



Original Article

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการถ่ายภาพเอกซเรย์ดิจิทัลระบบดีอาร์ของทรวงอกโดยใช้หุ่นจำลองรูปตัววีและการวิเคราะห์ของทาคุชิ

Optimizing the minimum detectable difference of chest protocol digital radiography system by V-shaped line gauge phantom and Taguchi analysis

สัมฤทธิ์ กิตติพิชัย^{1*} • ภัคสุภา โลเด² • สลิพัชร ปัญจอุดมรัตน์²

¹โรงเรียนรังสีเทคนิค คณะเทคโนโลยีวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์การแพทย์เจ้าฟ้าจุฬาภรณ ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

²ภาควิหารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

Samrit Kittipayak^{1*} • Puksupa Lodea² • Salinpatr Panjaudomrat¹

¹School of Radiological Technology, Faculty of Health Science Technology, HRH Princess Chulabhorn College of Medical Science, Bangkok, Thailand

²Department of Radiological Technology, Faculty of Medical Technology, Mahidol University, Bangkok, Thailand

ผู้รับผิดชอบบทความ: สัมฤทธิ์ กิตติพิชัย | Corresponding author: Samrit Kittipayak (Samrit.kit@rca.ac.th)

Received: 16 February 2024 | Revised: 9 April 2024 | Accepted: 23 April 2024

Thai J Rad Tech 2024;49(1):14-25

บทคัดย่อ

บทนำ: การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องเอกซเรย์เป็นเรื่องสำคัญ จำเป็นต้องถ่ายภาพเอกซเรย์ที่สามารถตรวจวัดเนื้อเยื่อหรือวัตถุที่มีขนาดเล็กที่สุดและเห็นความแตกต่างนั้นได้ เพื่อให้แพทย์สามารถวินิจฉัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ **วัตถุประสงค์:** เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและหาค่าความแตกต่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ตรวจวัดได้ โดยการวิเคราะห์ของทาคุชิและ เพื่อทดสอบหุ่นจำลองรูปตัววีที่สร้างขึ้นเอง ว่าสามารถนำมาใช้กับเครื่องเอกซเรย์ดิจิทัลระบบดีอาร์ สำหรับเทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์ทรวงอกได้ **วิธีการศึกษา:** ถ่ายภาพหุ่นจำลองรูปตัววี ที่ประกอบด้วยหุ่นจำลองวัสดุสมมูลเนื้อเยื่อแบบแข็ง โดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ 5 ปัจจัย ได้แก่ (A) ขนาดของจุดโฟกัส (B) ความต่างศักย์ (C) กระแสหลอดคูณเวลา (D) ตัวกรองรังสี และ (E) ความหนาหุ่นจำลอง ซึ่งแต่ละปัจจัยปรับเปลี่ยนได้ 2 หรือ 3 ระดับ และใช้ตารางแนวแถวตั้งฉากแบบ L_{18} ในการออกแบบการทดลอง อ่านผลภาพที่ได้ นำผลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และหาความละเอียดเชิงพื้นที่ โดยการวัดค่าความแตกต่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ตรวจวัดได้ **ผลการศึกษา:** วิธีการของทาคุชิสามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนมากที่สุดที่ปัจจัย (A) ขนาดของจุดโฟกัสขนาดใหญ่ (B) ความต่างศักย์ 140 (C) กระแสหลอดคูณเวลา 6.25 (D) ตัวกรองรังสี 0.1 มิลลิเมตร และ (E) ความหนาหุ่นจำลอง 16 เซนติเมตร **สรุปผลการศึกษา:** หุ่นจำลองรูปตัววีสามารถให้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการของทาคุชิได้ โดยค่าความแตกต่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ตรวจวัดได้คือ 0.87 มิลลิเมตร เทียบกับพารามิเตอร์เดิมที่ 1.66 มิลลิเมตร และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ทุกปัจจัยส่งผลต่อคุณภาพของภาพอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: หุ่นจำลองรูปตัววี, ความแตกต่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ตรวจวัดได้, การวิเคราะห์ของทาคุชิ, เอกซเรย์ดิจิทัลระบบดีอาร์

Abstract

Background: The Minimum Detectable Difference (MDD) of Digital Radiography (DR) image systems was quantified and optimized using a self-developed V-shaped line gauge phantom and Taguchi optimization analysis. The increased clinical applications of the DR system are mainly due to its ability to provide instant and precise imaging for radiologists to diagnose. **Objective:** The purpose of this study was to optimize parameters for MDD values based on Taguchi's analysis and to verify a self-developed V-shaped line gauge phantom for the chest protocol of the DR system. **Materials and methods:** The chest protocol was exposed using the V-shaped line gauge and solid acrylic water phantom in various sizes with the DR system. Five factors were assigned in this study: (A) focal spot, (B) kVp, (C) mAs, (D) filter, and (E) phantom thickness. Since each factor could have two or three levels, eighteen groups of factor combinations were organized according to Taguchi's algorithm. The V-shaped line gauge images were estimated. ANOVA was adopted to determine the significant factors and MDD values to evaluate the spatial resolution. **Results:** The optimal parameters for the highest Signal-to-Noise (S/N) ratio were as follows: (A) large focal spot, (B) 140 kVp, (C) 6.25 mAs, (D) 0.1 mmCu filter, and (E) phantom thickness of 16 cm. **Conclusion:** The optimal parameters in this study provided an MDD value of 0.87 mm compared to 1.66 mm for conventional parameters. The self-developed V-shaped line gauge phantom also proved to be suitable for the DR system. Furthermore, all factors affected the image quality with statistical significance following the ANOVA analysis.

Keywords: V-shaped line gauge phantom, Minimum Detectable Difference, Taguchi analysis, Digital Radiography

บทนำ

ปัจจุบันการถ่ายภาพเอกซเรย์ทรวงอกเป็นหนึ่งในขั้นตอนพื้นฐานของการตรวจสุขภาพ เช่น การวินิจฉัยแยกโรค การตรวจสุขภาพประจำปี เป็นต้น เพื่อตรวจหารอยโรคภายในทรวงอก ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องเอกซเรย์จึงเป็นเรื่องสำคัญ ภาพเอกซเรย์ที่สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างเนื้อเยื่อสองชนิดที่มีความแตกต่างกันน้อยมากได้ (high spatial resolution) หรือสามารถเห็นความแตกต่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ตรวจวัดได้ (Minimum Detectable Difference, MDD) ทำให้แพทย์สามารถวินิจฉัยให้ผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การศึกษานี้ใช้เครื่องเอกซเรย์ดิจิทัลระบบดิอาร์ โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพทรวงอก (chest protocol) คุณภาพของภาพเอกซเรย์ขึ้นอยู่กับ 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ขนาดของจุดโฟกัส (focal spot), ค่าความต่างศักย์ (kVp) ค่ากระแสหลอดคูณเวลา (mAs) ตัวกรองรังสี (filter) และ ความหนาหุ่นจำลอง (phantom thickness) และการตั้งค่าปัจจัยดังกล่าวจะทำให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดเหมาะสม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มความถูกต้องแม่นยำในการวินิจฉัยของแพทย์ โดยในการศึกษานี้จะพิจารณาจากหาความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) ด้วยการหาค่า MDD คือ ระยะห่างของจุดสองจุดที่สามารถแยกออกจากกันได้โดยพิจารณาจากระดับ

