

ประโยชน์และข้อจำกัดในการตรวจน้ำตาลในเลือดด้วยเครื่องตรวจชนิดอัตโนมัติ Point-of-Care Testing (POCT) for Blood Glucose: Benefits and Pitfalls

พรณทิพย์ ดันติวงษ์, พ.บ.*

ระดับน้ำตาลในเลือดสูงหรือต่ำเกินไปเป็นภาวะที่พบบ่อยในโรงพยาบาล และเกิดภาวะแทรกซ้อนได้ หากไม่ได้รับการดูแลรักษาที่เหมาะสม หลายการศึกษาแสดงประโยชน์จากการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด^(1,2) แต่หากเข้มงวดเกินไปอาจก่อให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำได้ โดยไม่ได้ลดอัตราเจ็บป่วยและอัตราการตาย⁽³⁾ American Diabetes Association (ADA) และ American Association of Clinical Endocrinologists (AACE) ได้แนะนำเป้าหมายของระดับน้ำตาลในเลือดที่เหมาะสมในผู้ที่นอนรักษาในโรงพยาบาลคือ 140-180 mg/dL⁽⁴⁾ ด้วยวิธีการให้อินซูลินที่เหมาะสม โดยติดตามระดับน้ำตาลอย่างใกล้ชิดเพื่อปรับเปลี่ยนการรักษาได้ทันทั่วทั้งที่ปราศจากภาวะน้ำตาลในเลือดสูงหรือต่ำเกินไป ดังนั้นสิ่งหนึ่งที่สำคัญคือ ความถูกต้อง (accuracy) ของค่าระดับน้ำตาลในเลือดที่ได้จากการตรวจวัด

วิธีการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดที่ใช้ในโรงพยาบาลมี 2 วิธี คือ

1. Central Laboratory Devices (CLD) คือ การตรวจระดับน้ำตาลในเลือดโดยการตรวจทางห้องปฏิบัติการ มีความแม่นยำสูง แต่ใช้เวลานาน ทำให้ปรับเปลี่ยนการรักษาได้ไม่รวดเร็ว

2. Point-of-Care (POC) Glucose Devices คือ การตรวจระดับน้ำตาลในเลือดโดยใช้ glucose meters มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการตรวจไม่นาน ได้ผลรวดเร็วใช้ตัดสินใจรักษาได้ทันที นอกจากนี้ยังมีราคาถูกกว่า และใช้ปริมาณเลือดในการตรวจน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธี CLD

การตรวจระดับน้ำตาลในเลือดด้วย POC devices ต้องคำนึงถึงความถูกต้องแม่นยำของค่าที่ตรวจได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้ป่วยที่นอนในโรงพยาบาลที่ต้องการรักษาให้ได้ตามเป้าหมาย ตัวอย่างการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผลตรวจจาก central lab และ POC devices เช่น Kanji S et al⁽⁵⁾ ศึกษาผู้ป่วยวิกฤตโดยเปรียบเทียบระดับน้ำตาลจาก capillary blood sample และ arterial blood sample ที่ตรวจด้วย POC devices กับผลตรวจจาก

* กลุ่มงานอายุรกรรม โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา จ.นครราชสีมา 30000

central lab พบว่าผลตรวจจาก glucose meters โดยใช้ arterial blood sample มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจาก central lab มากกว่าการตรวจโดยใช้ capillary blood sample และพบความคลาดเคลื่อนของการตรวจเพิ่มขึ้นในภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ โดยค่าที่ตรวจได้จาก glucose meter จะสูงกว่าค่าที่ได้จาก central lab นอกจากนี้ Shearer A et al⁽⁶⁾ พบว่าระดับน้ำตาลในผู้ป่วยวิกฤตที่จาก central venous catheter และ fingertip blood sample ที่ตรวจด้วย POC devices มีความใกล้เคียงกัน แต่ค่าที่ตรวจได้ทั้งคู่กลับมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก catheter blood ตรวจโดย central lab ในบทความนี้ขอทบทวนเรื่อง หลักการการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด และปัจจัยสำคัญต่าง ๆ ที่มีผลต่อความถูกต้องของการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด

วิธีการตรวจวัดระดับกลูโคส⁽⁷⁾

น้ำตาลกลูโคสเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่ไม่มีสี จึงไม่สามารถวัดระดับได้โดยตรง ต้องอาศัยปฏิกิริยาทางเอนไซม์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นสารที่สามารถวัดระดับได้ (indirect measurement methods) ปฏิกิริยาทางเอนไซม์ที่ใช้ในการตรวจระดับน้ำตาลกลูโคสมี 3 ชนิด ได้แก่

1. Hexokinase เป็นเอนไซม์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาใน central laboratory โดยจะ phosphorylates glucose ให้เป็น glucose-6-phosphate ซึ่งจะถูกลดออกซิไดซ์โดย glucose-6-phosphate dehydrogenase เกิดการเปลี่ยนแปลง NAD ให้เป็น end-product คือ NADH ที่สามารถวัดระดับและคำนวณกลับเป็นระดับน้ำตาลในเลือดได้

2. Glucose oxidase (GO) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาใน glucose meters โดยจะ oxidized glucose ได้เป็น gluconic acid และ hydrogen peroxide (H_2O_2) ซึ่งเป็น end-product ที่ถูกวัดเพื่อแสดงระดับน้ำตาลได้

3. Glucose-1-dehydrogenase (GDH) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาใน glucose meters โดย GDH จะ oxidized glucose ได้เป็น gluconolactone แล้วเกิดการ

เปลี่ยนแปลง NAD เป็น end-product คือ NADH ที่ถูกวัดเพื่อแสดงระดับน้ำตาลในเลือด ในการทำงานของ GDH enzyme ต้องอาศัย co-factors มี 3 ชนิด ได้แก่ FAD, NAD และ PQQ ซึ่งแต่ละชนิดมีความจำเพาะที่แตกต่างกัน

การวัดระดับน้ำตาลในเลือดด้วย glucose meters เมื่อทำการหยด whole blood sample ลงในแผ่นตรวจน้ำตาล (test strip หรือ biosensor) จะมีขั้นตอนเกิดขึ้นใน strip โดยเริ่มจากชั้น porous membrane กรองเม็ดเลือดแดงออกจาก whole blood เหลือเป็น plasma ที่แพร่ลงผ่านชั้น reagent layer มาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์จนเกิด end-product ดังกล่าวข้างต้น แล้ว glucose meters จึงวัดและแสดงเป็นค่าระดับน้ำตาลหลักการการวัดปฏิกิริยาของ glucose meters มี 2 หลักการ คือ

1. Reflectometric (optical) system เป็นการวัดปฏิกิริยาที่เกิดจาก glucose oxidase และ peroxidase ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี โดยระดับความเข้มของสีจะถูกคำนวณเป็นระดับน้ำตาลในเลือด

2. Electrochemical (amperometric) system เป็นการวัดปฏิกิริยาที่เกิดจาก GDH หรือ glucose oxidase แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับอิเล็กตรอน นำมาคำนวณเป็นระดับน้ำตาลในเลือด

ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของระดับน้ำตาล

การตรวจระดับน้ำตาลในเลือดด้วย POC glucose devices สำหรับผู้ป่วยที่นอนรักษาในโรงพยาบาล พบมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อความถูกต้องของระดับน้ำตาลที่ตรวจได้ ดังต่อไปนี้

- 1) ปัจจัยจากผู้ป่วยและภาวะแวดล้อม (Patients and environmental factors)

- 1.1 Hypotension เป็นภาวะที่พบบ่อยในผู้ป่วยวิกฤต ผู้ป่วยจะมีการไหลเวียนเลือดลดลง และมีการใช้กลูโคสเพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อส่วนปลาย ทำให้การวัดระดับน้ำตาลจาก capillary blood ได้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริง การศึกษาในผู้ป่วยที่มีความดันโลหิตต่ำ พบว่าระดับน้ำตาล

จาก capillary whole blood ที่ตรวจโดย POC devices มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จาก venous sample ที่ตรวจโดย POC devices และ central laboratory ถึง 67.1 ± 12.4 mg/dL และมีค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ($\pm$ ร้อยละ 20 ของค่าที่ได้จาก central lab) เพียงร้อยละ 36⁽⁸⁾

