื้อ (Infectious complications) และภาวะแทรกซ้อนทางเมตาบอลิก (Metabolic complications)

Mechanical complications

Mechanical complications เป็นภาวะแทรกซ้อนที่เกี่ยวกับสายสวนหรือการแทงหลอดเลือด เช่น สายสวนอุดตัน สายสวนเลื่อนหลุด สายสวนแทงทะลุหลอดเลือดและเข้าสู่อวัยวะข้างเคียง การเกิด thrombosis และ thromboembolism ทั้งนี้การอุดตันของสายสวนเป็นปัญหาที่พบบ่อยมากที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากปัญหาของตัวสายสวนเอง อัตราการไหลของสารละลายต่ำ มีการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟต มี lipid เกาะติดอยู่ในสายสวน หรือมีการตกตะกอนของยาในกรณีที่ให้ยาในสายเดียวกับ PN ป้องกันโดยทำตามคำแนะนำในการดูแลสายสวนอย่างเคร่งครัด โดยการดูแลให้อัตราการไหลของสารละลายสม่ำเสมอไม่ขาดตอน ระวังไม่ให้มีการเลื่อนของสายสวนระหว่างการทำความสะอาดหรือให้การพยาบาลผู้ป่วย ไม่ให้ยาในสายเดียวกับ PN และป้องกัน thrombosis โดยการเติม heparin ในสารละลาย

Infectious complications

Infectious complications เป็นภาวะแทรกซ้อนจากการให้ PN ที่สำคัญที่สุดและอาจทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตได้ การมีทีมดูแลสายให้อาหารทางหลอดเลือดที่ได้รับการอบรมอย่างถูกต้อง เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการลดอัตราการเกิด catheter sepsis

การป้องกันทำได้โดยใช้เทคนิคปราศจากเชื้ออย่างเคร่งครัด ทั้งในขั้นตอนการผสม PN และการดูแลสายสวน รวมทั้งการเปลี่ยนขวดและสายน้ำเกลือทุกวัน สารละลายที่ผสมขึ้นแล้ว ใช้ให้หมดภายใน 24 ชั่วโมง ไม่เติมสารละลายหรือยาอื่นเข้าไปในสารละลายอีกภายหลังที่ได้ผสมโดยวิธีปราศจากเชื้อแล้ว การใช้ bacterial filter จะช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้

Metabolic complications

Metabolic complications ที่เกิดจาก PN เป็นภาวะแทรกซ้อนที่สัมพันธ์กับสูตรอาหารที่ผู้ป่วยได้รับ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) substrate intolerance 2) ความไม่สมดุลของ fluids และ electrolytes 3) ความไม่สมดุลของภาวะกรด-ด่าง

PN มีราคาแพง และหากเตรียมเสร็จแล้ว ผู้ป่วยนำไปใช้ไม่ได้เนื่องจากสูตรไม่เหมาะสมกับสถานะของผู้ป่วย จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก แต่หากนำไปใช้ทั้งที่ไม่เหมาะสมกับสถานะผู้ป่วยในขณะนั้น ก็จะทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนทางเมตะบอลิกได้ ซึ่งเป็นอันตรายกับผู้ป่วย จากการศึกษาโดย Wongpoovarak และคณะ (1999) พบว่าเภสัชกรสามารถช่วยลดปัญหาด้าน metabolic complications ได้ โดยก่อนการเตรียมสารละลาย PN ควรพิจารณาสถานะของผู้ป่วยโดยการร่วมดูแลผู้ป่วย และทบทวนผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับ PN หากพบปัญหาว่าสถานะของผู้ป่วยไม่เหมาะสมกับสูตรอาหารที่แพทย์สั่ง เภสัชกรควรหารือแพทย์และปรับสูตรให้เหมาะสม เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับสูตรอาหารที่เหมาะสมมากที่สุด และเพื่อลดการสูญเสีย PN จากการเตรียมแล้วนำไปใช้ไม่ได้

ปัญหาแทรกซ้อนทางด้านเมตะบอลิก สาเหตุและแนวทางแก้ไข/ ป้องกัน แสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดง PN-related Metabolic complication สาเหตุและแนวทางแก้ไข/ป้องกัน