นัยสำคัญที่กำหนด หากยิ่ง MDD มีค่าน้อย จะแสดงถึง spatial resolution ที่ดีของภาพทำให้แพทย์สามารถเห็นรอยโรคที่มีขนาดเล็กในภาพได้ การวัด MDD เป็นการวัดได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งดูจากระยะของเส้นในหุ่นจำลองรูปตัววี (V-shaped line gauge phantom) ที่เล็กที่สุดที่สามารถแยกออกจากกันได้ โดยนำวิธีการของทาгуชิ (Taguchi analysis) มาประยุกต์ใช้ วิธีการของทาгуชิเป็นแนวทางการออกแบบการทดลอง โดยใช้ตารางแนวแถวตั้งฉาก (Orthogonal Array) ซึ่งเป็นตารางมาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดจำนวนการทดลองให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการทดลองนั้นๆ มีข้อดี คือ ช่วยลดจำนวนครั้งและเวลาในการทดลอง โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยและระดับของปัจจัยจำนวนมากได้^[1-3]

การทำประกันคุณภาพของเครื่องเอกซเรย์อย่างสม่ำเสมอจะทำให้มั่นใจได้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องยังคงมีคุณภาพเหมือนวันตรวจแรกรับ โดยปกติแล้วการทำประกันคุณภาพของเครื่องเอกซเรย์มีเครื่องมือที่สำคัญ คือ DR QC phantom^[4,5] ซึ่งเป็นอุปกรณ์นำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาสูง ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดด้านงบประมาณ ดังนั้นหากสามารถผลิตเครื่องมือสำหรับการทำประกันคุณภาพได้เอง จะส่งผลให้ได้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ ต้นทุนไม่สูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อยอด

กับเทคนิคการถ่ายภาพอื่นๆได้^[6-8] การศึกษานี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยการหาค่า MDD โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีของทางูชิ และเพื่อทดสอบ V-shaped line gauge phantom ที่สร้างขึ้นเองว่าสามารถนำมาใช้กับเครื่องเอกซเรย์ดิจิทัลระบบดีอาร์ สำหรับเทคนิคการถ่ายภาพทรวงอกได้

วิธีดำเนินการศึกษา

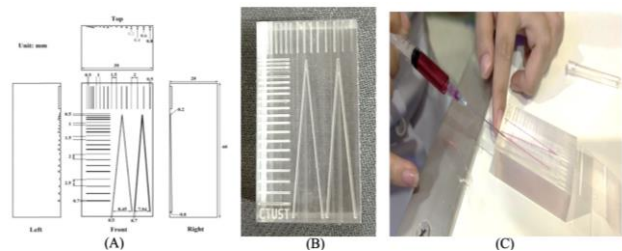
การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย เนื่องจากเครื่องเอกซเรย์ดิจิทัลระบบดีอาร์ Samsung รุ่น XGEO GU60 Series มีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้หลายค่า โดยพารามิเตอร์ที่สนใจและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีการกำหนดปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัย^[9-12] ได้แก่ 1) ขนาดของจุดโฟกัส (focal spot size), 2) ความต่างศักย์หลอด (kVp), 3) กระแสหลอดคูณเวลา (mAs) 4) ตัวกรองรังสี (filter) และ 5) ความหนาของหุ่นจำลอง (phantom thickness) เมื่อทำการกำหนดปัจจัยแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การกำหนดระดับของปัจจัย โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ตาราง L_{18} orthogonal array เนื่องจากจำนวนปัจจัยมีทั้งหมด 5 ปัจจัยและระดับของปัจจัยมี 2-3 ระดับ ทำให้มีจำนวนการทดลองทั้งสิ้นจำนวน 18 การทดลอง ซึ่งเพียงพอและให้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือ

นำพารามิเตอร์ มาจัดเรียงให้อยู่ใน L_{18} orthogonal array แสดงตามตารางที่ 1 นำสารเปรียบต่าง (contrast media) มาย้อมสี และฉีดใส่ช่อง slit ของ V-shaped line gauge ดังรูปที่ 1 นำ V-shaped line gauge ที่ได้ไปประกอบในหุ่นจำลองวัสดุผสมเนื้อเยื่อแบบแข็ง (acrylic solid water phantom) ขนาดต่างๆ จากนั้นนำหุ่นจำลองที่ได้ไปจัดตำแหน่งให้เหมือนกับการถ่ายภาพเอกซเรย์ทรวงอก (chest PA) โดยจัดให้เลเซอร์ตัดที่กึ่งกลางของหุ่นจำลอง ดังรูปที่ 2 เลือกโปรโตคอลในการถ่ายภาพเป็น chest PA ทำการถ่ายภาพโดยตั้งพารามิเตอร์ตามตารางมาตรฐานของทางูชิโดยเริ่มจากการทดลองที่ 1 จนถึงการทดลองที่ 18 และเพิ่มการทดลองที่ 19 โดยใช้พารามิเตอร์เดิมของตัวเครื่อง และนำภาพที่ได้ไปอ่านผลเชิงคุณภาพโดยนักศึกษารังสีเทคนิค 3 คน อ่านผลภาพที่ได้โดยใช้โปรแกรม DICOM CD Viewer แต่ละคนอ่านผลคนละ 19 รูป รูปละ 3 ครั้ง รวมเป็น 57 ครั้ง ในการอ่านภาพจะเป็นการเรียงสลับภาพแบบสุ่ม มีหลักเกณฑ์ในการอ่านคือ ให้ผู้อ่านทำการวัดระยะห่างจากกึ่งกลางของตัว V ข้างหนึ่งไปยังกึ่งกลางของตัว V อีกข้างหนึ่ง (วัดระยะห่างรูปตัว V ที่มีความกว้างเท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร)

โดยระยะห่างนั้นจะต้องเป็นระยะห่างที่สั้นที่สุดที่ผู้อ่านสามารถมองเห็นได้ ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และระดับปัจจัยของพารามิเตอร์ที่ใช้

