Comparison of the Results of LDL-cholesterol by Automated Analyzer and Calculating by the Formula of Friedewald, Hata, Puavilai and Martin in Mahavajiralongkorn Thanyaburi Hospital

Suriya Khueachanta*, Pavina Musikkapan, Watcharee Siripin and Supapan Jarunsuk

Clinical Pathology and Medical Technology Department, Mahavajiralongkorn Thanyaburi Hospital, Department of Medical Services, Pathum Thani Province, Thailand

Abstract

The assessment of LDL-cholesterol (LDL-C) levels plays a crucial role in lipid profile analysis, aiding in the evaluation of cardiovascular risk factors such as coronary heart disease and heart attack. However, employing automated analyzers for LDL-C measurement incurs considerable costs. This study aimed to assess LDL-C values derived from four equations — Friedewald, Hata, Puavilai, and Martin — by comparing them with values obtained through direct measurement, aiming to identify the most suitable equation for adoption at Mahavajiralongkorn Thanyaburi Hospital. The study includes 2,432 health examination data collected from patients and staff members between 2019 and 2023. This study revealed a strong correlation between direct measurement methods and values calculated from the Martin, Puavilai, Friedewald and Hata equations at triglyceride levels equal to or below 400 mg/dL, with correlation coefficients of 0.962, 0.952, 0.942 and 0.920, respectively. Upon stratifying participants into five triglyceride groups: 0-99, 100-149, 150-199, 200-399, and greater than or equal to 400 mg/dL, average LDL-C values from direct measurements were significantly higher than those calculated by all equations ($p < 0.05$) across all triglyceride levels. Notably, the Martin equation exhibited the highest correlation coefficient ($r = 0.953$-0.969). Consequently, it is concluded that the Martin equation could serve as a viable alternative for direct LDL-C analysis. However, the study underscores potential discrepancies in calculated values, particularly at higher triglyceride levels, necessitating caution when utilizing equations for such calculations

Keywords: Low density lipoprotein cholesterol, Direct LDL-C, Calculated LDL-C

***Corresponding author E-mail address:** tawantop259@gmail.com

Received: 3 April 2024 Revised: 27 July 2024 Accepted: 7 August 2024

160-68 #in □.□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9337 28/4/2568 BE 15:22

การเปรียบเทียบผลของ LDL-cholesterol ด้วยวิธีตรวจจากเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติและการคำนวณค่าด้วยสูตรของ Friedewald, Hata, Puavilai และ Martin ในโรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรี

สุริยะ เครือจันต๊ะ* ปวินา มุสิกพันธ์ วัชรี ศิริปิ่น และ สุภาพรรณ เจริญสุข

กลุ่มงานพยาธิวิทยาคลินิกและเทคนิคการแพทย์ โรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรี กรมการแพทย์ จังหวัดปทุมธานี

บทคัดย่อ

การตรวจวัดระดับไลโปโปรตีนคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density lipoprotein cholesterol: LDL-C) เป็นส่วนหนึ่งของการตรวจวัดระดับไขมันในเลือด (lipid profile) ที่ใช้ในการตรวจสุขภาพเพื่อประเมินความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด การวิเคราะห์ LDL-C จากเครื่องอัตโนมัติโดยตรงมีต้นทุนสูง การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบค่า LDL-C ที่ได้จากการคำนวณโดย 4 สูตร คือสูตรของ Friedewald, Hata, Puavilai และ Martin กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยตรงจากเครื่องวิเคราะห์ เพื่อนำสูตรที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในโรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรี โดยศึกษาจากข้อมูลผลการตรวจสุขภาพประจำปี พ.ศ. 2562-2566 ของผู้รับบริการและบุคลากรของโรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรี จำนวน 2,432 ราย พบว่าวิธีการตรวจวัดโดยตรงและค่าที่ได้จากการคำนวณจากสูตรของ Martin, Puavilai, Friedewald และ Hata มีความสัมพันธ์กันดีมากที่ระดับไตรกลีเซอร์ไรด์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 400 mg/dL โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.962, 0.952, 0.942 และ 0.920 ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามระดับของไตรกลีเซอร์ไรด์ เป็น 5 กลุ่ม คือ 0-99, 100-149, 150-199, 200-399 และ มากกว่าหรือเท่ากับ 400 mg/dL ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ย LDL-C จากวิธีวัดโดยตรงมีค่าสูงกว่าวิธีคำนวณทั้ง 4 สูตรการคำนวณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ทุกระดับความเข้มข้นของไตรกลีเซอร์ไรด์ โดยสูตรการคำนวณของ Martin มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุด (r = 0.953-0.969) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้สูตรการคำนวณของ Martin มาทดแทนการตรวจวิเคราะห์ LDL-C ได้ แต่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดในการใช้สูตรคำนวณเนื่องจากปริมาณไตรกลีเซอร์ไรด์ที่สูงอาจทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณไม่สอดคล้องกับผลที่แท้จริงได้

คำสำคัญ: ไลโปโปรตีนคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ, Direct LDL-C, Calculated LDL-C

***ผู้รับผิดชอบบทความ E-mail address:** tawantop259@gmail.com

รับบทความ: 3 เมษายน 2567 แก้ไขบทความ: 27 กรกฎาคม 2567 รับตีพิมพ์บทความ: 7 สิงหาคม 2567

160-68 #in □.□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9338 28/4/2568 BE 15:22

บทนำ

องค์การอนามัยโลกรายงานว่าโรคหัวใจและหลอดเลือด (coronary vascular disease: CVD) เป็นโรคที่มีอัตราการเสียชีวิตสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของประชากรโลก โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2562 มีผู้เสียชีวิตจากโรคนี้จำนวน 17.9 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 32 ของสาเหตุการเสียชีวิตทั่วโลก โดยร้อยละ 85 เป็นการเสียชีวิตจากโรคกล้ามเนื้อหัวใจตาย หรือโรคกล้ามเนื้อหัวใจตายเฉียบพลัน (heart attack) และโรคหลอดเลือดสมอง (stroke)[1] ซึ่งโรคหัวใจและหลอดเลือดมีปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญคือภาวะไขมันในเลือดสูง[2] โดยมีการกำหนดระดับไขมันจาก The National Cholesterol Education Program (NCEP)[3] (Table 1) ระดับไลโปโปรตีนคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density lipoprotein cholesterol: LDL-C) ที่สูงมีความสัมพันธ์และความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ[4,5]

ปัจจุบันโรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรีได้มีการตรวจสุขภาพประจำปีให้กับผู้รับบริการและบุคลากรในโรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรี โดยการตรวจทางห้องปฏิบัติการจะมีการตรวจระดับไขมันในเลือด ได้แก่ ระดับคอเลสเตอรอลรวม (total cholesterol), ไตรกลีเซอร์ไรด์ (triglyceride: TG), ไลโปโปรตีนคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นสูง (high-density lipoprotein cholesterol: HDL-C) และไลโปโปรตีนคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density lipoprotein cholesterol: LDL-C) เพื่อประเมินความเสี่ยงของโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคไขมันในเลือดสูง โดยประเมินจากค่า LDL-C ในเบื้องต้น โดยปกติการวัดระดับไขมันในเลือด สามารถวัดได้จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรงของน้ำยาแต่ละชนิด ด้วยเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ แต่เนื่องจากการตรวจสุขภาพประจำปีไม่ครอบคลุมการตรวจวัดค่า LDL-C โดยตรงเพราะมีราคาค่อนข้างแพงกว่าการวัดค่าไขมันตัวอื่น ๆ ประกอบกับปัจจุบัน โรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรีตระหนักถึงการตรวจทางห้องปฏิบัติการทางการแพทย์อย่างสมเหตุผล (rational laboratory use: RLU) กล่าวคือ การตรวจทางห้องปฏิบัติการทางการแพทย์อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้อง โดยการเลือกใช้การตรวจวิเคราะห์อย่างเหมาะสมสำหรับการคัดกรอง การดูแลรักษาทางคลินิก ตามหลักฐานเชิงประจักษ์ โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและความปลอดภัยของผู้ป่วยเป็นสำคัญ[6] และที่ผ่านมาได้มีการสร้างสูตรในการคำนวณเพื่อประมาณความเข้มข้นของ LDL-C แทนการวัดระดับ LDL-C โดยตรง ด้วยสูตรการคำนวณ Friedewald's equation[7] แต่มีข้อจำกัดคือใช้ได้เฉพาะผู้ที่มีความเข้มข้นของ TG ในซีรัมน้อยกว่า 400 mg/dL[8,9] โดยใช้สมมติฐานที่ว่าไลโปโปรตีนคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (very low-density lipoprotein cholesterol: VLDL-C) มีอิทธิพลอย่างมากต่อระดับ TG และอัตราส่วนระหว่าง TG และ VLDL-C เท่ากับ 5 อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนที่แท้จริงนั้นจะแตกต่างกันไป ซึ่งหลายการศึกษาได้ระบุว่าการประมาณค่า LDL-C ที่ได้จากสูตรดังกล่าวมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวัดโดยตรง โดยเฉพาะในผู้ที่มีภาวะต่าง ๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคตับจากแอลกอฮอล์ และภาวะไตวายเรื้อรังที่ต้องฟอกไต[10-13] มีการศึกษาจำนวนมากที่ได้พยายามปรับปรุงสูตรการคำนวณโดยการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง TG กับ VLDL-C เช่นการศึกษาของ DeLong และคณะ[14] ในกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่จำนวน 10,483 คน ได้แนะนำอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ 6 และการศึกษาของ Puavilai และคณะ[15] ได้ยืนยันว่าสูตรนี้มีความแม่นยำมากกว่าสูตรของ Friedewald และล่าสุด Martin และคณะ[16] ได้เสนอแนะการใช้ค่าแฟกเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามระดับคอเลสเตอรอลรวม และ TG ในเลือด

แทนการใช้อัตราส่วนคงที่ โดยการศึกษาของ Lee และคณะ[17] พบว่าสูตรคำนวณของ Martin มีความแม่นยำขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในการประมาณค่า LDL-C ในประชากรเกาหลีเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรของ Friedewald

Table 1 Classification of LDL cholesterol levels by the NCEP ATP III (National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III).[3]

LDL-C (mg/dL)	Classification
< 100	Optimal
100-129	Near optimal/Above optimal
130-159	Borderline high
160-189	High
≥ 190	Very high

ทางห้องปฏิบัติการจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาสูตรการคำนวณหาระดับ LDL-C ที่เหมาะสมเพื่อประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยมีทั้งหมด 4 สูตร คือสูตรการคำนวณ Friedewald equation[7], Hata equation[18], Puavilai equation[15] และ Martin equation[16] ดังแสดงใน Table 2 การศึกษานี้จึงต้องการเปรียบเทียบค่า LDL-C ที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอัตโนมัติ โดยนำข้อมูลผลการตรวจสุขภาพประจำปี พ.ศ. 2562-2566 ของผู้รับบริการและบุคลากรของโรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรี มาวิเคราะห์เปรียบเทียบผล LDL-C โดยวิธีดังกล่าวข้างต้น เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนต้นทุนของวิธีวัดโดยตรง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประมาณค่า LDL-C เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือดต่อไป

Table 2 Equations for LDL-C concentration estimation.

Abbreviation	Equation	Reference
$LDL\text{-}C_F$	LDL=TC-HDL-TG/5	Friedewald *et al*[7]
$LDL\text{-}C_H$	LDL=TC-HDL-TG/4	Hata *et al*[18]
$LDL\text{-}C_P$	LDL=TC-HDL-TG/6	Puavilai *et al*[15]
$LDL\text{-}C_M$	LDL=TC-HDL-TG/novel factor	Martin *et al*[16]

LDL-C, low-density lipoprotein cholesterol; TC, total cholesterol; HDL-C, high-density lipoprotein cholesterol; TG, triglyceride; $LDL\text{-}C_F$, LDL-C level estimated by Friedewald equation; $LDL\text{-}C_H$, LDL-C level estimated by Hata equation; $LDL\text{-}C_M$, LDL-C level estimated by Martin equation; $LDL\text{-}C_P$, LDL-C level estimated by the Puavilai equation.