1.2 Hematocrit มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดที่ตรวจด้วย POC devices โดยภาวะโลหิตจางทำให้ตรวจระดับน้ำตาลได้สูงขึ้นร้อยละ 5-15 และภาวะเลือดข้น (polycythemia) ทำให้ตรวจระดับน้ำตาลได้ลดลงร้อยละ 10-30 เมื่อเทียบกับ venous plasma glucose⁽⁹⁾ เนื่องจากภาวะเลือดจางจะมี relative high plasma volume ที่ผ่าน reagent layer ทำให้ค่าที่ตรวจได้สูงกว่าความจริง อาจวินิจฉัยภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำได้ช้า ตรงข้ามกับภาวะเลือดข้นที่เลือดหนืดมาก จะมี relative low plasma volume ทำให้ค่าที่ตรวจได้ต่ำกว่าความจริง⁽¹⁰⁾ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยทางศัลยกรรม เป็นต้น

1.3 Oxygenation มีผลต่อการตรวจที่อาศัยเอนไซม์ glucose oxidase เนื่องจากออกซิเจน สามารถแย่งทำปฏิกิริยาที่ electrode พบว่าผู้ป่วยที่ได้รับออกซิเจนที่ $pO_2 > 100$ mmHg (high oxygen tension) จะตรวจพบระดับน้ำตาลในเลือดได้ค่าน้อยกว่าความเป็นจริง โดย Tang Z et al⁽¹¹⁾ พบร้อยละ 14.3-31.6 ของระดับน้ำตาลจาก whole blood ที่มี $pO_2 > 100$ mmHg ที่ตรวจโดย glucose meter มีความคลาดเคลื่อนเกินร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับผลจาก central lab ปัจจุบันจึงมีความสำคัญในผู้ป่วยที่ต้องใช้ cardiopulmonary bypass ที่ได้รับออกซิเจนจนมี $pO_2 > 400$ mmHg⁽¹²⁾ ในทางตรงข้ามผู้ที่อยู่ใน high altitude พบมีค่าระดับน้ำตาลในเลือดที่วัดได้สูงกว่าค่าจาก central lab ได้ถึงร้อยละ 15⁽¹³⁾ และพบว่าออกซิเจนมีผลต่อการวัดระดับน้ำตาลในเลือดจาก arterial sample มากกว่า venous sample

1.4 Temperature มีข้อมูลแสดงว่า cold skin (อุณหภูมิต่ำ) ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดที่ตรวจด้วย glucose meter มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง อธิบายจากการ

ลดลงของการไหลเวียนเลือด โดยเกิดที่ตำแหน่ง forearm ชัดเจนกว่า fingertip⁽¹⁴⁾

1.5 pH ในกรณีที่ $pH < 6.95$ หรือ $pH > 7.85$ อาจส่งผลให้ค่าระดับน้ำตาลใน whole blood ที่ตรวจได้จาก POC devices มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับค่าจาก central lab แต่ไม่พบปัญหาเมื่อ pH ระหว่าง 6.97-7.84^(15,16)

2) ปัจจัยจากยาและสารบางชนิด (Interfering substances) มีรายงานว่ายาและสารบางชนิดมีผลต่อระดับน้ำตาลที่ตรวจด้วย POC devices พบว่า glucose oxidase-based meters ถูกรบกวนในขั้นตอน peroxidase reduction ได้ ส่วน GDH-based meters จะถูกรบกวนน้อยกว่าและสามารถรบกวน direct oxidation ที่ตรงตำแหน่ง electrode ซึ่งปัจจุบัน amperometric POC devices รุ่นใหม่ๆ ได้มีความพยายามที่จะลดปัญหาจากสารรบกวนโดยการเพิ่ม third electrode เพื่อลด background current ยาที่มีรายงานได้แก่ ascorbic acid, acetaminophen, dopamine และ mannitol ตัวอย่างเช่น acetaminophen มีผลให้ระดับน้ำตาลที่ตรวจด้วย GDH-based meters มีค่าสูงกว่าปกติ แต่ค่าจะน้อยกว่าปกติในการตรวจโดย glucose oxidase-based meters บางชนิด เป็นต้น ยาและสารต่าง ๆ เหล่านี้จะมีผลต่อการตรวจเมื่อผู้ป่วยได้รับยาในขนาดสูงกว่าปกติ⁽¹⁷⁾ ผลการรบกวนจากยาและสารต่าง ๆ ต่อระดับน้ำตาลในเลือดที่ตรวจโดย POC devices เมื่อเปรียบเทียบกับ venous plasma glucose ที่ตรวจโดย central lab แสดงในตารางที่ 1⁽⁷⁾