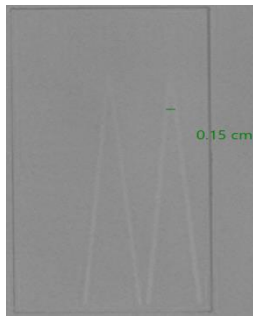
Factor	Level 1	Level 2	Level 3
(A) Focal spot	Small	Large	-
(B) kVp	120	130	140
(C) mAs	4	5	6.25
(D) Filter (mm Cu)	None	0.1	0.3
(E) Phantom thickness (cm)	16	20	24



รูปที่ 1 แสดง (A) ภาพหน้าตัดและภาพ V-shaped line gauge phantom ที่ผลิตเอง (B) และ (C) การฉีด contrast ผสมสีใน V-shaped line gauge phantom



รูปที่ 2 ภาพการจัดตำแหน่ง V-shaped line gauge phantom ประกอบรวมกับ acrylic solid water phantom เพื่อจำลองการถ่ายภาพเอกซเรย์ปอด



รูปที่ 3 แสดงการอ่านผลภาพที่ได้โดยใช้โปรแกรม DICOM CD Viewer

นำผลอ่านที่ได้ทั้ง 3 ครั้งของแต่ละคนมาหาค่าเฉลี่ย (Average) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และ Signal-to-noise ratio (S/N) ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้ S/N เป็นแบบ Larger-the-better เป็นการกำหนด S/N สำหรับจุดประสงค์ของการทดลองที่ต้องการได้ค่า output หรือ response มากที่สุด สามารถหาได้จากสมการที่ 1 ดังนี้^[6,8]

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}}{n} \right] \quad (1)$$

เมื่อ n คือ จำนวนผู้อ่าน และ y คือ ค่าที่ผู้อ่านแต่ละคนอ่านได้

นำข้อมูล S/N ของแต่ละระดับปัจจัยที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป จากการเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเทียบกับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ซึ่งวิธีการนี้มีข้อจำกัดว่า ประชากรนั้นจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ ตัวอย่างที่สุ่มมาต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรปรวนเท่ากัน คำนวณตามสมการที่ 2^[6,8]

$$SS_{Total} = SS_{Factors} + SS_{Error} \quad (2)$$

โดย SS_{Total} คือความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้น $SS_{Factors}$ คือความแปรปรวนที่เกิดในแต่ละปัจจัย และ SS_{Error} คือความแปรปรวนของระบบ คำนวณตามสมการที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ^[6,8]

$$SS_{Total} = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r y_{ij}^2 \right] - n \times r \times \bar{y}^2 \quad (3)$$

$$SS_{Factor} = \frac{n \times r}{L} \sum_{k=1}^L (\bar{y}_k - \bar{y})^2 \quad (4)$$

$$SS_{Error} = SS_{Total} - \sum_{i=1}^n SS_{Factor} \quad (5)$$

เมื่อ n คือ จำนวนการทดลอง

r คือ จำนวนผู้อ่านผลการทดลอง

L คือ จำนวนระดับของปัจจัย F

$\bar{y}_k$ คือ ค่าเฉลี่ย S/N ของปัจจัยนั้นๆ

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลอ่านทั้งหมด

y_{ij} คือ ผลอ่านของการทดลองที่ i ของผู้อ่านคนที่ j

ทำการหา degree of freedom (DOF) จากสมการที่ 6, 7 และ 8 ตามลำดับ^[6,8]

$$DOF_{Total} = n \times r - 1 \quad (6)$$

$$DOF_{Factor} = L - 1 \quad (7)$$

$$DOF_{Error} = n \times (r - 1) \quad (8)$$

นำข้อมูลที่ได้จากการหา ANOVA และ DOF มาหา F-test ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการวัดจากกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (statistical significance) หรือไม่ โดยมีหนึ่งในสมมติฐานเบื้องต้น (assumption) ว่าการกระจายของค่าที่วัดนั้นเป็นแบบปกติ (normal distribution) โดยการหาค่า F-test หาได้จากสมการที่ 9 โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่น (confidence level) อยู่ที่ 95% หากปัจจัยใดมี confidence level เกินกว่า 95% ถือว่าปัจจัยนั้นส่งผลต่อคุณภาพของภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ^[13]

$$F_{factor} = \frac{SS_{factor} / DOF_{factor}}{SS_{Error} / DOF_{Error}} \quad (9)$$

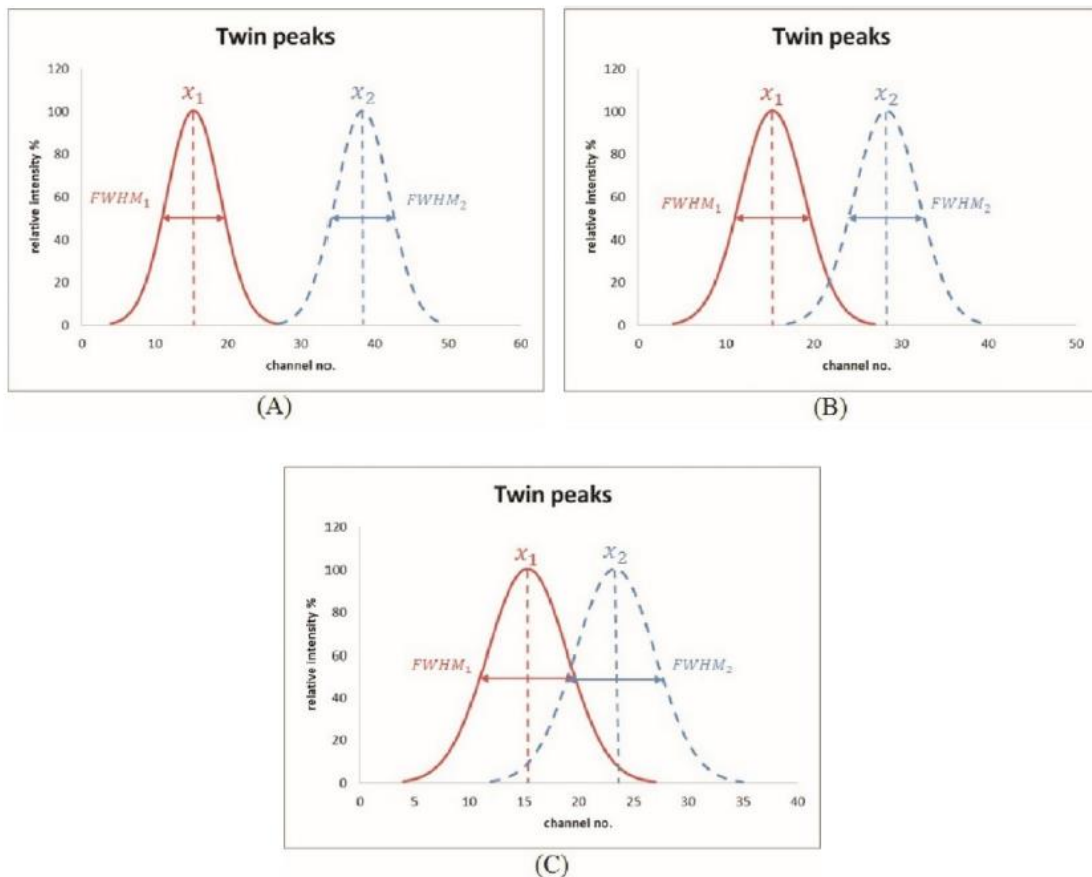
ในงานวิจัยก่อนหน้านี้มักประเมิน spatial resolution จากการวัดค่า Full Width at Half Maximum (FWHM) ซึ่งเป็นการหาความกว้างของพีค ณ ความสูงครึ่งหนึ่ง โดยวัดค่าจาก 1 พีค^[14] แต่ MDD คือ การหาระยะทางที่สามารถแยกจุดสองจุดที่อยู่ใกล้กันให้สามารถแยกออกจากกันได้ตามระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด การถ่ายภาพเอกซเรย์โดยทั่วไป หากมองด้วยตาเปล่า เราอาจเห็นจุดสองจุดแยกออกจากกันในระยะที่กว้างมากพอให้สายตาสามารถแยกจุดออกจากกันได้ แต่ความเป็นจริงแล้ว ระยะทางที่สั้นที่สุด ที่แยกจุดสองจุดออกจากกันได้ นั้น ไม่สามารถแยกได้ด้วยสายตา(เชิงคุณภาพ) เนื่องจากความเบล