วัสดุและวิธีการ

ใช้วิธีการศึกษาแบบย้อนหลัง (retrospective study) จากข้อมูลผลการตรวจสุขภาพประจำปี พ.ศ. 2562-2566 ของผู้รับบริการและบุคลากรของโรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรี จำนวน 2,432 ราย โครงการวิจัยนี้ได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการวิจัยเกี่ยวกับมนุษย์ โรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรี เอกสารรับรองเลขที่ MTH 2024-01 ลงวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2566 โดยกลุ่มตัวอย่างมีอายุระหว่าง 18 ถึง 80 ปี และมีผลการตรวจวิเคราะห์ทางชีวเคมี ได้แก่ ระดับคอเลสเตอรอลรวม TG HDL-C และ LDL-C ด้วยเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ Beckman Coulter AU480 โดยการตรวจระดับคอเลสเตอรอลรวม HDL-C และ TG ใช้หลักการ enzymatic colorimetric method ส่วนการตรวจระดับ LDL-C ใช้หลักการ homogeneous LDL assay ภายใต้การควบคุมคุณภาพภายนอก (external quality control) ที่มีการเข้าร่วมโครงการเป็นประจำทุกเดือน และใช้วิธีการวัดความถูกต้องด้วยค่า Z-score ไม่เกิน 2.0 จากนั้นคำนวณค่า LDL-C โดยใช้สูตร 4 สูตร ได้แก่ สูตรของ Friedewald ($LDL\text{-}C_F$) สูตรของ Hata ($LDL\text{-}C_H$) สูตรของ Puavilai ($LDL\text{-}C_P$) และสูตรของ Martin ($LDL\text{-}C_M$) (Table 2) และเปรียบเทียบกับค่า LDL-C ที่ได้จากการวัดโดยตรง ($LDL\text{-}C_D$) โดยผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างตามระดับ TG ออกเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1: TG < 100 mg/dL กลุ่มที่ 2: TG 100-149 mg/dL กลุ่มที่ 3: TG 150-199 mg/dL กลุ่มที่ 4: TG 200-399 mg/dL และกลุ่มที่ 5: TG ≥ 400 mg/dL[19-21] โดยได้ตรวจสอบ normality test ของข้อมูลด้วยสถิติ Shapiro-Wilk test และ Kolmogorov-Smirnov test of normality ก่อนการเลือกใช้สถิติวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลโดยใช้การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ อายุ ปริมาณคอเลสเตอรอลรวม ปริมาณ TG และปริมาณ HDL-C ระหว่างเพศชายกับเพศหญิงด้วยสถิติ Student's t-test เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ LDL-C ที่วัดโดยตรงกับ LDL-C จากการคำนวณด้วยสูตรด้วยสถิติ paired t-test และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LDL-C ที่วัดได้โดยตรงจากเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ กับค่า LDL-C ที่ได้จากการคำนวณด้วย Pearson correlation analysis วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเป็นเชิงเส้นตรงด้วย linear regression analysis วิเคราะห์ความสอดคล้อง (agreement) ของผล LDL-C ที่ได้จากการวัดโดยตรงและการคำนวณจากสูตรทั้ง 4 สูตรโดยจัดกลุ่มตาม NCEPT ATP III ด้วย weighted Cohen's kappa โดยเกณฑ์การพิจารณาความสอดคล้องของ Landis and Koch[22] คือ *K*: < 0.00 (poor), *K*: 0-0.20 (slight), *K*: 0.21-0.40 (fair), *K*: 0.41-0.60 (moderate), *K*: 0.61-0.80 (substantial) และ *K*: > 0.80 (almost perfect) และกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ p-value < 0.05

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 2,432 ราย (ชาย 674 ราย และหญิง 1,758 ราย) อายุเฉลี่ย 46.6 ± 13.5 ปี มีปริมาณคอเลสเตอรอลรวมเฉลี่ย 208.5 ± 44.6 mg/dL ปริมาณ TG เฉลี่ย 124.2 ± 86.4 mg/dL ปริมาณ HDL-C เฉลี่ย 60.2 ± 14.4 mg/dL ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเพศชายและเพศหญิง โดยเพศชายมีปริมาณ TG สูงกว่า และปริมาณ HDL-C ต่ำกว่าเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญ $LDL\text{-}C_D$ ที่วัดได้จากเครื่องอัตโนมัติเฉลี่ย 142.5 ± 36.7 mg/dL เมื่อนำมาคำนวณตามสูตร $LDL\text{-}C_F$, $LDL\text{-}C_H$, $LDL\text{-}C_P$ และ $LDL\text{-}C_M$ พบว่าค่าเฉลี่ยคือ 123.4 ± 37.5 mg/dL,

117.3 ± 37.9 mg/dL, 127.6 ± 37.5 mg/dL และ 125.0 ± 36.2 mg/dL ตามลำดับ (Table 3) และเมื่อแยกตามระดับความเข้มข้นของ TG พบว่าค่าเฉลี่ย LDL-C ที่ได้จากการคำนวณจากทั้ง 4 สูตรมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ LDL-C ที่ได้จากการวัดโดยตรงอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05) ที่ทุกระดับความเข้มข้นของ TG (Table 4)

Table 3 Demographics and characteristics of patients (n = 2,432).

Characteristics	Total (n = 2,432)	Gender	
		Male (n = 674)	Female (n = 1,758)
Age (year)*	46.6 ± 13.5	49.8 ± 14.4	45.4 ± 12.9
Total cholesterol (mg/dL)*	208.5 ± 44.6	203.6 ± 48.9	210.3 ± 42.6
Triglyceride (mg/dL)*	124.2 ± 86.4	150.5 ± 114.4	114.1 ± 70.3
High-density lipoprotein cholesterol; HDL-C (mg/dL)*	60.2 ± 14.4	54.2 ± 12.5	62.5 ± 14.4
LDL-C_D (mg/dL)	142.5 ± 36.7	141.1 ± 38.6	142.9 ± 35.9
LDL-C_F (mg/dL)	123.4 ± 37.5	119.3 ± 39.9	124.9 ± 36.4
LDL-C_H (mg/dL)	117.3 ± 37.9	111.9 ± 40.5	119.3 ± 36.6
LDL-C_P (mg/dL)	127.6 ± 37.5	124.4 ± 40.0	128.8 ± 36.4
LDL-C_M (mg/dL)	125.0 ± 36.2	123.0 ± 38.5	125.7 ± 35.3

*p-value < 0.05 by Student's t-test. Comparison between male and female. Values are presented as mean ± standard deviation. LDL-C_F, LDL-C level estimated by Friedewald equation; LDL-C_H, LDL-C level estimated by Hata equation; LDL-C_M, LDL-C level estimated by Martin equation; LDL-C_P, LDL-C level estimated by the Puavilai equation.

160-68 #in □.□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9342 28/4/2568 BE 15:22

Table 4 Comparison of estimated low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) with directly measured LDL-C at different triglyceride concentrations.

Variable (mean ± SD)	Triglyceride (mg/dL)					
	< 100 (n = 1,176)	100-149 (n = 678)	150-199 (n = 277)	200-399 (n = 274)	≥ 400 (n = 29)	0-400 (n = 2,405)
LDL-C Direct	135.4 ± 34.5	147.2 ± 36.4	146.2 ± 36.8	156.4 ± 39.5	152.8 ± 34.1	142.3 ± 36.6
LDL-C_F	122.5 ± 35.4*	128.4 ± 37.4*	120.6 ± 37.7*	120.6 ± 41.8*	95.2 ± 54.1*	123.7 ± 37.1*
LDL-C_H	119.0 ± 35.4*	122.4 ± 37.4*	112.2 ± 37.8*	107.7 ± 42.1*	66.2 ± 50.1*	117.9 ± 37.3*
LDL-C_P	124.9 ± 35.5*	132.5 ± 37.4*	126.4 ± 37.7*	129.2 ± 41.6*	114.7 ± 58.6*	127.7 ± 37.1*
LDL-C_M	120.0 ± 34.9*	129.4 ± 36.1*	125.6 ± 35.4*	132.4 ± 37.7*	134.8 ± 56.6*	124.9 ± 35.9*

*p-value < 0.05 by paired t-test.; LDL-C_F, LDL-C level estimated by Friedewald equation; LDL-C_H, LDL-C level estimated by Hata equation; LDL-C_M, LDL-C level estimated by Martin equation; LDL-C_P, LDL-C level estimated by the Puavilai equation. Values are presented as mean ± standard deviation.

