



การเปรียบเทียบผลการตรวจ Insulin-like Growth Factor 1 (IGF-1) ระหว่างระบบตรวจวิเคราะห์กึ่งอัตโนมัติและแบบเต็มรูปแบบ

ณิพิทา บัวศรี^{1*}, ทิพาพร จรูญศิริมณีกุล¹, ปริญญา ประสงค์ดี²

¹ หน่วยงานภูมิคุ้มกันและเคมีคลินิก, ²ศูนย์ความเป็นเลิศทางห้องปฏิบัติการตรวจวินิจฉัยระดับชีวโมเลกุลทางการแพทย์งานห้องปฏิบัติการเวชศาสตร์ชั้นสูงตร โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

The Comparison of Insulin-like Growth Factor 1 (IGF-1) Test Results Between Semi-Automated and Total Laboratory Automated Analysis Systems

Napitta Buasri^{1*}, Thipaporn Jaroonsirimeekul¹, Prinya Prasongdee²

¹Department of Immunology and Clinical Chemistry, ²Srinagarind Excellence Laboratory, Srinagarind Hospital, Faculty of Medicine, Khon Kaen University

บทคัดย่อ

หลักการและวัตถุประสงค์: การตรวจวัด insulin-like growth factor 1 (IGF-1) มีความสำคัญในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับฮอร์โมนการเจริญเติบโต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการตรวจ insulin-like growth factor 1 (IGF-1) ระหว่างระบบตรวจวิเคราะห์กึ่งอัตโนมัติ (LIAISON® XL) และระบบอัตโนมัติแบบเต็มรูปแบบ (Cobas e801) ที่เชื่อมต่อกับระบบห้องปฏิบัติการอัตโนมัติ และเปรียบเทียบระยะเวลาการรายงานผล ความถูกต้องแม่นยำ เพื่อลดขั้นตอนการทำงานและเพิ่มคุณภาพบริการ

วิธีการศึกษา: เป็นการศึกษาเชิงทดลอง ในโรงพยาบาลศรีนครินทร์ (เม.ย.-ก.ย. พ.ศ. 2568) ในตัวอย่างเลือด 32 ตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่อง LIAISON® XL และ Cobas e801 ประเมินความแม่นยำ ความคลาดเคลื่อนรวมด้วยสถิติ coefficient of variation (CV%) และ total error (TE lab) ตามลำดับ เทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน Royal College of Pathologists of Australasia (RCPA) เปรียบเทียบ turnaround time (TAT) และผลตรวจ ด้วยสถิติ paired t-test, linear regression และ Bland-Altman plot

ผลการศึกษา: ระบบ Cobas e801 มี CV% ร้อยละ 1.12 และร้อยละ 0.09 (แม่นยำสูง) และ TE lab ร้อยละ 2.51 และ ร้อยละ 0.77 (คลาดเคลื่อนต่ำ) ตามลำดับ ได้ตามเกณฑ์ RCPA (ร้อยละ 12.00) ผลตรวจทั้งสองระบบมีความสอดคล้องกันสูง ($R^2 = 0.9719$) LIAISON® XL มี bias เชิงบวกเฉลี่ย 21.02 ng/mL ส่วน TAT ลดลงจาก 109 ± 14 นาที (LIAISON® XL) เหลือ 75 ± 13 นาที (Cobas e801) เวลาลดลงเฉลี่ย 34 นาที (ร้อยละ 31.19) ขั้นตอนก่อนการวิเคราะห์ใช้เวลาจาก 45 นาที เป็น 16 นาที (ลดลง 29 นาที หรือร้อยละ 64.44)

สรุป: ระบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ Cobas e801 ให้ผลที่มีความแม่นยำสูง และความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน RCPA ผลตรวจจากทั้งสองระบบมีความสอดคล้องกัน แต่ LIAISON® XL มี bias เชิงบวกเล็กน้อย และ TAT ลดลงชัดเจน