ของขอบพิกที่ซ้อนเหลื่อมกัน MDD จึงเป็นการหาระยะห่างที่แท้จริง(เชิงปริมาณ) ของจุดสองจุดที่มีส่วนเบลอซ้อนเหลื่อมกัน จากนั้นนำมาทดสอบด้วย revised student's t-test ที่กำหนด confidence levels เช่น 95% หรือ 99% เป็นต้น เพื่อทดสอบระยะห่างระหว่างจุดสองจุดและพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟของส่วนเบลอของจุดทั้งสองนั้น ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ หากจุดทั้งสองมีระยะห่างมากกว่าหรือเท่ากับระดับความเชื่อมั่นที่ได้กำหนดไว้ ถือว่าระยะห่างนั้นผ่านการทดสอบและถือเป็นค่า MDD ของระบบนั้น แต่หากระยะห่างของจุดสองจุดน้อยกว่าระดับความเชื่อมั่นที่ได้กำหนดไว้ แสดงว่าส่วนที่เบลอของจุดสองจุดนั้นซ้อนเหลื่อมกันมากเกินไป ถือว่าไม่ผ่านการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10^[6,8]

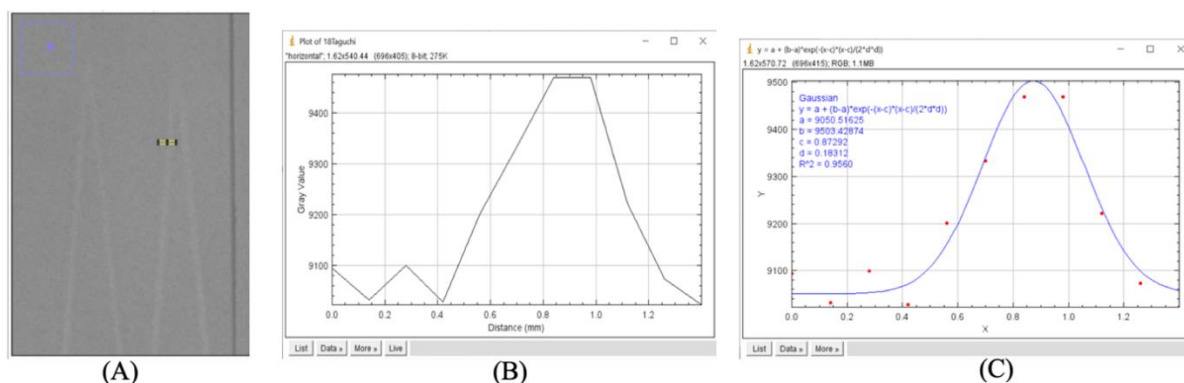
$$|X_1 - X_2| \geq 1.96 \times \sqrt{\left(\frac{FWHM_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{FWHM_2}{2}\right)^2} \quad (10)$$

เมื่อ X_1 และ X_2 คือ ระยะกึ่งกลางของพิก 1 และ 2 ตามลำดับที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่า MDD ยังมีค่าน้อยจะแสดงว่าภาพนั้นมี spatial resolution ที่ดี ซึ่งการถ่ายภาพเอกซเรย์ทรวงอกควรมี spatial resolution ที่ดี จากการที่อวัยวะภายในทรวงอกมีความหนาแน่นที่ต่างกัน ภาพที่ได้จึงควรมีความละเอียดมาก ทำให้การวินิจฉัยของแพทย์นั้นมีความถูกต้องแม่นยำ วิธีการหาค่า MDD โดยเริ่มจากการเปิดภาพในโปรแกรม ImageJ วาด ROI สี่เหลี่ยมแต่ละข้างของ slit รูปตัว V ถัดมาเลือกคำสั่ง Analyze > Plot Profile จะแสดงผลในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางใน ROI และ Grey value จากนั้นเลือกคำสั่ง Analyze > Tools > Curve Fitting และนำข้อมูลของกราฟที่ได้มาใส่ในหน้าต่างของ Curve Fitting และเลือก Gaussian เพื่อแปลงกราฟเป็น gaussian curve และจะได้ค่าตัวแปรต่างๆ ที่นำมาใช้ประกอบการคำนวณ MDD ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ภาพแสดงระดับความเชื่อมั่นของพิกที่ใช้ในการหาค่า MDD (A) พิกทั้งสองสามารถแยกออกจากกันอย่างชัดเจน (B) พิกทั้งสองมีความซ้อนเหลื่อมกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนดและ (C) พิกทั้งสองซ้อนเหลื่อมกันมากเกินไประดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