ในการประมาณค่า LDL-C เปรียบเทียบกับการวัด LDL-C โดยตรง โดยวิเคราะห์แยกตามระดับ TG ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) ระหว่างค่า LDL-C ที่ประมาณการจากสูตร LDL-C_F, LDL-C_H, LDL-C_P และ LDL-C_M กับค่า LDL-C ที่ได้จากการวัดโดยตรง มีความแตกต่างกันตามระดับ TG (Table 5) ในกลุ่มที่มีระดับ TG ต่ำกว่า 100 mg/dL ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างมากที่สุด (n = 1,176) พบว่าทุกสูตรมีค่า r สูง โดยสูตร LDL-C_M ให้ค่าสูงสุด (r = 0.969, 95% CI: 0.944-0.972) ตามด้วยสูตร LDL-C_P (r = 0.968, 95% CI: 0.928-0.956) สำหรับกลุ่มที่มีระดับ TG 100-149 mg/dL (n = 678) และ 150-199 mg/dL (n = 277) ค่า r ยังคงอยู่ในระดับสูง โดยทุกสูตรให้ค่า r มากกว่า 0.95 และในกลุ่มที่ TG 200-399 mg/dL (n = 274) ค่า r เริ่มลดลงเล็กน้อย โดยสูตร LDL-C_M ยังคงให้ค่า r ที่สูงสุด (r = 0.953, 95% CI: 0.960-1.036) อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มที่มีระดับ TG ตั้งแต่ 400 mg/dL ขึ้นไป (n = 29) ประสิทธิภาพของทุกสูตรลดลงอย่างชัดเจน โดยสูตร LDL-C_F ให้ค่า r สูงสุด (r = 0.806, 95% CI: 0.360-0.654)

นอกจากการพิจารณาค่า r แล้ว การศึกษานี้ยังได้วิเคราะห์ค่าความแตกต่างเฉลี่ย (mean difference) ระหว่าง LDL-C ที่ประมาณการได้กับค่าที่วัดได้โดยตรง ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความแตกต่างเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับ TG ที่สูงขึ้น โดยที่ระดับ TG ต่ำกว่า 100 mg/dL สูตร LDL-C_P มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยต่ำที่สุด (10.4 ± 8.9 mg/dL, 95% CI: 9.9-10.9) ในขณะที่สูตร LDL-C_H มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยสูงที่สุด (16.4 ± 9.2 mg/dL, 95% CI: 15.8-16.9) และเมื่อระดับ TG สูงขึ้น สูตรของ Martin มีแนวโน้มค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่ต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มที่มีระดับ TG ตั้งแต่ 400 mg/dL ขึ้นไป สูตร LDL-C_M มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยเพียง 18.0 ± 6.9 mg/dL (95% CI: 3.8-32.3) ในขณะที่สูตรอื่น ๆ มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยสูงกว่า 38 mg/dL (Table 5)

Table 5 The correlation coefficient and mean differences between the estimated low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and the directly measured LDL-C at all triglyceride levels.

Method	TG < 100 mg/dL (n = 1,176)				TG 100-149 mg/dL (n = 678)				TG 150-199 mg/dL (n = 277)				TG 200-399 mg/dL (n = 274)				TG ≥ 400 mg/dL (n = 29)			
	Correlation coefficient (*r*)		Mean difference		Correlation coefficient (*r*)		Mean difference		Correlation coefficient (*r*)		Mean difference		Correlation coefficient (*r*)		Mean difference		Correlation coefficient (*r*)		Mean difference	
	R	95% CI	X±SD	95% CI	R	95% CI	X±SD	95% CI	R	95% CI	X±SD	95% CI	R	95% CI	X±SD	95% CI	R	95% CI	X±SD	95% CI
LDL-C_F	0.967	0.928-0.957	12.9 ± 9.2	12.4-13.4	0.961	0.917-0.958	18.8 ± 10.3	18.0-19.5	0.961	0.907-0.971	25.6 ± 10.5	24.3-26.8	0.944	0.857-0.932	35.8 ± 13.8	34.2-37.4	0.806	0.360-0.654	57.6 ± 33.4	44.8-70.3
LDL-C_H	0.965	0.929-0.958	16.4 ± 9.2	15.8-16.9	0.960	0.915-0.957	24.8 ± 10.5	24.0-25.5	0.959	0.903-0.963	34.0 ± 10.7	32.8-35.2	0.934	0.837-0.917	48.7 ± 15.0	46.9-50.5	0.786	0.368-0.700	86.6 ± 31.4	74.6-98.5
LDL-C_P	0.968	0.928-0.956	10.4 ± 8.9	9.9-10.9	0.962	0.918-0.958	14.6 ± 10.2	13.9-15.4	0.962	0.908-0.972	19.9 ± 10.4	18.6-21.0	0.949	0.867-0.939	27.1 ± 13.1	25.6-28.7	0.792	0.320-0.601	38.1 ± 37.8	23.7-52.5
LDL-C_M	0.969	0.944-0.972	14.9 ± 8.7	14.4-15.4	0.962	0.952-0.994	17.8 ± 9.9	17.1-15.6	0.963	0.968-1.034	20.6 ± 9.1	19.5-21.8	0.953	0.960-1.036	24.0 ± 12.0	22.6-25.4	0.768	0.310-0.615	18.0 ± 6.9	3.8-32.3

LDL-C_F, LDL-C level estimated by Friedewald equation; LDL-C_H, LDL-C level estimated by Hata equation; LDL-C_M, LDL-C level estimated by Martin equation; LDL-C_P, LDL-C level estimated by the Puavilai equation.