คำสำคัญ: IGF-1, ระบบห้องปฏิบัติการอัตโนมัติ, ระยะเวลาการรายงานผล, chemiluminescent immunoassay, electrochemical luminescence immunoassay

*Corresponding author: Napitta Buasri, E-mail: napitta@kku.ac.th

Abstract

Background and Objective: Insulin-like growth factor 1 (IGF-1) is a critical biomarker for diagnosing and monitoring conditions such as growth hormone deficiency (GHD), pituitary adenoma, and acromegaly. This experimental study aimed to compare turnaround time (TAT), accuracy, and precision between the two systems (LIAISON® XL, DiaSorin and Cobas e801, Roche Diagnostics), streamline laboratory workflow, and improve service quality.

Methods: This experimental study was conducted at the immunology and clinical chemistry unit, Srinagarind Hospital, from April to September 2025. Thirty-two blood samples (2 high, 19 normal, and 11 low IGF-1 levels) were analyzed to compare the performance of LIAISON® XL and Cobas e801 within total laboratory automated analysis system (TLA). Performance was assessed using PreciControl Growth quality controls, evaluating laboratory bias%, coefficient of variation (CV%), and total error (TE lab) against Royal College of Pathologists of Australasia (RCPA) criteria. TAT and results were compared using paired t-test, linear regression, and Bland-Altman plot.

Results: The Cobas e801 within TLA demonstrated high precision (CV% = 1.12% and 0.09% for low and high levels) and low error (TE lab = 2.51% and 0.77%), respectively. Found below the RCPA threshold 12%. Comparison of IGF-1 results showed strong correlation ($R^2 = 0.9719$), but LIAISON® XL exhibited a significant positive bias of 21.02 ng/mL ($p < 0.01$, 95% CI: -12.89 to 54.91 ng/mL). TAT was reduced from 109 ± 14 minutes with LIAISON® XL to 75 ± 13 minutes with Cobas e801 (Time decrease 34 minutes, 31.19%), with pre-analytic time decreasing from 45 to 16 minutes and analytic time from 32 to 27 minutes (64.44%).

Conclusion: The Cobas e801 fully automated analyzer achieved analytical performance with imprecision values within RCPA acceptance criteria. Method comparison revealed acceptable agreement between two systems, with LIAISON® XL showing minimal positive bias. TLA shown significant turnaround time reduction.

Keywords: IGF-1, total laboratory automation, turnaround time, chemiluminescent immunoassay, electrochemical luminescence immunoassay