ภาวะแทรกซ้อน	สาเหตุ	แนวทางแก้ไข / ป้องกัน
1. จากคาร์โบไฮเดรต		
1.1 Hyperglycemia	<ul style="list-style-type: none"> - ได้รับกลูโคสมากเกินไป - อัตราการให้เร็วเกินไป - ได้รับ glucocorticoids ร่วมด้วย - มีภาวะติดเชื้อ, stress - มี endogenous insulin ไม่พอ 	<ul style="list-style-type: none"> - ลดความเข้มข้นของกลูโคส - ลดอัตราการให้ - เติม insulin
1.2 Hypoglycemia	<ul style="list-style-type: none"> - หยุดให้เร็วเกินไป - เกิดความขัดข้องในการให้ 	<ul style="list-style-type: none"> - ค่อย ๆ ลดอัตราการให้ก่อนหยุด - ให้ 10% dextrose solution หากต้องหยุดให้ PN กระทั่งหน้า
1.3 Hyperosmolar hyperglycemic nonketotic coma	<ul style="list-style-type: none"> - ได้รับกลูโคสมากเกินไป ทำให้เกิด hyperglycemia, glucosuria, osmotic diuresis, และ dehydrate 	<ul style="list-style-type: none"> - ลดอัตราการให้ - ให้ NSS หรือ ½ NSS - ให้ insulin
1.4 Excess carbondioxide production	<ul style="list-style-type: none"> - ได้รับกลูโคสมากเกินไป 	<ul style="list-style-type: none"> - ลดปริมาณที่ได้รับ - ปรับให้พลังงานที่ได้จากไขมันและคาร์โบไฮเดรตมีความสมดุลกัน

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ภาวะแทรกซ้อน	สาเหตุ	แนวทางแก้ไข / ป้องกัน
2. จากกรดอะมิโน		
2.1 Hyperchloremic acidosis	- ให้สารละลายกรดอะมิโน ที่มี HCl มาก	- เลือกสูตรที่มี acetate เพิ่มขึ้น หรือสูตรที่ไม่มี/มีคลอไรด์น้อย
2.2 Hyperammonemia	- ได้รับสารละลายที่ไม่มี/มี arginine น้อย	- เลือกสูตรที่เหมาะสม - ลดปริมาณกรดอะมิโน
2.3 Pre-renal azotemia	- ได้รับกรดอะมิโน มากเกินไป	- ลดปริมาณกรดอะมิโน
3. จากไขมัน		
3.1 Hypertriglyceridemia (Serum TG > 200 mg%)	- ได้รับไขมันมากเกินไป - มี stress, ภาวะติดเชื้อ - ทารกเกิดก่อนกำหนด	- ลดการให้ไขมัน
3.2 Hyperbilirubinemia	- จากการแทนที่ bilirubin ที่จับกับ albumin ด้วยกรดไขมันอิสระ	- หาก bilirubin สูงเกินระดับ physiologic สำหรับทารกแรกเกิด ควรให้ไขมันเพียง 0.5 กรัม/กก/วัน เพื่อป้องกันการขาดกรดไขมันจำเป็น
3.3 EFA deficiency	- ให้ fat-free PN เป็นระยะเวลานาน	- ให้ linoleic acid อย่างน้อย 2% ของพลังงานทั้งหมดที่ต้องการ (เท่ากับ IVFE 0.5 กรัม/กก/วัน)
4. ภาวะ electrolytes ในซีรัม สูง/ต่ำ	- ได้รับมากเกินไป/ไม่เพียงพอ	- ปรับการให้ตามค่าในซีรัมที่ตรวจได้

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ภาวะแทรกซ้อน	สาเหตุ	แนวทางแก้ไข / ป้องกัน
5. ภาวะ Acid-base disorders		
5.1 Metabolic acidosis	<ul style="list-style-type: none"> - มีการสูญเสีย bicarbonate ทางไตหรือทางระบบทางเดินอาหาร - ร่างกายขับกรดลดลง - ได้รับ PN ที่ไม่มี/มี acetate น้อย - ได้รับ PN ที่มี HCl มาก 	<ul style="list-style-type: none"> - ให้ bicarbonate ทาง peripheral intravenous line - เพิ่ม acetate หรือลด chloride ใน PN solution
5.2 Metabolic alkalosis	<ul style="list-style-type: none"> - มีการสูญเสีย chloride จากทางเดินอาหารจากการอาเจียน - ได้รับยาบางชนิด เช่น loop diuretic 	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่ม chloride หรือ ลด acetate ใน PN solution
6. ความผิดปกติอื่น ๆ		
6.1 Cholestasis	<ul style="list-style-type: none"> - ทารกเกิดก่อนกำหนด - ติดเชื้อ - ได้รับพลังงานมากเกินไป - ไม่ได้รับอาหารทางระบบทางเดินอาหาร 	<ul style="list-style-type: none"> - ลดการให้พลังงานทั้งจากกลูโคสและไขมันลง - ให้อาหารทางระบบทางเดินอาหาร แม้เพียงเล็กน้อยก็จะลดปัญหาได้
6.2 ขาดสังกะสี	<ul style="list-style-type: none"> - ได้รับ PN นาน และไม่ได้รับการเสริมสังกะสี - ได้รับไม่เพียงพอ - มีการสูญเสียทางลำไส้จาก diarrhea หรือ fistulae 	<ul style="list-style-type: none"> - เสริมสังกะสีในขนาดที่แนะนำ
6.3 ขาดทองแดง	<ul style="list-style-type: none"> - ได้รับ PN นาน และไม่ได้รับการเสริมทองแดง 	<ul style="list-style-type: none"> - เสริมทองแดงในขนาดที่แนะนำ

ที่มา: ปรีชา, 2536; ลัดดา, 2536 ข.; โปยม, 2547; Mattox, 2002.