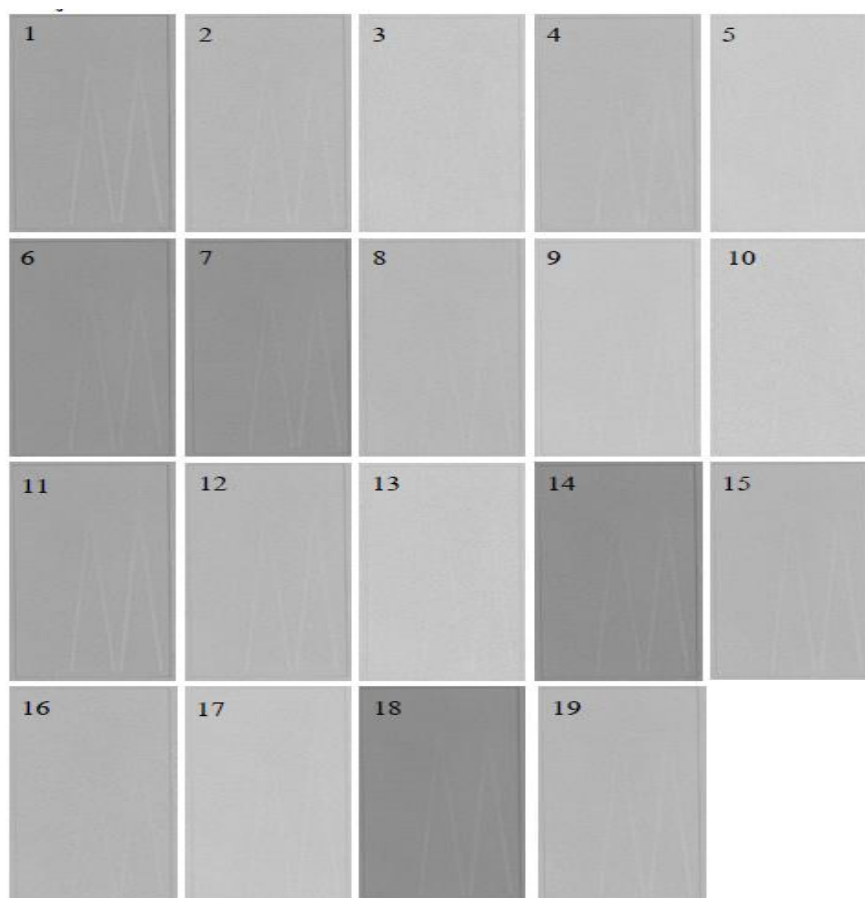


รูปที่ 5 ภาพ (A) การวาด ROI สีเหลี่ยมของ slit รูปตัว V (B) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางใน ROI และ Grey value และ (C) แปลงเป็น Gaussian curve และค่าตัวแปรต่างๆเพื่อใช้คำนวณค่า MDD

ผลการศึกษา

ผลจากวิธีการของทางุฑิ จากการถ่ายภาพ V-shaped line gauge phantom โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ทั้ง 18 กลุ่ม การทดลอง ตามตารางมาตรฐาน L_{18} orthogonal array และใช้พารามิเตอร์เดิมในกลุ่มการทดลองที่ 19 ทำให้ได้ภาพทั้งหมด 19 ภาพ ดังแสดงในรูปที่ 6

จากผลอ่านที่ได้นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและ S/N ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ Larger-the-better ในการคำนวณค่า S/N พบว่าการใช้ค่าพารามิเตอร์กลุ่มที่ 18 ผลอ่านของผู้อ่านทั้ง 3 คนมีค่าน้อยที่สุด ส่งผลให้ได้ค่า S/N มากที่สุด จึงถือเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (optimal parameter) ของการศึกษาครั้งนี้ แสดงตามตารางที่ 2



รูปที่ 6 แสดงภาพ V-shaped line gauge ทั้ง 19 การทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงค่าที่อ่านได้, ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ S/N จากการอ่านภาพที่ได้จากการทดลองทั้ง 19 ของผู้อ่านทั้ง 3 คน

Exp.	Factors					Results		
	Focal spot	kVp	mAs	Filter (mm Cu)	Phantom thickness (cm)	Avg	SD	S/N
1	Small	120	4	None	16	1.40	0.265	-3.0
2	Small	120	5	0.1	20	1.77	0.231	-5.0
3	Small	120	6.25	0.3	24	2.17	0.321	-6.8
4	Small	130	4	None	20	1.77	0.208	-5.0
5	Small	130	5	0.1	24	1.47	0.503	-3.7
6	Small	130	6.25	0.3	16	1.40	0.265	-3.0
7	Small	140	4	0.1	16	1.37	0.321	-2.9
8	Small	140	5	0.3	20	2.17	0.208	-6.7
9	Small	140	6.25	None	24	1.83	0.252	-5.3
10	Large	120	4	0.3	24	3.30	0.173	-10.4
11	Large	120	5	None	16	1.47	0.321	-3.5
12	Large	120	6.25	0.1	20	1.47	0.321	-3.5
13	Large	130	4	0.1	24	2.43	0.252	-7.8
14	Large	130	5	0.3	16	1.43	0.252	-3.2
15	Large	130	6.25	None	20	1.57	0.351	-4.0
16	Large	140	4	0.3	20	2.43	0.153	-7.7
17	Large	140	5	None	16	2.37	0.058	-7.5
18	Large	140	6.25	0.1	24	1.30	0.265	-2.4
19	Large	130	5	None	20	1.40	0.400	-3.2