บทนำ

insulin-like growth factor 1 (IGF-1) เป็นโปรตีนสำคัญที่มีบทบาทในการควบคุมการเจริญเติบโต การซ่อมแซมเนื้อเยื่อ การเผาผลาญพลังงาน และการทำงานของระบบประสาท ความผิดปกติของระดับ IGF-1 สัมพันธ์กับโรคหลายชนิด เช่น การขาดฮอร์โมนการเจริญเติบโต (growth hormone deficiency; GHD), เนื้องอกต่อมใต้สมอง (pituitary adenoma) และภาวะอะโครเมกาลี (acromegaly) จึงทำให้การตรวจวัด IGF-1 มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวินิจฉัยและติดตามผลการรักษา^{1,2} ปัจจุบัน โรงพยาบาลศรีนครินทร์ใช้เครื่อง LIAISON® XL (DiaSorin) ซึ่งเป็นระบบตรวจวิเคราะห์อัตโนมัติที่อาศัยเทคโนโลยี chemiluminescent immunoassay (CLIA) แบบ paramagnetic microparticle solid phase ร่วมกับ “flash” chemiluminescence ซึ่งเครื่อง LIAISON® XL ถูกติดตั้งอยู่นอกระบบ total laboratory automated analysis system (TLA) ทำให้ต้องนำตัวอย่างออกจากสายการทำงานของ TLA การทำงานนอกระบบ TLA ส่งผลให้ระยะเวลาการรายงานผล (turnaround time; TAT) เฉลี่ย 109 ± 14 นาที เกินเกณฑ์มาตรฐานที่หน่วยบริการกำหนดไว้ (< 90 นาที) ซึ่งส่งผลกระทบต่อให้บริการผู้ป่วยนอกโดยตรง โดยคิดเป็นสัดส่วนตัวอย่างถึงร้อยละ 76.16 ของทั้งหมดการพัฒนาการตรวจ IGF-1 สู่อุปกรณ์ TLA โดยใช้เครื่อง Cobas e801 ของ Roche Diagnostics เป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการ เนื่องจากเครื่อง Cobas e801 ใช้เทคโนโลยี electrochemiluminescence immunoassay (ECLIA) ที่อาศัยการปลดปล่อยแสงจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าร่วมกับ ruthenium-based complexes ช่วยให้การตรวจมีความไวและความจำเพาะสูง พร้อมรองรับปริมาณตัวอย่างจำนวนมากโดยลดขั้นตอน และระบบ TLA ประกอบด้วย Cobas 8100 สำหรับ pre-analytic ก่อนส่งเข้า Cobas e801 และมีระบบ laboratory information system (LIS) สำหรับการจัดการข้อมูล ทำให้การตรวจตัวอย่างเลือดและการส่งต่อข้อมูลเป็นไปอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 3 ประการ คือ 1) เปรียบเทียบผลการตรวจ IGF-1 ระหว่างระบบกึ่งอัตโนมัติและระบบ TLA 2) ประเมินความถูกต้องและความแม่นยำของผลการตรวจ 3) เปรียบเทียบระยะเวลาการรายงานผล (TAT) ระหว่างทั้งสองระบบ ซึ่งนำมาปรับใช้เพื่อช่วยลด TAT ลดความซับซ้อนของ workflow และยกระดับคุณภาพบริการของห้องปฏิบัติการได้อย่างมีนัยสำคัญ

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง ดำเนินการที่หน่วยภูมิคุ้มกันและเคมีคลินิก โรงพยาบาลศรีนครินทร์ระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ. 2568 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2568 (6 เดือน) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจ IGF-1 ระหว่างระบบกึ่งอัตโนมัติ (LIAISON® XL without TLA) และระบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Cobas e801 within TLA) เริ่มจากการเก็บข้อมูลพื้นฐานจาก LIAISON® XL without TLA แล้วปรับ workflow โดยใช้ Cobas e801 within TLA ตัวอย่างทดสอบ เป็นตัวอย่างที่เหลือจากการตรวจทางห้องปฏิบัติการประจำวัน (left over specimen) จำนวน 32 ตัวอย่างครอบคลุมระดับ IGF-1 สูง (2 ตัวอย่าง เนื่องจากสัดส่วนของการตรวจพบค่าสูงในผู้ป่วยมีจำนวนน้อย) ระดับปกติ (19 ตัวอย่าง) และระดับต่ำ (11 ตัวอย่าง) ดำเนินการเปรียบเทียบข้อมูล TAT และ ผลการทดสอบระหว่างระบบกึ่งอัตโนมัติ และ ระบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ ด้วยสถิติ paired t-test และ การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis)

ประเมินประสิทธิภาพการทดสอบ IGF-1 บนระบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ Cobas e801 ภายในระบบ TLA ของ Roche diagnostics (Cobas e801 within TLA) โดยใช้สารควบคุมคุณภาพภายใน (PreciControl Growth) ทั้งระดับต่ำและระดับสูง โดยประเมิน ความถูกต้อง (laboratory bias, %) ความแม่นยำ (coefficient of variation: CV, %) และ ความแปรปรวน (standard deviation: SD) พร้อมเปรียบเทียบกับค่ากลุ่มอ้างอิง (peer group) โดยกำหนดค่า ค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมด (total error; TERCPA) ที่ยอมรับได้เท่ากับร้อยละ 12 ตามเกณฑ์ของ Royal College of Pathologists of Australasia (RCPA) และ Australasian Association of Clinical Biochemists และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของห้องปฏิบัติการ (TE lab) ของการทดสอบ IGF-1 โดยใช้สูตร $TE\ lab = l\ bias\% + (2 \times CV\%)$ จากนั้นเปรียบเทียบค่า TE lab ที่ได้กับเกณฑ์ TE RCPA (ร้อยละ 12) เพื่อประเมินสมรรถนะการทดสอบ IGF-1 ของระบบ Cobas e801 ภายใน TLA อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ และค่า CV% ต้องไม่เกิน 1/3 ของ TE RCPA (ร้อยละ 12)