ปัญหาการตกตะกอนของแคลเซียมและฟอสเฟต

การตกตะกอนของแคลเซียมและฟอสเฟตในสูตรสารอาหารให้ทางหลอดเลือดดำ เป็นปัญหาที่สำคัญมากปัญหาหนึ่งของการเตรียมและให้ PN เนื่องจากตะกอนอาจทำให้เกิดการอุดตันของสายสวนหลอดเลือดและปลายหลอดเลือดฝอยต่าง ๆ ซึ่งเป็นอันตรายและอาจรุนแรงถึงขั้นผู้ป่วยเสียชีวิตได้ (Robinson and Wright, 1982; Breaux et al, 1987; Knowles et al, 1989; McKinnon, 1996; Shay et al, 1997) ปัญหาจะพบมากในผู้ป่วยเด็กและทารก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทารกคลอดก่อนกำหนด ซึ่งต้องการเกลือแร่ทั้งสองในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับผู้ป่วยในกลุ่มอื่น

มีรายงานผู้ป่วยที่ได้รับ PN และพบปัญหาเกิดการอุดตันของสายสวนหลอดเลือดต่าง ๆ ที่ไม่พบว่ามีตะกอนในสารละลายแต่อย่างใด เหตุที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะว่าอุณหภูมิร่างกายสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการละลายของแคลเซียมและฟอสเฟตจะลดลง ทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟตในร่างกายผู้ป่วยในภายหลัง (Robinson and Wright, 1982) นอกจากนี้ยังมีรายงานผู้ป่วยเกิดภาวะหายใจลำบาก (respiratory distress) และเสียชีวิตแบบปัจจุบันทันด่วน (sudden death) จากการผ่าพิสูจน์พบว่าสาเหตุมาจากตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งอุดตันในหลอดเลือดฝอยปอด โดยสารละลาย PN ที่ผู้ป่วยได้รับเป็นแบบ All-in-one/Three-in-one ซึ่งประกอบด้วยสารอาหารหลัก 3 ชนิด คือ กลูโคส กรดอะมิโน และไขมันในภาชนะบรรจุเดียวกัน ลักษณะสารละลายเป็นสีขาวขุ่นซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการตรวจสอบตะกอน ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น ซึ่งองค์การอาหารและยาสหรัฐอเมริกาได้ประกาศเตือนให้ระมัดระวังถึงอันตรายของการให้ PN solution ชนิด All-in-one/Three-in-one (Food and Drug Administration, 1994; Hill et al., 1996; McKinnon, 1996; Shay et al., 1997)

การเกิดตะกอนของแคลเซียมและฟอสเฟตขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ชนิดและความเข้มข้นของกรดอะมิโน ความเข้มข้นและอัตราส่วนของแคลเซียมและฟอสเฟต ลำดับชั้นของการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ ลงในสารละลาย อุณหภูมิของสถานะแวดล้อม และรูปแบบของเกลือแคลเซียมและฟอสเฟตที่ใช้ (Eggert et al, 1982; Niemiec and Vanderveen, 1984; Fitzgerald and MacKay, 1986; Fitzgerald and MacKay, 1987)

กลยุทธ์ที่สำคัญสำหรับการป้องกันและแก้ปัญหการเกิดตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟตได้แก่

- 1) การใช้สารละลาย monobasic phosphate แทนสารละลาย dibasic phosphate ในการผสม PN
- 2) การเติม Cysteine hydrochloride ในสารละลาย

- 3) การตรวจสอบปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตที่จะเติมได้โดยไม่เกิดปัญหาการตกตะกอน โดยใช้ Calcium-Phosphate precipitation curve
- 4) การใช้ Empirical function for Calcium-Phosphate precipitation curve

การใช้สารละลาย monobasic phosphate

Monobasic calcium phosphate ละลายน้ำได้ดีกว่า dibasic calcium phosphate ประมาณ 60 เท่า (Driscoll et al., 1994) ดังนั้นหากใช้ monobasic potassium phosphate แทนการใช้ dibasic potassium phosphate จะสามารถเติมแคลเซียมและฟอสเฟตได้ในปริมาณที่มากขึ้น โดยไม่พบว่าเกิดปัญหาด้าน metabolic acidosis ในผู้ป่วยเด็กคลอดก่อนกำหนดแต่อย่างใด (Chessex et al, 1990; MacMahon et al, 1990)