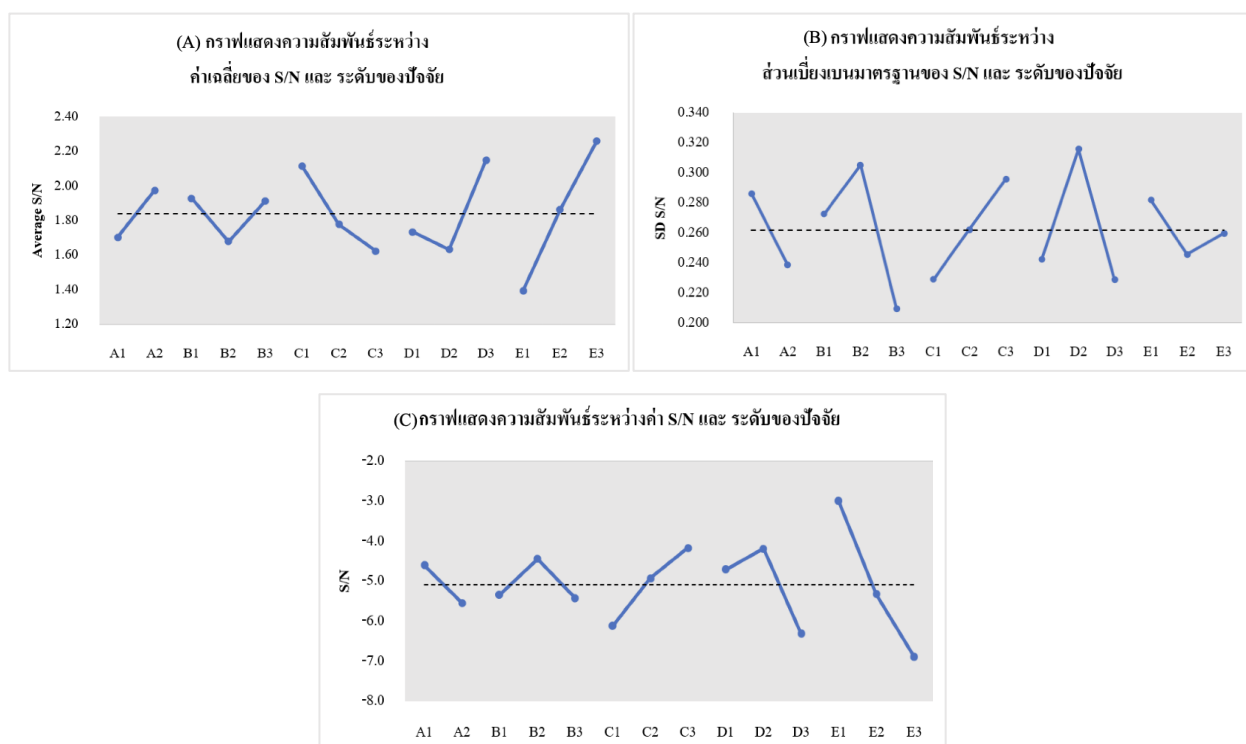
Exp. = การทดลองครั้งที่ (experiment no.), Avg = ค่าเฉลี่ย (average) SD=ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) S/N= อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (signal-to-noise ratio)

นอกจากนี้ยังมีการนำค่า S/N ของผลอ่านแต่ละกลุ่มที่ได้ นำมาหา S/N ของแต่ละระดับปัจจัย เพื่อจัดลำดับปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพมากที่สุด จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของ S/N ที่ได้ และนำค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า S/N ของแต่ละระดับปัจจัยมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่า S/N กับระดับของปัจจัย ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพมากที่สุดสามอันดับแรก ได้แก่ phantom thickness, filter และ mAs ตามลำดับ

ผลจากการทดสอบ ANOVA และ F-test นั้นเป็นการทดสอบเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดส่งผลต่อคุณภาพของภาพมาก

ที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยนำ S/N ของแต่ละระดับปัจจัยมาประกอบการคำนวณ ซึ่งผลที่ได้เป็นไปดังตารางที่ 3 คือ ปัจจัยทุกตัวส่งผลต่อคุณภาพของภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลจากการวิเคราะห์ MDD และ Revised student's t-test หลังจากการนำภาพ V-shaped line gauge phantom ที่ได้จากการใช้พารามิเตอร์ทั้ง 18 กลุ่ม รวมถึงพารามิเตอร์เดิมซึ่งเป็นกลุ่มที่ 19 มาวิเคราะห์หาค่า MDD โดยใช้โปรแกรม ImageJ และทำการทดสอบโดยใช้ Revised student's t-test พบว่า ค่า MDD ที่ได้จากกลุ่มที่ 18 มีค่าน้อยที่สุด คือ 0.87 มิลลิเมตร และ MDD จากพารามิเตอร์เดิม คือ 1.66 มิลลิเมตร แสดงตามตารางที่ 4



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (A) ค่าเฉลี่ย (B) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและ (C) ค่า S/N ต่อค่าระดับของปัจจัย

ตารางที่ 3 ค่าที่ได้จากการคำนวณ ANOVA และการทดสอบ F-test

Factors	SS	DOF	Var	F	Confidence	Significant
A	10.94	1	10.94	141.90	100.0%	Yes
B	12.00	2	6.00	77.90	100.0%	Yes
C	33.24	2	16.62	215.70	100.0%	Yes
D	43.32	2	21.66	281.20	100.0%	Yes
E	138.36	2	69.18	898.00	100.0%	Yes
Others	Pooled					
Error	2.77	36	0.08	S = 0.2776		
Total	17.47	53	*At least 95% confidence			

SS = ค่ารวมของความแปรปรวน (Sum of Square), DOF = จำนวนค่าอิสระ (Degrees of Freedom), Var = ค่าความแปรปรวน (Variance), F = การทดสอบแบบเอฟ (F-Test)

ตารางที่ 4 ค่า MDD ที่ได้จากการใช้โปรแกรม ImageJ ของภาพทั้ง 19 กลุ่มที่ผ่านการทดสอบด้วย Revised student's t-test

Exp.	FWHM ₁	FWHM ₂	X ₁ - X ₂	95% confidence	Results
1	0.77	0.25	1.72	0.79	Pass
2	0.26	0.26	1.59	0.36	Pass
3	0.07	0.07	1.82	0.09	Pass
4	0.37	0.30	1.61	0.47	Pass
5	0.07	0.31	1.62	0.32	Pass
6	0.29	0.20	1.49	0.35	Pass
7	0.89	0.30	1.43	0.92	Pass
8	0.58	1.25	1.85	1.35	Pass
9	0.31	0.21	1.80	0.37	Pass
10	0.70	0.47	3.14	0.83	Pass
11	0.60	0.54	1.64	0.79	Pass
12	0.30	0.77	1.77	0.81	Pass
13	0.07	0.07	2.52	0.10	Pass
14	0.42	0.54	1.68	0.67	Pass
15	0.19	0.07	1.69	0.20	Pass
16	1.10	0.19	2.35	1.10	Pass
17	0.58	0.78	2.12	0.96	Pass
18	0.07	0.53	0.87	0.52	Pass
19	0.62	0.59	1.66	0.84	Pass

Exp. = การทดลองครั้งที่ (experiment no.), FWHM = ความกว้างเต็มที่ครึ่งค่าสูงสุด (full width at half maximum), X = ระยะกึ่งกลางของพิกัด

วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการศึกษาเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและหาค่า MDD ในการถ่ายภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิจิทัลระบบดีอาร์ โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพทรงอกและการวิเคราะห์ทางทฤษฎี พบว่าการใช้พารามิเตอร์ในกลุ่มที่ 18 ให้ค่า S/N ที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่ม โดยมีค่า S/N เท่ากับ -2.4 ซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์ ดังนี้ (A) Large focal spot, (B) 140 kVp, (C) 6.25 mAs, (D) filter 0.1 mmCu และ (E) phantom thickness 16 cm เมื่อพิจารณาคุณค่า S/N ของแต่ละระดับปัจจัย พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพ คือ phantom thickness, filter และ mAs ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ด้วย ANOVA แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทุกตัวส่งผลต่อคุณภาพของภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในการหาค่า MDD ที่น้อยที่สุดจากภาพที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและค่าพารามิเตอร์เดิม ให้ผลลัพธ์เท่ากับ 0.87 และ 1.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ของค่า S/N ของ optimal parameters กับค่า