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า การทดสอบ IGF-1 ในระบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Cobas e801 within TLA) มีค่า CV% ต่ำ (ร้อยละ 1.12 สำหรับ PreciControl Growth ระดับต่ำ และร้อยละ 0.09 สำหรับ PreciControl Growth ระดับสูง) ซึ่งค่าที่ได้น้อยกว่า 1/3 ของ TE RCPA (ร้อยละ 12) ซึ่งบ่งชี้ว่าค่าความแม่นยำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังพบว่า Lab bias% มีค่าต่ำเช่นกัน (ร้อยละ 0.27 สำหรับ PreciControl Growth ระดับต่ำ และ ร้อยละ -0.59 สำหรับ PreciControl Growth ระดับสูง) ทั้งนี้ค่า TE lab ได้เท่ากับ ร้อยละ 2.51 และ ร้อยละ 0.77 ของ PreciControl Growth ระดับต่ำ และ PreciControl Growth ระดับสูง ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า TE RCPA (ร้อยละ 12) (ตารางที่ 1)

ผลการเปรียบเทียบค่า IGF-1 ระหว่าง Cobas e801 within TLA และ LIAISON® XL without TLA พบค่า $R^2 = 0.9719$ และสมการถดถอย $y = 0.8267x + 0.7582$ บ่งชี้ความสัมพันธ์สูงระหว่างทั้งสองระบบ (รูปที่ 1) อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบด้วย paired t-test ให้ผลต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p = <0.01$ ($p < 0.05$) ซึ่งเมื่อทดสอบด้วย Bland-altman plot พบว่า ค่าเฉลี่ยของความแตกต่าง ระหว่างเครื่อง Cobas e801 และ LIAISON® XL อยู่ที่ 21.02 ng/ml ซึ่งบ่งชี้ว่าโดยเฉลี่ยของ LIAISON® XL ให้ผลลัพธ์สูงกว่า Cobas e801 อย่างมีนัยสำคัญ

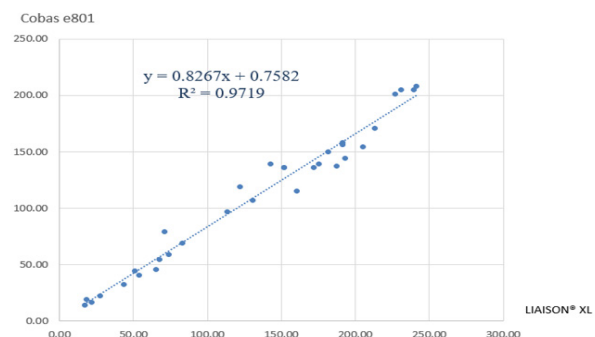
ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทดสอบ IGF-1 บนระบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ Cobas e801 ภายในระบบ TLA ของ Roche diagnostics (Cobas e801 within TLA)

Parameter	PreciControl Growth ระดับต่ำ	PreciControl Growth ระดับสูง
จำนวน	933.00	933.00
Target value	59.60	365.00
Group Mean	56.05	356.10
Group SD	5.36	32.90
Lab Mean	56.20	354.00
Lab SD	0.63	0.33
Lab CV %	1.12	0.09
Lab Bias %	0.27	-0.59
TE _{RCPA}	12.00	12.00
TE _{lab}	2.51	0.77