นอกจากนี้ยังมีรายงานความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำตาลในเลือดในผู้ที่ล้างไตทางหน้าท้องที่ใช้ icodextrin เป็น osmotic agent ในน้ำยาล้างไตโดยพบว่า icodextrin จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลมอลโตส ซึ่งสามารถรบกวนการตรวจโดย GDH-PQQ-based meters ทำให้เครื่องรายงานระดับน้ำตาลได้สูงกว่าความเป็นจริง โดย Katelijne MJ et al⁽¹⁸⁾ ได้ทำการศึกษาในผู้ป่วยล้างไตทางหน้าท้องพบว่าระดับน้ำตาลที่ตรวจโดย GDH-based

meters มีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจโดย central lab ถึง 57 ± 28 mg/dL เกิดการเข้าใจผิดว่าผู้ป่วยมีระดับน้ำตาลในเลือดสูง ทำให้ได้รับยาอินซูลินมากเกินไป จนเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำรุนแรงได้

3) ปัจจัยจากผู้วัดและวิธีการวัด เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความผิดพลาดของระดับน้ำตาลที่วัดได้ ซึ่งเกิดจากการขาดความรู้ ความเข้าใจ และสามารถป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นได้⁽⁷⁾ ตัวอย่างเช่น

- ความผิดพลาดจาก calibration code ที่ใช้ในเครื่องตรวจไม่ตรงตามรุ่นของ test strips

- ขาดการควบคุมคุณภาพของเครื่องตรวจน้ำตาล (quality control)

- ขาดการดูแลเครื่องมือและ test strips เช่น ขาดการทำความสะอาดเครื่องโดยเฉพาะ reflectometric POC devices หรือ test strips มีความชื้นไม่สามารถอ่านค่าได้ เป็นต้น

- ขั้นตอนการวัดไม่ถูกต้อง เช่น เจาะเลือดโดยไม่รอให้แอลกอฮอล์แห้ง หยดเลือดไม่เต็มช่องที่กำหนด

- เกิดความคลาดเคลื่อนจากการจดข้อมูลระดับน้ำตาลที่ไม่ถูกต้อง เป็นต้น

4) ผลจากตำแหน่งของการตรวจ (Source of samples)

4.1 Plasma and whole blood โดย plasma มีส่วนประกอบเป็นปริมาณน้ำมากกว่า erythrocytes ทำให้ระดับน้ำตาลสูงกว่าค่าที่ตรวจได้จาก whole blood ทางองค์การอนามัยโลกได้แนะนำให้ใช้ conversion factor 1.12 คูณกับค่าที่ตรวจได้จาก whole blood จะได้เป็นค่าระดับ plasma glucose (เมื่อระดับ hematocrit ร้อยละ 45 และอัตราส่วนของ red cell ต่อ plasma water 0.8)⁽¹⁹⁾ ปัจจุบันเครื่อง glucose meter ส่วนใหญ่ได้คำนวณและแสดงผลเป็นระดับ plasma glucose ถึงแม้ตรวจโดยใช้เลือดจาก whole blood ในการประเมินความผิดปกติของระดับน้ำตาล เช่น การวินิจฉัยเบาหวาน ทาง ADA และองค์การอนามัยโลกแนะนำให้ใช้ค่า venous plasma glucose ซึ่งควรปั่นแยก plasma ให้เร็วที่สุดหลังเจาะเลือดเพื่อป้องกันการใช้กลูโคสโดยเม็ดเลือดแดง ที่อาจ

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจวัดค่าระดับน้ำตาลในเลือดโดย POC devices

Variables	Methodology affected*		Variables	Methodology affected*	
	GO	GD		GO	GD
Whole blood	↓	↓	pH (6.8-7.55)	→	→
Arterial	↑	↑	Low pH	→/↓	→
Capillary	↑	↑	High pH	→/↑	→
Postprandial state	↑	↑	Hypothermia	↑	↓/↑
Hematocrit			Hypotension	↑	↑/↓
Anemia	↑	↑	Drugs		
Polycythemia	↓	↓	Ascorbic acid	↓	↑/→
Oxygen concentration			Acetaminophen	↓	↑
Hypoxia	↑	→	Dopamine	→	↓
Oxygen therapy	↓	→	Icodextrin	→	↑
			Mannitol	↑	→

หมายเหตุ *Change relative to venous plasma measured at central laboratory, GO: , GD:

ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดที่ตรวจได้มีค่าต่ำลง 10 mg/dL ต่อทุก ๆ ชั่วโมงที่ทิ้งเลือดไว้⁽²⁰⁾

4.2 Arterial, venous or capillary samples พบว่าระดับน้ำตาลที่ได้จาก arterial sample จะมีค่าสูงกว่า capillary sample ประมาณ 5 mg/dL และสูงกว่า venous sample ประมาณ 10 mg/dL โดยภายหลังรับประทานอาหาร ระดับน้ำตาลใน capillary sample อาจสูงกว่าใน venous sample ถึงร้อยละ 25⁽²¹⁾ ถึงแม้การตรวจโดยใช้ capillary sample จะสะดวกและรวดเร็ว แต่มีรายงานพบว่า arterial sample จะให้ค่าระดับน้ำตาลในเลือดที่ถูกต้องใกล้เคียงกับ central lab มากกว่า⁽⁵⁾

มาตรฐานสากลของเครื่องตรวจวัดน้ำตาล

สถาบันสากลหลายแห่ง เช่น ADA, องค์การอาหารและยาของสหรัฐ (USFDA), และ International Organization for Standardization (ISO) เป็นต้น ได้กำหนดเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของค่าที่ตรวจจาก glucose meters เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจจากห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 2 เกณฑ์ของค่าที่ยอมรับได้ (Acceptable Agreement) ของ glucose meters เมื่อเทียบกับ central laboratory methods

Organization or Society*	Glucose Range	Performance criteria
ADA 1994	All levels	± 5 %
US-FDA (ร้อยละ 95 ของค่าที่ได้)	< 100 mg/dL	± 20 mg/ dL
	≥ 100 mg/ dL	± 20 %
ISO 15197 (ร้อยละ 95 ของค่าที่ได้)	< 75 mg/ dL	± 15 mg/ dL
	≥ 75 mg/ dL	± 20 %
CLSI (C30A)	< 100 mg/ dL	< 15 mg/ dL
	≥ 100 mg/ dL	± 20 %

*ADA: American Diabetes Association; US-FDA: U.S. Food and Drug Administration; ISO: International Organization for Standardization; CLSI: Clinical and Laboratory Standards Institute

ซึ่งสามารถบอกถึงความถูกต้องของ glucose meters ได้ดังตารางที่ 2⁽²²⁾ ซึ่งเครื่อง glucose meters แต่ละชนิดต้องแสดงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตรวจวัด (potential confounding interferences) รวมทั้งแสดงค่าที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ของสถาบันที่เป็นมาตรฐานที่อ้างอิง ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงคุณสมบัติและรายละเอียดต่าง ๆ ก่อนนำเครื่อง glucose meters แต่ละชนิดไปใช้งาน

สรุป

POC glucose devices มีบทบาทสำคัญในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยในโรงพยาบาลเนื่องจากความสะดวกและรวดเร็วในการตรวจ แต่ต้องคำนึงถึงความถูกต้องที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น โดย glucose meters ที่ใช้ในโรงพยาบาลมีหลายประเภทมีความแตกต่างกันในเรื่องชนิดปฏิกิริยาเอนไซม์และระบบการวัดผล ซึ่งปัจจุบันผู้ผลิตได้พยายามปรับปรุง glucose meters ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องมีความรู้ในรายละเอียดเกี่ยวกับ glucose meters ชนิดที่นำมาใช้งานและเข้าใจภาวะที่มีผลต่อการตรวจวัด ทั้งปัจจัยภายในและภายนอกผู้ป่วย เพื่อให้การตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดมีความถูกต้องแม่นยำสามารถให้การรักษาดูแลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปราศจากภาวะแทรกซ้อน

เอกสารอ้างอิง

1. Van den Berghe G, Wouters P, Weekers F, Verwaest C, Bruyninckx F, Schetz M, et al. Intensive insulin therapy in the critically ill patients. N Engl J Med 2001; 345:1359-67.
2. Malmberg K, Ryden L, Efendic S, Herlitz J, Nicol P, Waldenström A, et al. Randomized trial of insulin-glucose infusion followed by subcutaneous insulin treatment in diabetic patients with acute myocardial infarction (DIGAMI study): effect on mortality at 1 year. J Am Coll Cardiol 1995; 26: 57-65.