S/N ของแต่ละระดับปัจจัย ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการถ่ายภาพ V-shaped line gauge phantom โดยใช้พารามิเตอร์ทั้ง 18 จากตาราง L₁₈ orthogonal array และพารามิเตอร์เดิม เป็นวิธีที่ 19 จากนั้นให้นักศึกษาระดับปริญญาตรี 3 คนเป็นผู้อ่านผลภาพ และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหา S/N พบว่า ภาพจากการใช้พารามิเตอร์กลุ่มที่ 10 ให้ค่า S/N ที่น้อยที่สุด ในขณะที่ภาพจากการใช้พารามิเตอร์กลุ่มที่ 18 ให้ค่า S/N ที่มากที่สุด การอ่านภาพจากผู้อ่านนั้น เป็นการอ่านระยะห่างที่สั้นที่สุดที่เห็นจุดสองจุดแยกออกจากกัน ดังนั้นหากคุณภาพของภาพดี จะส่งผลให้ผู้อ่านสามารถเห็นรายละเอียดในภาพได้มากขึ้น จึงเป็นเหตุให้ผู้อ่านภาพจากการใช้พารามิเตอร์กลุ่มที่ 18 ที่ได้จากผู้อ่านทั้ง 3 คน มีค่าน้อย และเมื่อนำไปคำนวณ S/N ทำให้มีค่าที่มากที่สุด

เมื่อมีการหาค่า S/N จากการผลอ่านแล้ว ถัดมาเป็นการหาค่า S/N ของแต่ละระดับปัจจัย และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า S/N และระดับของปัจจัย พบว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยย่อย จะส่งผลให้ค่า S/N ของแต่ละระดับปัจจัยเปลี่ยนไป หากค่ามีการเปลี่ยนแปลงมาก แสดงถึง

ปัจจัยนั้นมีผลต่อคุณภาพของภาพมาก อีกทั้งหากระดับของปัจจัยย่อยใด มี S/N สูงที่สุด จะแสดงว่ากลุ่มการทดลองที่ใช้ระดับของปัจจัยนั้นจะได้ภาพที่มีคุณภาพมากขึ้น เมื่อนำพารามิเตอร์ต่างๆในกลุ่มที่ 18 มาพิจารณาอย่างละเอียด จะพบว่าระดับของปัจจัยย่อยต่างๆที่ใช้ในกลุ่มที่ 18 ที่มีค่า S/N สูงที่สุด มีดังนี้ C3 = 6 mAs, D2 = filter 0.1 mmCu และ E3 = phantom thickness 16 cm ระดับปัจจัยย่อยทั้งหมดที่กล่าวมานี้ เป็นสาเหตุที่ทำให้ภาพมีคุณภาพที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้พารามิเตอร์ในกลุ่มอื่นๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า S/N และระดับของปัจจัย เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ผลปรากฏว่าปัจจัยที่ทำการเปลี่ยนระดับปัจจัยแล้วจะส่งผลทำให้ค่า S/N เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน ได้แก่ (E) phantom thickness, (D) filter และ (C) mAs ตามลำดับ ส่วนปัจจัย (A) focal spot และ (B) kVp มีการเปลี่ยนแปลงของค่า S/N เพียงเล็กน้อย เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย ANOVA ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เพื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป โดยในการศึกษานี้กำหนดให้มีความระดับความเชื่อมั่นทางสถิติอยู่ที่ 95% ผลปรากฏว่าทุกปัจจัยมีค่าระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเท่ากับ 100% จากการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีทางทฤษฎีและ ANOVA จะสามารถสรุปได้ว่าทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อคุณภาพของภาพอย่างมีนัยสำคัญ โดยปัจจัย (E) phantom thickness, (D) filter และ (C) mAs ถือเป็นปัจจัยหลัก(dominant factors) ส่วนปัจจัย (A) focal spot และ (B) kVp นับเป็นปัจจัยรอง (minor factors)

ค่า MDD ที่น้อยที่สุดสำหรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและค่าพารามิเตอร์เดิม จากการนำภาพที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและค่าพารามิเตอร์เดิมไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

ImageJ และสมการ Revised student's t-test ได้ค่า MDD ที่ความเชื่อมั่น 95% และค่า R^2 ดังแสดงในตารางที่ 5 ในการพิจารณาค่า MDD ที่เหมาะสมแบ่งออกเป็นสามส่วน ส่วนแรกระหว่างระยะห่างกึ่งกลางของ gaussian curve ที่ 1 และ 2 จะต้องมีย่านที่น้อยที่สุดโดยยังได้ค่าน้อยจะหมายถึงภาพมีคุณภาพและรายละเอียดที่ดีมากขึ้นเท่านั้น ส่วนที่สองระยะห่างที่ได้กล่าวไว้ในส่วนแรกจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 95% confidence จากการวิเคราะห์ด้วย Revised student's t-test หากมีค่าที่น้อยกว่าระดับความเชื่อมั่น หมายความว่า gaussian curve ทั้งสองมีการซ้อนเหลื่อมกันของขอบพิกัดที่มากเกินไปจะสามารถแยกเป็นสองจุดได้ และส่วนที่สาม คือ การพิจารณาถึงความน่าเชื่อถือของค่า MDD เนื่องจาก gaussian curve ที่ได้จากภาพเป็นการนำข้อมูลของภาพมาทำ curve fitting ในโปรแกรม ImageJ ดังนั้นจะต้องประเมินความน่าเชื่อถือของ gaussian curve ที่ได้จากค่า R^2 โดยหากยังมีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่า curve มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งแสดงถึงค่า MDD ที่หาได้จากภาพของค่าพารามิเตอร์เดิม ใน ROI ที่ 3 ให้ค่า MDD ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 1.54 มิลลิเมตร และมีค่ามากกว่า 95% confidence แต่เมื่อพิจารณาค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูลพบว่ามีค่า R^2 อยู่ที่ 0.615 และ 0.402 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างน้อย กล่าวคือข้อมูลไม่น่าเชื่อถือเท่าที่ควร เมื่อพิจารณาค่า MDD ที่น้อยที่สุดรองลงมานั้นคือ ROI ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1.657 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่า 95% confidence และมีค่า R^2 ความน่าเชื่อถือของข้อมูลเท่ากับ 0.629 และ 0.729 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นค่า MDD น้อยที่สุดของค่าพารามิเตอร์เดิมจึงมีค่าเท่ากับ 1.66 มิลลิเมตร