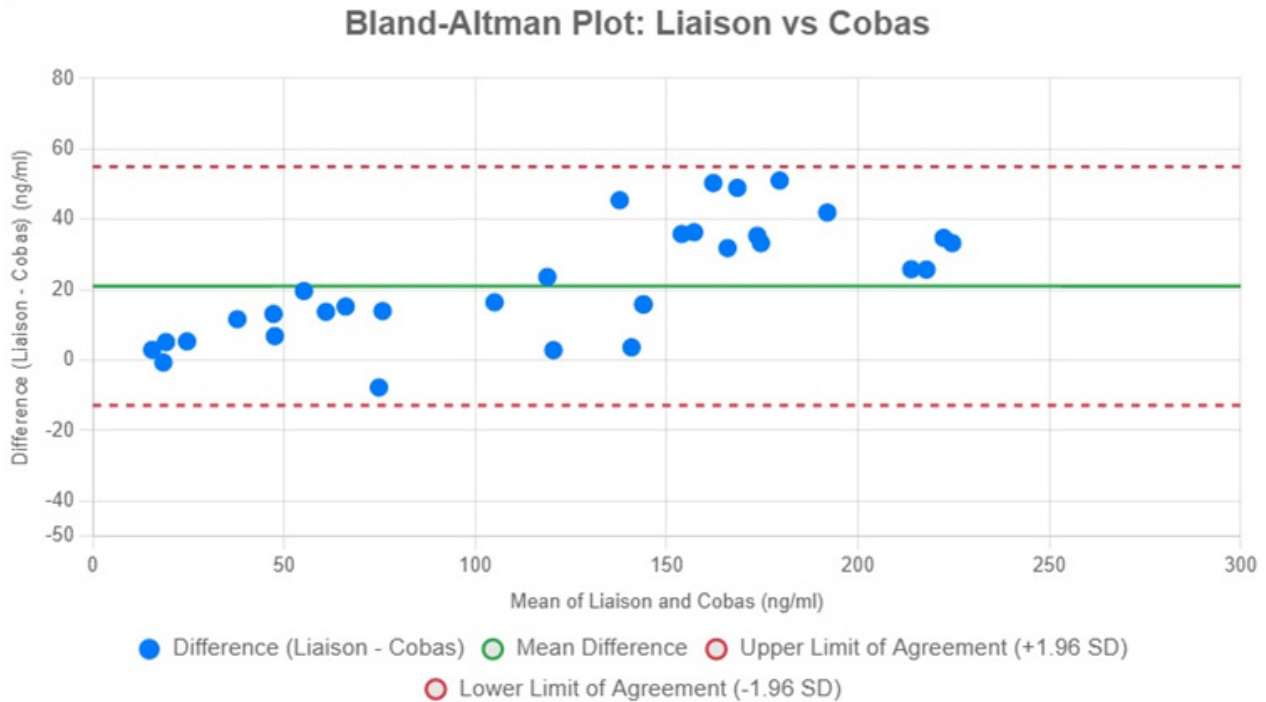
(95% CI: -12.89 ถึง 54.91 ng/ml) ดังรูปที่ 2 และเมื่อทดสอบ TAT ระหว่าง ระบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Cobas e801 within TLA) เปรียบเทียบกับ ระบบกึ่งอัตโนมัติ (LIAISON® XL without TLA) พบว่า ระบบ Cobas e801 within TLA สามารถลด TAT จาก 109 ± 14 นาที ในระบบ LIAISON® XL without TLA) ลดลงเหลือ 75 ± 13 นาที (เวลาลดลง 34 นาที) โดยสามารถลดเวลาในขั้นตอน pre-analytic จาก 45 นาที เหลือ 16 นาที และ ขั้นตอน analytic จาก 32 นาที เหลือ 27 นาที

ผลการเปรียบเทียบการตรวจวิเคราะห์ IGF-1 ระหว่างเครื่อง Cobas e801 (แกน Y) และ LIAISON® XL (แกน X) พบว่าผลการตรวจจากเครื่องมือทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญและอยู่ในระดับสูงมาก (statistically significant and excellent positive correlation) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) ที่ 0.9719 สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้คือ $y = 0.8267x + 0.7582$