160-68 #in □□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9344 28/4/2568 BE 15:22

สำหรับที่ระดับ TG 0-400 mg/dL (n = 2,405) พบว่าค่า LDL-C ที่วัดโดยตรงมีค่าเฉลี่ย 142.3 ± 36.6 mg/dL โดยสูตร LDL-C_M มีค่า *r* สูงสุด (*r* = 0.962, 95% CI: 0.971-0.993) ตามด้วยสูตร LDL-C_P (*r* = 0.952, 95% CI: 0.928-0.952) สูตร LDL-C_F (*r* = 0.942, 95% CI: 0.917-0.944) และสูตร LDL-C_H (*r* = 0.920, 95% CI: 0.889-0.920) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างเฉลี่ยระหว่าง LDL-C ที่ประมาณการได้กับค่าที่วัดได้โดยตรงในกลุ่มระดับ TG 0-400 mg/dL พบว่า LDL-C_P มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยต่ำที่สุด (14.6 ± 11.4 mg/dL, 95% CI: 14.1-15.0) ในขณะที่สูตร LDL-C_H มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยสูงที่สุด (24.4 ± 14.9 mg/dL, 95% CI: 23.8-25.0) ส่วนสูตร LDL-C_F และสูตร LDL-C_M มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากัน (17.4 ± 10.1 mg/dL) แต่สูตร LDL-C_M มีช่วงความเชื่อมั่นที่แคบกว่าเล็กน้อย (Table 6)

Table 6 The correlation coefficient and mean differences between the estimated low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and the directly measured LDL-C at triglyceride levels 0-400 mg/dL.

Variable (n = 2,405)	LDL-C (mg/dL) $\bar{X}$ ± SD	Correlation Coefficient (*r*)		Mean Difference	
		R	95% CI	X ± SD	95% CI
LDL-C Direct	142.3 ± 36.6				
LDL-C_F	123.7 ± 37.1	0.942	0.917-0.944	17.4 ± 10.1	17.0-17.9
LDL-C_H	117.9 ± 37.3	0.920	0.889-0.920	24.4 ± 14.9	23.8-25.0
LDL-C_P	127.7 ± 37.1	0.952	0.928-0.952	14.6 ± 11.4	14.1-15.0
LDL-C_M	124.9 ± 35.9	0.962	0.971-0.993	17.4 ± 10.1	17.0-17.8

LDL-C_F, LDL-C level estimated by Friedewald equation; LDL-C_H, LDL-C level estimated by Hata equation; LDL-C_M, LDL-C level estimated by Martin equation; LDL-C_P, LDL-C level estimated by the Puavilai equation.

160-68 #in □.□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9345 28/4/2568 BE 15:22

เมื่อใช้เกณฑ์ NCEP ATP III (Table 1) การกระจายตัวของ LDL-C ที่วัดโดยตรงพบว่า ร้อยละ 11.26 อยู่ในระดับ optimal (<100 mg/dL, ค่าเฉลี่ย 86.05 ± 10.1 mg/dL) ร้อยละ 27.07 อยู่ในระดับ near optimal/above optimal (100-129 mg/dL, ค่าเฉลี่ย 116.03 ± 8.7 mg/dL) ร้อยละ 31.72 อยู่ในระดับ borderline high (130-159 mg/dL, ค่าเฉลี่ย 144.13 ± 8.7 mg/dL) ร้อยละ 20.91 อยู่ในระดับ high (160-189 mg/dL ค่าเฉลี่ย 172.98 ± 8.3 mg/dL) และร้อยละ 9.04 อยู่ในระดับ very high (≥ 190 mg/dL, ค่าเฉลี่ย 215.48 ± 23.5 mg/dL) และการจำแนกระดับ LDL-C ผลการวิเคราะห์พบว่า LDL-C_P ให้ค่าประมาณที่มีความสอดคล้องกับการวัดโดยตรงในระดับปานกลาง (weighted Kappa = 0.438, 95% CI: 0.413-0.463) ในขณะที่สูตร LDL-C_F (weighted Kappa = 0.329, 95% CI: 0.304-0.354) และสูตร LDL-C_M (weighted Kappa = 0.338, 95% CI: 0.313-0.363) มีความสอดคล้องในระดับพอใช้ ส่วน LDL-C_H มีความสอดคล้องต่ำที่สุด (weighted Kappa = 0.207, 95% CI: 0.182-0.232) (Table 7) และเมื่อเปรียบเทียบ LDL-C กับผลที่ได้จากสูตรการคำนวณทั้ง 4 สูตร พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงบวก (positive linear correlation) หรือความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน ดัง Fig. 1

160-68 #in □.□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9346 28/4/2568 BE 15:22

Table 7 The percentage and means ± standard deviations of the directly measured and estimated low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) classified according to the NCEP ATP III (National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III).

Variable (n = 2,434)	LDL cholesterol (mg/dL)					Weighted		Interpretation
	<100 (Optimal)	100-129 (Near optimal / Above optimal)	130-159 (Borderline high)	160-189 (High)	≥ 190 (Very high)	Kappa (95% CI)	*p*-value	
LDL-C	11.26%	27.07%	31.72%	20.91%	9.04%			
Direct	86.05 ± 10.1	116.03 ± 8.7	144.13 ± 8.7	172.98 ± 8.3	215.48 ± 23.5			
$LDL\text{-}C_F$	26.46%	33.24%	24.45%	11.26%	4.60%	0.329	<0.001*	Fair
	79.83 ± 15.4	114.65 ± 8.6	142.97 ± 8.5	171.90 ± 8.7	214.33 ± 23.1	(0.304-0.354)		agreement
$LDL\text{-}C_H$	32.58%	32.99%	22.10%	8.67%	3.66%	0.207	<0.001*	Slight
	77.38 ± 17.8*	114.26 ± 8.6*	143.31 ± 8.7*	171.83 ± 7.9*	213.49 ± 27.8	(0.182-0.232)		agreement
$LDL\text{-}C_P$	22.51%	32.58%	26.58%	12.78%	5.55%	0.438	<0.001*	Moderate
	81.17 ± 14.2*	114.88 ± 8.5*	142.95 ± 8.5*	172.09 ± 8.6*	214.78 ± 24.5	(0.413-0.463)		agreement
$LDL\text{-}C_M$	23.91%	34.51%	25.84%	11.22%	4.52%	0.338	<0.001*	Fair
	81.34 ± 13.5*	114.83 ± 8.7*	142.93 ± 8.5	171.90 ± 8.5	215.13 ± 25.5	(0.313-0.363)		agreement

*p-value < 0.05 by weighted Cohen's kappa. $LDL\text{-}C_F$, LDL-C level estimated by Friedewald equation; $LDL\text{-}C_H$, LDL-C level estimated by Hata equation; $LDL\text{-}C_M$, LDL-C level estimated by Martin equation; $LDL\text{-}C_P$, LDL-C level estimated by the Puavilai equation. Values are presented as mean ± standard deviation.