3. Finfer S, Chittock DR, Su SY, Blair D, Foster D, Dhingra V, et al. Intensive versus conventional glucose control in critically ill patients. *N Engl J Med* 2009; 360: 1283-97.
4. Moghi E.S., Korytkowski MT, DiNardo M, Einhorn D, Hellman R, Hirsch IB, et al. American Association of Clinical Endocrinologists; American Diabetes Association consensus statement on inpatient glycemic control. *Diabetes Care* 2009; 32: 1119-31.
5. Kanji S, Buffie J, Hutton B, Bunting P, Singh A, McDonald K, et al. Reliability of point-of-care testing for glucose measurement in critically ill adults. *Crit Care Med*. 2005; 33: 2778-85.
6. Shearer A, Boehmer M, Closs M, Dela Rosa R, Hamilton J, Horton K, et al. Comparison of glucose point-of-care values with laboratory values in critically ill patients. *Am J Crit Care* 2009; 18: 224-30.
7. Duncan K, Chapman J, Braithwaite S, Buse J. Glucose measuring: confounding issues in setting targets for inpatient management. *Diabetes Care* 2007; 30: 403-9.
8. Atkin SH, Dasmahapatra A, Jaker MA, Chorost M, Reddy S. Fingerstick glucose determination in shock. *Ann Intern Med* 1991; 114: 1020-4.
9. Tang Z, Lee JH, Louie RF, Kost GJ. Effects of different hematocrit levels on glucose measurements with handheld meters for point-of-care testing. *Arch Pathol Lab Med* 2000; 124: 1135-40.
10. Louie RF, Tang Z, Sutton DV, Lee JH, Kost GJ. Point-of-care glucose testing: effects of critical care variables, influence of reference instruments, and a modular glucose meter design. *Arch Pathol Lab Med* 2000; 124: 257-66.
11. Tang Z, Louie RF, Payer M, Chang KC, Kost GJ. Oxygen effects on glucose measurements with a reference analyzer and three handheld meters. *Diabetes Technol Ther* 2000; 2: 349-62.
12. Soller BR, Idwasi PO, Balaguer J, Levin S, Simsir SA, Vander Salm TJ, et al. Noninvasive, near infrared spectroscopic-measured muscle pH and PO₂ indicate tissue perfusion for cardiac surgical patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Crit Care Med* 2003; 31: 2324-31.
13. Oberg D, Ostenson CG. Performance of glucose dehydrogenase- and glucose oxidase-based blood glucose meter at high altitude and low temperature. *Diabetes Care* 2005; 28: 1261.
14. Haupt A, Berg B, Paschen P, Dreyer M, Haring HU, Smedegaard J, et al. The effects of skin temperature and testing site on blood glucose measurement taken by a modern blood glucose monitoring device. *Diabetes Technol Ther* 2005; 7: 597-601.
15. Tang Z, Du X, Louie RF, Kost GJ. Effects of pH on glucose measurement with handheld glucose meters and a portable glucose analyser for point-of-care testing. *Arch Pathol Lab Med* 2000; 124: 577-82.
16. Kilpatrick ES, Rumley AG, Smith EA. Variations in sample pH and pO₂ affect Exac Tech meter glucose measurements. *Diabet Med* 1994; 11: 506-9.
17. Tang Z, Du X, Louie RF, Kost GJ. Effects of drugs on glucose measurement with handheld glucose meters and a portable glucose analyzer. *Am J Clin Pathol* 2000; 113: 75-86.
18. Katelijne MJ, Delanghe J. Analytic interferences in point-of-care testing glucometers by icodextrin and its metabolites: and overview. *Perit Dial Int* 2009; 29: 377-83.
19. Rainey PM, Jatlow P. Monitoring blood glucose meters. *Am J Clin Pathol* 1995; 103: 125-6.
20. Sacks D, Bruns D, Goldstein D, Mackaren N, McDonald J, Parrott M. Guidelines and recommendations for laboratory analysis in the diagnosis and management of diabetes mellitus. *Clin Chem* 2002; 48: 436-72.
21. Farrer M, Albers CJ, Neil HA, Adams PC, Laker MF, Alberti KG. Assessing the impact of blood sample type on the estimated prevalence of impaired glucose tolerance and diabetes mellitus in epidemiological surveys. *Diabetes Med* 1995; 12: 325-9.
22. Tonyushkina K, Nichols JH. Glucose meters: a review of technical challenges to obtaining accuracy results. *J Diabetes Sci Technol* 2009; 3: 971-80.