ผลการประเมินความสอดคล้องด้วย Bland-Altman plot แสดงให้เห็นถึงค่าอคติเชิงระบบ (systematic bias) โดยเครื่อง LIAISON® XL ให้ผลการตรวจ IGF-1 สูงกว่าเครื่อง Cobas e801 โดยเฉลี่ย +21.02 ng/mL ทั้งนี้ ค่าความแตกต่างของผลการตรวจส่วนใหญ่ (ร้อยละ 95) อยู่ในช่วงขีดจำกัดความสอดคล้อง (upper and lower limits of agreement) และไม่ปรากฏค่าอคติเชิงสัดส่วน (proportional bias) ซึ่งยืนยันว่าความแตกต่างของผลการตรวจมีความคงที่ตลอดช่วงค่าการวัด



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์ IGF-1 ระหว่างเครื่อง Cobas e801 และ LIAISON® XL



รูปที่ 2 แสดง Bland-altman plot สำหรับการเปรียบเทียบระดับ IGF-1 ระหว่างเครื่อง Cobas e801 และ LIAISON® XL

วิจารณ์

ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพสูงของระบบ Cobas e801 ภายใน TLA ในด้านความแม่นยำและความคลาดเคลื่อน โดยค่า CV% ที่ต่ำมาก (ร้อยละ 1.12 สำหรับระดับต่ำ และร้อยละ 0.09 สำหรับระดับสูง) บ่งชี้ถึงความเสถียรของการวัดที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ TE RCPA ซึ่งน้อยกว่า 1/3 ของ TE RCPA (ร้อยละ 12) นอกจากนี้ ค่า Lab bias% (ร้อยละ 0.27 และ ร้อยละ -0.59) และ TE lab (ร้อยละ 2.51 และร้อยละ 0.77) ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ยอมรับ แสดงถึงความถูกต้องสูงและความเสี่ยงต่อข้อผิดพลาดต่ำ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Kim และ Jeong³ ซึ่งประเมินระบบ Cobas e801 และรายงาน CV% ต่ำกว่าร้อยละ 2 พร้อม precision ภายในห้องปฏิบัติการที่ยอมรับได้ จุดเด่นของงานนี้คือการวิเคราะห์ทั้ง paired t-test และ Bland-Altman plot เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือ สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างสองระบบ การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นให้ค่า $R^2 = 0.9719$ ซึ่งบ่งชี้ถึงความสอดคล้องสูงระหว่าง Cobas e801 และ LIAISON® XL แต่ paired t-test แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) และ Bland-Altman plot เผย bias เชิงบวกเฉลี่ย 21.02 ng/mL ใน LIAISON® XL ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเปรียบเทียบ DiaSorin Liaison XL และ Roche Cobas

(Elecsys IGF-1 assay) พบว่า DiaSorin มี positive bias เฉลี่ย 42 $\mu\text{g/L}$ (ร้อยละ 24) เทียบกับ Roche Cobas⁴ โดยค่าที่สูงกว่าที่คาดไว้และอาจนำไปสู่การตีความผิดพลาดทางคลินิก เช่น falsely elevated ในผู้ป่วย acromegaly ความแตกต่างนี้แตกต่างจากวรรณกรรมอื่นที่รายงาน bias ต่ำกว่า เช่น ในงานที่เปรียบเทียบ immunoassay IGF-1 และพบความแตกต่างเฉลี่ยเพียง 5-10 ng/mL สาเหตุอาจมาจากเทคโนโลยีที่ต่างกัน (ECLIA vs. CLIA) ทำให้จำเป็นต้องปรับ reference intervals เพื่อลดผลกระทบ⁵ การลด TAT จาก 109 ± 14 นาทีเหลือ 75 ± 13 นาทีโดยเฉพาะในขั้นตอน pre-analytic (จาก 45 นาทีเหลือ 16 นาที) เป็นจุดเด่นที่ชัดเจนของระบบ TLA ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริการ โดยเฉพาะสำหรับผู้ป่วยนอกที่เป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 76.16) ผลนี้สอดคล้องกับงานของ Lippi และ Da Rin⁶ ที่พบว่าระบบ TLA ลด TAT ได้ร้อยละ 30-40 อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดคือขนาดตัวอย่างเล็ก (32 ตัวอย่าง) ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมความแปรผัน การวิจัยในอนาคตควรเพิ่มขนาดตัวอย่างและวิเคราะห์ปัจจัยที่อาจก่อให้เกิด bias เพื่อยืนยันความเหมาะสมของทั้งสองระบบในการใช้งานทางคลินิก