160-68 #in □□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9347
28/4/2568 BE 15:22

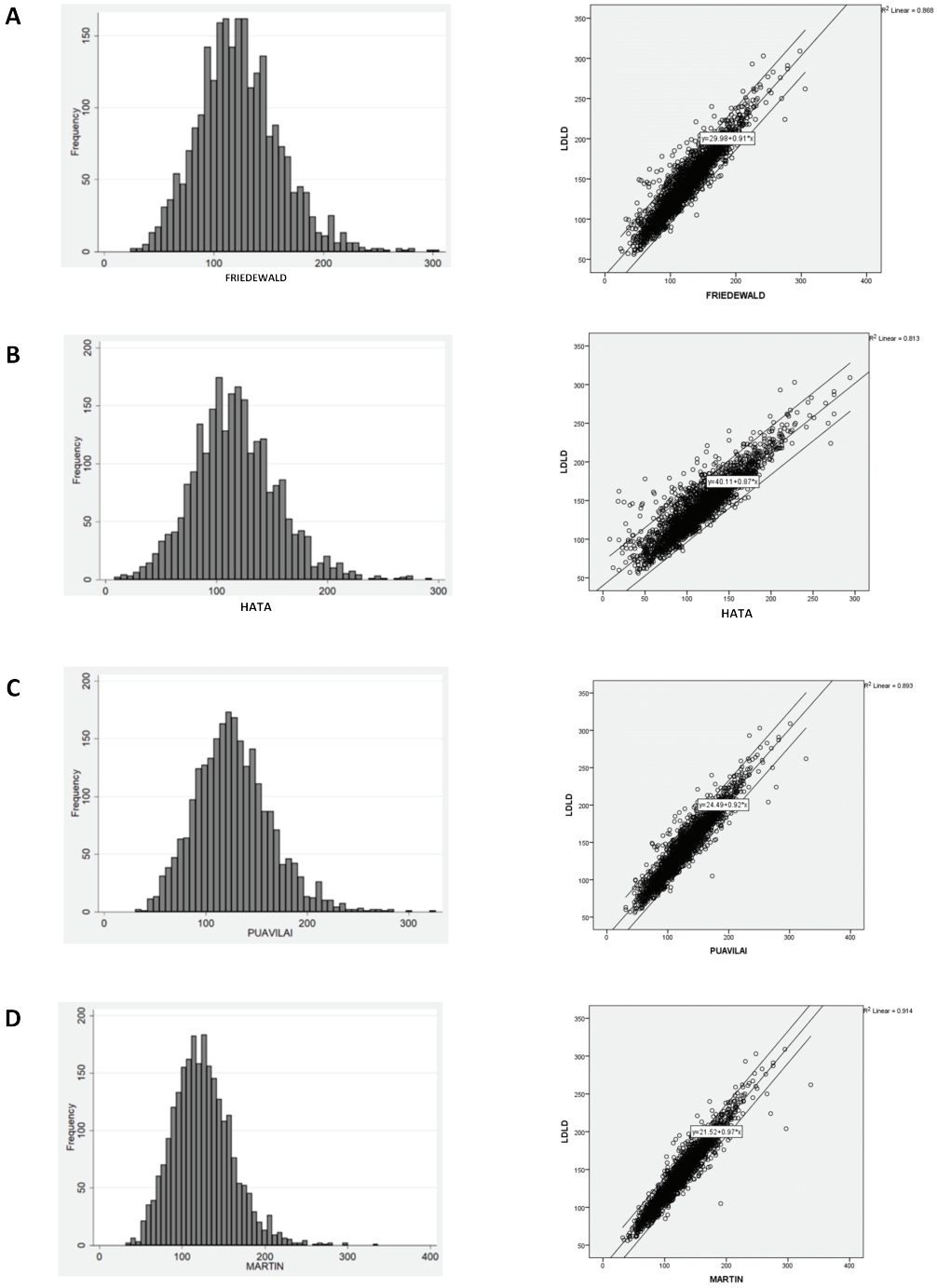


Fig. 1 Histograms and scatter plots are indicated for low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) calculated by four formulas; (A) Friedewald, (B) Hata, (C) Puavilai, and (D) Martin.

วิจารณ์

จากการเปรียบเทียบผลของค่า LDL-C ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติกับค่า LDL-C ที่ได้จากการคำนวณด้วยสูตร 4 สูตร โดยเก็บข้อมูลจากผู้มารับบริการตรวจระดับไขมันในเลือด ได้แก่ คอเลสเตอรอลรวม TG HDL-C และ LDL-C ด้วยวิธีวัดโดยตรง ณ โรงพยาบาลมหาวชิราลงกรณธัญบุรี จำนวน 2,432 ราย ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของวิธีวัดโดยตรงมีค่าที่สูงกว่าวิธีคำนวณอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวัฒนา เลี้ยววัฒนา และคณะ[23] วิไล พัววิไล และคณะ[15] เพ็ญศิริ ชูส่งแสง และคณะ[24] และสุรชัย รุ่งธนาภิรมย์ และคณะ[25] และพบว่าการประมาณค่า LDL-C ด้วยสูตร Martin มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าสูตรอื่น ($r = 0.962$) ที่ระดับ TG 0-400 mg/dL ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Medine และคณะ[20] ที่ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r = 0.966$) และการศึกษาของ Ferrinho และคณะ[26] ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r = 0.983$) และยังสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้เพื่อเปรียบเทียบสูตรการคำนวณหาปริมาณ LDL-C[19,20,27] และรองลงมาเป็นสูตรการคำนวณของ Puavilai ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r = 0.949$-0.968) และจากการคำนวณจากทั้ง 4 สูตรมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ LDL-C ที่ได้จากการวัดโดยตรงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ทุกระดับความเข้มข้นของ TG (Table 4) ซึ่งการวัดโดยตรงเป็นการใช้วิธีทางเคมีในการวัดปริมาณ LDL-C ในขณะที่สูตรคำนวณใช้การประมาณค่าจากองค์ประกอบไขมันอื่น ๆ ความแตกต่างนี้อาจนำไปสู่ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ[5] รวมถึงสูตรคำนวณแต่ละสูตรมีข้อจำกัดเฉพาะ เช่น สูตรของ Friedewald มีข้อจำกัดในกรณีที่ระดับ TG มากกว่า 400 mg/dL[5,7-9,16] ซึ่งอาจทำให้ค่าที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าที่วัดโดยตรง ซึ่งสูตรของ Friedewald ใช้สมมติฐานว่า VLDL-C มีอิทธิพลอย่างมากต่อระดับ TG และอัตราส่วนระหว่าง TG และ VLDL-C คือ 5 อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนที่แท้จริงมีความแตกต่างกัน ดังนั้น หลายการศึกษาได้ระบุว่าสูตรของ Friedewald มีแนวโน้มที่จะประมาณค่า LDL-C สูงหรือต่ำเกินไปในแต่ละบุคคล โดยเฉพาะในผู้ที่มีภาวะ เช่น โรคเบาหวาน โรคตับจากแอลกอฮอล์ และภาวะไตวายเรื้อรังที่ได้รับการฟอกเลือด[10-13]