การเติม Cysteine hydrochloride

การเติม cysteine hydrochloride ในสารละลาย PN จะช่วยเพิ่มการละลายของแคลเซียมและฟอสเฟต ทำให้สามารถเติมแคลเซียมและฟอสเฟตได้ในปริมาณที่มากขึ้น จากรายงานพบว่า cysteine hydrochloride ทำให้ pH ของสารละลายลดต่ำลงจาก 5.5 เป็น 5.1 และที่น่าสนใจ คือ ผู้ป่วยเด็กแรกเกิดที่ได้รับ PN ที่มีการเติม cysteine hydrochloride นั้นมีระดับของ total carbon dioxide ต่ำกว่าผู้ป่วยที่ได้รับ PN ที่ไม่ได้เติม cysteine hydrochloride (Laine et al, 1991)

การตรวจสอบ Calcium-Phosphate precipitation curve

Calcium-Phosphate precipitation curve เป็นกราฟแสดงค่าอัตราส่วนสูงสุดของแคลเซียมและฟอสเฟตที่สามารถละลายได้ใน PN solution ซึ่งมีกรดอะมิโนปริมาณต่าง ๆ กัน จุดใด ๆ ที่ตกบนเส้นกราฟแสดงถึงความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถละลายได้ ส่วนจุดใด ๆ ที่ตกทางด้านขวาของเส้นกราฟ บ่งบอกถึงสภาวะการตกตะกอน

Calcium-Phosphate precipitation curve เป็นกราฟที่มีลักษณะเฉพาะกับผลิตภัณฑ์สารละลายกรดอะมิโนแต่ละชนิด ซึ่งจะนำไปใช้ทำนายการตกตะกอนในกรดอะมิโนชนิดอื่นไม่ได้ Calcium-Phosphate precipitation curve ในกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ เท่าที่มีผู้ศึกษาไว้ คือ Aminosyn, Fremine III (Eggert et al, 1982), TrophAmine (Fitzgerald and MacKay, 1986; Lenz and Mikrut,

1988), Aminosyn PF and TrophAmine (Fitzgerald and MacKay, 1987; Lenz & Mikrut, 1988), Aminoplasmal-paed, Aminovenos-N-pad and Moripron-F (Mo-suwan et al, 1993), NepheAmine and Heptamine (MacKay et al, 1996), Vaminolact (Mo-suwan et al,1997).

การใช้ Empirical function for Calcium-Phosphate precipitation curve

Wongpoowarak และคณะ (2005) ได้ศึกษาการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟตในสารละลาย PN ที่อุณหภูมิ 39°C และนำผลที่ได้เขียนสมการฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถติดตั้งในโปรแกรมซอฟต์แวร์ เพื่อทำนายการตกตะกอนของแคลเซียมและฟอสเฟตในสารละลาย เมื่อแทนค่าปริมาณของกรดอะมิโน แคลเซียม และฟอสเฟต ลงในสมการดังกล่าวแล้วจะสามารถระบุได้ทันทีว่าสูตรอาหารนั้น ๆ มีความเสี่ยงในการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟตหรือไม่ ซึ่งสมการฟังก์ชันเป็นดังนี้

$$K = ([\text{calcium}] * [\text{phosphate}]^B * \exp(C * [\text{amino_acid}]^D))$$

โดยที่ B, C, D และ K_{critical} เป็น regression parameters

- หน่วยความเข้มข้นของฟอสเฟตเป็น mmole/L
- หน่วยความเข้มข้นของกรดอะมิโนเป็นเปอร์เซ็นต์
- หน่วยความเข้มข้นของแคลเซียมเป็น mEq/L สำหรับกรดอะมิโนชนิด Amiparen และ Aminosol และ เป็น mmole/L สำหรับ Aminoven Infant และ Aminosteril.

การแปลผล

- ถ้า K มีค่ามากกว่า K_{critical} หมายถึง สารละลายตกตะกอน,
- ถ้า K มีค่าน้อยกว่า K_{critical} หมายถึง สารละลาย **ไม่** ตกตะกอน

สำหรับค่า regression parameters แสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงค่า regression parameters สำหรับสารละลายกรดอะมิโน 4 ชนิด

ผลิตภัณฑ์กรดอะมิโน	B	C	D	$K_{critical}$
Amiparen-10%	2.41399	-10.14832	0.330318	9.125235E-06
Aminosol-10%	2.06356	-9.241167	0.291126	1.769292E-04
Aminoven Infant-10%	2.47834	-4.623341	0.347454	0.8750486
Aminosteril-10%	3.03694	-7.231105	0.522098	1.661412E-04