สรุป

ระบบตรวจวิเคราะห์ IGF-1 แบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (TLA) สามารถลด TAT จาก 109 นาที เป็น 75 นาที ภายในเกณฑ์มาตรฐาน (<90 นาที) พร้อมรักษาความถูกต้องและความแม่นยำตามมาตรฐานสากล ระบบนี้ลดความซับซ้อนของ workflow ลดภาระงานบุคลากร และเพิ่มศักยภาพในการรองรับปริมาณงานที่สูงขึ้น ผลลัพธ์นี้สนับสนุนการใช้ระบบอัตโนมัติเพื่อยกระดับคุณภาพการบริการในห้องปฏิบัติการ

ข้อเสนอแนะ

ควรขยายการศึกษาไปยังโรงพยาบาลอื่นเพื่อยืนยันผลลัพธ์และปรับใช้ในบริบทที่หลากหลาย การประเมินต้นทุนต่อผลตรวจและความพึงพอใจของผู้ป่วยและแพทย์จะช่วยวิเคราะห์ความคุ้มค่าและผลกระทบด้านบริการ

การประกาศผลประโยชน์ทับซ้อน (Conflict of Interest)

ผู้วิจัยขอประกาศว่าไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้ การดำเนินงานวิจัย การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ผล และการตีความข้อมูลได้กระทำโดยอิสระ โดยไม่มีการแทรกแซงจากหน่วยงานภายนอกหรือผู้มีส่วนได้เสีย การศึกษานี้ดำเนินการด้วยวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความรู้ทางวิชาการและปรับปรุงคุณภาพการบริการทางการแพทย์เท่านั้น โดยยึดหลักจริยธรรมการวิจัยและความโปร่งใสในการนำเสนอข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- Clemmons DR. Consensus statement on the standardization and evaluation of growth hormone and insulin-like growth factor assays. Clin Chem. 2011;57(4):555-9. doi:10.1373/clinchem.2010.158444
- Bidlingmaier M, Friedrich N, Emeny RT, Spranger J, Wolthers O, Roswall J, et al. Reference intervals for insulin-like growth factor-1 (igf-i) from birth to senescence: results from a multicenter study using a new automated chemiluminescence IGF-I immunoassay conforming to recent international recommendations. J Clin Endocrinol Metab. 2014;99(5):1712-21. doi:10.1210/jc.2013-4330
- Kim SK, Jeong TD. Performance evaluation of the elecsys growth hormone and insulin-like growth factor 1 assay. Clin Lab 2020;66(7). doi:10.7754/Clin.Lab.2020.200318
- Mohammed-Ali Z, Delaney S, Singh R, Leung F, Taher J, Goguen J, et al. Bias in IGF-1 concentrations and interpretation across three different clinical laboratory assays. Clin Biochem. 2022;108:14-9. doi:10.1016/j.clin-biochem.2022.07.009
- Clemmons DR, Bidlingmaier M. Interpreting growth hormone and IGF-I results using modern assays and reference ranges for the monitoring of treatment effectiveness in acromegaly. Front Endocrinol (Lausanne). 2023;14:1266339. doi:10.3389/fendo.2023.1266339
- Lippi G, Da Rin G. Advantages and limitations of total laboratory automation: a personal overview. Clin Chem Lab Med. 2019;57(6):802-11. doi:10.1515/cclm-2018-1110