เมื่อแบ่งกลุ่มตามระดับ TG ความแม่นยำของทุกสูตรจะลดลงเมื่อระดับ TG สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ TG ≥ 400 mg/dL ที่ระดับ TG < 200 mg/dL ทุกสูตรยังให้ผลการประมาณที่มีความสัมพันธ์สูงกับค่า LDL-C ด้วยวิธีวัดโดยตรง สูตรของ Martin แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่โดดเด่นในหลายระดับของ TG โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง TG ต่ำกว่า 400 mg/dL ซึ่งครอบคลุมผู้ป่วยส่วนใหญ่ในการศึกษานี้ ที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ และในกรณีที่ระดับ TG สูงมาก (≥ 400 mg/dL) ประสิทธิภาพของสูตรคำนวณทั้งหมดลดลงอย่างเห็นได้ชัด และพบว่าสูตรของ Hata มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยสูงที่สุดในทุกระดับ TG และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำกว่า ($r = 0.903$-0.965) เมื่อเทียบกับ 3 สูตรซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้[28,29]

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสูตรของ Martin มีข้อดีที่ให้ผลการประมาณที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดในทุกระดับ TG มีความแม่นยำสูงแม้ในกรณีที่ TG ≥ 400 mg/dL ซึ่งแม้ข้อจำกัดอาจมีความซับซ้อนในการคำนวณมากกว่าสูตรอื่น ๆ แต่มีข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือ สามารถใช้ได้กับตัวอย่างเลือดที่

160-68 #in □.□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9349 28/4/2568 BE 15:22

เจาะโดยไม่ต้องอดอาหาร ทำให้สะดวกต่อผู้ป่วยและแพทย์มากขึ้นอีกด้วย[30]

การศึกษานี้เปรียบเทียบระดับ LDL-C ที่วัดได้โดยตรงกับค่าที่ประมาณโดยใช้เกณฑ์กำหนดระดับไขมันจาก The National Cholesterol Education Program (NCEP)[3] เพื่อประเมินความสอดคล้อง พบว่าสูตรของ Puavilai ให้ผลการประมาณที่สอดคล้องกับการวัดโดยตรงมากที่สุด โดย $K = 0.438$ (95% CI: 0.413-0.463) (moderate agreement) ส่วนสูตรอื่น ๆ ให้ผลความสอดคล้องในระดับพอใช้ จะเห็นได้ว่าเมื่อดูความสอดคล้องแล้วสูตรของ Puavilai ให้ผลสอดคล้องในการใช้เกณฑ์ประเมิน NCEP ที่ดีกว่า โดยสูตรนี้ได้พัฒนาขึ้นสำหรับคนไทยซึ่งให้ผลการศึกษาที่ดีกว่าเนื่องจากมีความจำเพาะต่อประชากรไทยโดยที่ไม่ต้องอดอาหาร ไม่ต้องคำนึงถึงเวลาของอาหารมื้อสุดท้าย อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดที่ระดับ TG ต่ำกว่า 300 mg/dL[15] และหลายการศึกษาในคนไทย ค่า LDL-C ที่ได้จากการคำนวณจากสูตรนี้ ให้ผลที่มีความสัมพันธ์กันดีมากกับ LDL-C ที่ได้จากวิธีวัดโดยตรงที่ระดับ TG น้อยกว่าหรือเท่ากับ 400 mg/dL[31,32] การเปรียบเทียบระดับ LDL-C ระหว่างการวัดโดยตรงกับการประมาณค่าโดยใช้สูตรคำนวณตามเกณฑ์ของ NCEP แสดงให้เห็นว่าสูตรคำนวณมักประเมินค่า LDL-C ต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งอาจส่งผลให้ผู้ป่วยถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำกว่าที่ควร นำไปสู่การรักษาที่ไม่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้จึงควรตระหนักถึงข้อจำกัดของสูตรคำนวณ และใช้วิจารณญาณทางคลินิกประกอบการตัดสินใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ค่า LDL-C ของผู้ป่วยอยู่ใกล้เกณฑ์การรักษา การพิจารณาใช้วิธีวัดค่า LDL-C โดยตรงอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า เพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำ อันจะนำไปสู่การวินิจฉัยและการรักษาที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าค่า LDL-C ที่ได้จากการคำนวณทั้ง 4 สูตรของ Friedewald, Hata, Puavilai และ Martin มีความสัมพันธ์กันดีกับวิธีการตรวจวัดโดยตรง และให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันหรือแตกต่างกันมากน้อยตามความเข้มข้นของระดับ TG และองค์ประกอบของสูตร การใช้สูตรคำนวณแต่ละสูตรมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละสูตรเหมาะสมสำหรับประชากรเฉพาะกลุ่ม ดังนั้นการใช้สูตรคำนวณอาจเป็นตัวเลือกที่คุ้มค่าด้านต้นทุนสำหรับการสั่งตรวจ LDL-C ในกรณีที่มีการตรวจร่วมกับการตรวจวัดระดับไขมันในเลือด (คอเลสเตอรอลรวม TG LDL-C และ HDL-C) อย่างไรก็ตาม ควรเลือกสูตรการคำนวณให้เหมาะสมกับกลุ่มประชากรที่ให้บริการ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการตรวจทางห้องปฏิบัติการทางการแพทย์อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้อง โดยเลือกใช้การตรวจวิเคราะห์อย่างเหมาะสมกับการคัดกรอง การดูแลรักษาทางคลินิกตามหลักฐานเชิงประจักษ์ คำนึงถึงค่าใช้จ่ายและความปลอดภัยของผู้ป่วยเป็นสำคัญ (rational laboratory use, RLU)[6] ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้สูตรการคำนวณหาปริมาณ LDL-C ที่ได้จากผลตรวจคอเลสเตอรอลรวม TG และ HDL-C ดังกล่าวมาทดแทนการตรวจวิเคราะห์ได้ แต่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดในการใช้สูตรคำนวณด้วย เช่น ปริมาณ TG ที่สูงอาจจะทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณไม่สอดคล้องกับผลที่แท้จริงได้ เป็นต้น

สรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสูตรของ Martin มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการประมาณค่า LDL-C สำหรับผู้ป่วยที่มีระดับ TG ไม่เกิน 400 mg/dL ในขณะที่สูตรของ Puavilai มีความสอดคล้องสูงสุดในการจำแนกระดับ LDL-C ตามเกณฑ์ NCEP ATP III อย่างไรก็ตาม ทุกสูตรมีแนวโน้มประมาณค่า

160-68 #in □.□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9350 28/4/2568 BE 15:22

LDL-C ต่ำกว่าการวัดโดยตรง โดยเฉพาะในกลุ่มที่มี LDL-C สูง และมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระดับ TG สูงกว่า 400 mg/dL

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs) fact sheet. [cited 2024 July 2]. Available from: https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)
2. Dein R. Screening for cholesterol, triglyceride, low-density lipoprotein (LDL) cholesterol and high-density lipoprotein (HDL) cholesterol in middle-aged female police officers and mid-level executives. J Med Tech Assoc Thailand 2005; 9. (in Thai)
3. Expert Panel on Detection, Evaluation, Treatment of High Blood Cholesterol in Adults. Executive Summary of the Third Report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). JAMA 2001; 285: 2486-97.
4. Maitra A, Hirany SV, Jialal I. Comparison of two assays for measuring LDL cholesterol. Clin Chem 1997; 43: 1040-7.
5. Nauck M, Warnick GR, Rifai N. Methods for measurement of LDL-cholesterol: a critical assessment of direct measurement by homogeneous assays versus calculation. Clin Chem 2002; 48: 236-54.
6. Ministry of Public Health. Rational Laboratory Use, RLU 2023 [monograph on the Internet]. Nonthaburi: Bureau of Laboratory Quality Standards; 2023 [cited 2024 Apr 2]. Available from: https://www.rluthailand.com/RLUguideline.pdf. (in Thai)
7. Friedewald WT, Levy RI, Fredrickson DS. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. Clin Chem 1972; 18: 499-502.
8. Lindsey CC, Graham MR, Johnston TP, Kiroff CG, Freshley A. A clinical comparison of calculated versus direct measurement of low-density lipoprotein cholesterol level. Pharmacotherapy 2004; 24: 167-72.
9. Tighe DA, Ockene IS, Reed G, Nicolosi R. Calculated low density lipoprotein cholesterol levels frequently underestimate directly measured low density lipoprotein cholesterol determinations in patients with serum triglyceride levels ≤ 4.52 mmol/l: An analysis comparing the LipiDirect® magnetic LDL assay with the Friedewald calculation. Clinica Chimica Acta 2006; 365: 236-42.
10. Rubiés-Prat J, Reverter JL, Sentí M, *et al*. Calculated low-density lipoprotein cholesterol should not be used for management of lipoprotein abnormalities in patients with diabetes mellitus. Diabetes Care 1993; 16: 1081-6.

11. Hirany S, Li D, Jialal I. A more valid measurement of low-density lipoprotein cholesterol in diabetic patients. Am J Med 1997; 102: 48-53.
12. Johnson R, McNutt P, MacMahon S, Robson R. Use of the Friedewald formula to estimate LDL-cholesterol in patients with chronic renal failure on dialysis. Clin Chem 1997; 43: 2183-4.
13. Matas C, Cabré M, La Ville A, *et al.* Limitations of the Friedewald formula for estimating low-density lipoprotein cholesterol in alcoholics with liver disease. Clin Chem 1994; 40: 404-6.
14. DeLong DM, DeLong ER, Wood PD, Lippel K, Rifkind BM. A comparison of methods for the estimation of plasma low- and very low-density lipoprotein cholesterol. The Lipid Research Clinics Prevalence Study. JAMA 1986; 256: 2372-7.
15. Puavilai W, Laorugpongse D, Deerochanawong C, Muthapongthavorn N, Srilert P. The accuracy in using modified Friedewald equation to calculate LDL from non-fast triglyceride: a pilot study. J Med Assoc Thai 2009; 92: 182-7. (in Thai)
16. Martin SS, Blaha MJ, Elshazly MB, *et al.* Comparison of a novel method vs the Friedewald equation for estimating low-density lipoprotein cholesterol levels from the standard lipid profile. JAMA 2013; 310: 2061-8.
17. Lee J, Jang S, Son H. Validation of the Martin Method for Estimating Low-Density Lipoprotein Cholesterol Levels in Korean Adults: Findings from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey, 2009-2011. PLoS One 2016; 11: e0148147.
18. Hata Y, Nakajima K. Application of Friedewald's LDL-cholesterol estimation formula to serum lipids in the Japanese population. Jpn Circ J 1986; 50: 1191-200.
19. Kang M, Kim J, Lee SY, *et al.* Martin's Equation as the Most Suitable Method for Estimation of Low-Density Lipoprotein Cholesterol Levels in Korean Adults. Korean J Fam Med 2017; 38: 263-9.
20. Alpdemir M, Alpdemir MF. Comparison of Martin and Friedewald equation for estimated LDL-C in adults. Turk Kardiyol Dern Ars 2021; 49: 619-26.
21. Alpdemir MF, Alpdemir M. Comparison of different equations for estimation of low-density lipoprotein (LDL) - cholesterol. Turkish Journal of Biochemistry 2020; 45: 601-11.
22. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 1977; 33: 159-74.
23. Leowattana W. Tobunluepop P, Kiartivich S, Sribhen K. Analytical performance of direct LDL-cholesterol assay compared with Friedewald LDL-cholesterol and apolipoprotein B assay Siriraj Hosp Gaz 1998; 50: 65-73 (in Thai)

160-68 #in □.□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9352 28/4/2568 BE 15:22

24. Choosongsang P, Musigawan P, Chayanannukul W, Wannapong N, Pokathikorn A. Comparison of LDL-cholesterol using the Friedewald calculation and homogeneous enzymatic assay. Songklanagarind Med J 2008; 26. (in Thai)
25. Charuruks N, Milintagas A. Evaluation of calculated low-density lipoprotein against a direct assay. J Med Assoc Thai 2005; 88 Suppl 4: S274-9. (in Thai)
26. Ferrinho C, Alves AC, Bourbon M, Duarte S. Applicability of Martin-Hopkins formula and comparison with Friedewald formula for estimated low-density lipoprotein cholesterol in e_COR study population. Revista Portuguesa de Cardiologia (English edition) 2021; 40: 715-24.
27. Zafrir B, Saliba W, Flugelman MY. Comparison of novel equations for estimating low-density lipoprotein cholesterol in patients undergoing coronary angiography. J Atheroscler Thromb 2020; 27: 1359-73.
28. Chowdary MVP. Comparison of formula-based methods with diverse TGL: VLDL-C ratio for calculating LDL-C in a tertiary care hospital. J Lab Physicians 2022; 14: 65-73.
29. Sankanagoudar S, Tomo S, Shukla RKG, Sharma P. Comparative study of calculated LDL-cholesterol levels with the direct assay in patients with hypothyroidism. J Lab Physicians 2022; 14: 456-64.
30. Sathiyakumar V, Park J, Golozar A, *et al.* Fasting versus nonfasting and low-density lipoprotein cholesterol accuracy. Circulation 2018; 137: 10-9.
31. Kijburana K. Correlation of triglyceride levels on low-density lipoprotein cholesterol calculation values compared with direct measurement Method. R3 Med PHJ-3 2022; 19: 101. (in Thai)
32. Sonsok S, Sarakarn P, Sanchaisuriya P. Comparison of three equations for estimating low-density lipoprotein-cholesterol in the rural northeastern region of Thailand. J Clin Lab Anal 2020; 34: e23429. (in Thai)

160-68 #in □.□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□ 53-1 p.6.indd 9353 28/4/2568 BE 15:22