ตารางที่ 5 ค่า MDD, ค่า 95% confidence และค่า R^2 จากภาพที่ใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกลุ่มที่ 18 และพารามิเตอร์ดั้งเดิมกลุ่มที่ 19

	MDD (mm)	95 % confidence	Results	R^2 (peak 1)	R^2 (peak 2)
Optimal	0.87	0.52	pass	0.85	0.99
Conventional	1.66	0.84	pass	0.63	0.73

MDD = ค่าความแตกต่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ตรวจวัดได้ (Minimum Detectable Difference), R^2 = ค่าความผันแปรเชิงเส้น (R-Squared)

การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative) การหาค่า MDD ในการศึกษาสามารถหาได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้ มีความแตกต่างกันที่ความน่าเชื่อถือของผลที่ได้ แสดงในตารางที่ 6 มีการหา %difference เพื่อดูความแตกต่างว่าค่าที่ได้จากการวัดทั้งสอง

วิธี มีค่าต่างกันกี่เปอร์เซ็นต์ เริ่มจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เมื่อทำการถ่ายภาพโดยใช้พารามิเตอร์ทั้ง 19 แล้ว นำภาพ V-shaped line gauge phantom ที่ได้ไปอ่านผลโดยนักศึกษารังสีเทคนิค 3 คน ซึ่งเป็นการประเมินค่า MDD จากสายตา และทำการวัดระยะห่างระหว่างขารูปตัว V ที่เห็นว่าสั้นที่สุด เนื่องจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพนี้ เป็นการอ่านภาพโดยใช้สายตาของ

มนุษย์ ส่งผลให้อาจมีปัจจัยหลายด้านที่ทำให้ผลคลาดเคลื่อนไป เช่น ความสามารถในการมองเห็นของผู้อ่านแต่ละคน หรือการคาดคะเนระยะการอ่านจากความรู้สึก เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เป็นการนำภาพทั้ง 19 ภาพมาวิเคราะห์หาค่า MDD โดยใช้โปรแกรม ImageJ จากนั้นนำข้อมูลต่างๆที่ได้จาก Gaussian curve มาวิเคราะห์และทดสอบในสมการ Revised student's t-test ซึ่งเป็นวิธีการหา MDD ที่น่าเชื่อถือกว่าการอ่านภาพจากสายตาตามมนุษย์

งานวิจัยก่อนหน้าของ Pan LF. และคณะ ทำการวิจัยเรื่อง Optimizing cardiac CT angiography minimum detectable difference via Taguchi's dynamic algorithm, a V-shaped line gauge, and three PMMA phantoms. งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การวิเคราะห์แบบ Taguchi's dynamic algorithm เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถหา MDD ในการตรวจหลอดเลือดหัวใจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (cardiac CT angiography, CTA) เพื่อถ่ายภาพ

เส้นเลือดหัวใจบริเวณที่มีการตีบตันของเส้นเลือดซึ่งจำเป็นต้องถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยภาพเคลื่อนไหวและจำเป็นต้องเห็นความแตกต่างของเนื้อเยื่อสองชนิดที่มีความแตกต่างกันน้อยมากได้

การทดลองนี้ใช้ PMMA phantom จำลองร่างกายมนุษย์สามขนาดคือ 50, 70 และ 90 กิโลกรัม ร่วมกับ V-shaped line gauge phantom และใช้เทคนิควิเคราะห์แบบ Taguchi's dynamic algorithm จากงานวิจัยนี้พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือ 100 kVp, 600 mAs, pitch increment 0.2 มิลลิเมตร, 280 field of view, iDos5 และ XCA filter โดยสามารถตรวจหาค่า MDD ได้ 2.15, 2.32 และ 1.87 มิลลิเมตร ที่ขนาดหุ่นจำลอง 50, 70 และ 90 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้น Taguchi's algorithm ร่วมกับ V-shaped line gauge phantom ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถนำมาจำลองการตรวจ CTA เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดและสามารถเห็นความแตกต่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ตรวจวัดได้เช่นกัน^[8]

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative)

Exp.	Qualitative (mm)	Quantitative (mm)	%difference
1	1.72	1.40	18.60
2	1.59	1.77	-11.32
3	1.82	2.17	-19.23
4	1.61	1.77	-9.94
5	1.62	1.47	9.26
6	1.49	1.40	6.04
7	1.43	1.37	4.20
8	1.85	2.17	-17.30
9	1.80	1.83	-1.67
10	3.14	3.30	-5.10
11	1.64	1.47	10.37
12	1.77	1.47	16.95
13	2.52	2.43	3.57
14	1.68	1.43	14.88
15	1.70	1.57	7.65
16	2.35	2.43	-3.40
17	2.12	2.37	-11.79
18	0.87	1.30	-49.43
19	1.66	1.40	15.66

Exp. = การทดลองครั้งที่ (experiment no.)

สรุปผลการศึกษา

โดยสรุปจากการทำการทดลองถ่ายภาพ V-shaped line gauge phantom ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิจิทัลระบบดีอาร์ สำหรับเทคนิคการถ่ายภาพทรวงอกโดยตั้งพารามิเตอร์ 18 วิธี ตามวิธีการของทาคุชิและมีวิธีที่ 19 คือ พารามิเตอร์เดิม สรุปว่า V-shaped line gauge phantom ที่สร้างขึ้นเองสามารถนำมาใช้ในการทำประกันคุณภาพของเครื่องเอกซเรย์ได้ดีและมีความละเอียดถูกต้องและให้ค่า MDD ที่น้อยที่สุดของ Optimal parameters คือ 0.87 มิลลิเมตร

อุปสรรคและข้อเสนอนะ Optimal parameters ที่ได้จากการศึกษาวิธีทาคุชิมีข้อจำกัด คือ สามารถใช้ได้กับเครื่องเอกซเรย์และเทคนิคการถ่ายภาพที่ทำการศึกษานั้น และต้องใช้ optimal parameters ที่หาได้เท่านั้น เพื่อให้ได้ MDD ที่ดีที่สุด หากต้องการนำ V-shaped line gauge phantom ไปทำประกันคุณภาพในเครื่องเอกซเรย์อื่นหรือใช้เทคนิคการถ่ายภาพอื่น จำเป็นต้องทำการทดสอบหา parameters ที่เหมาะสมใหม่เพื่อให้ได้ค่า MDD ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องเอกซเรย์และเทคนิคนั้นๆ

V-shaped line gauge phantom ที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ ต้องทำการฉีด contrast media เข้าไปในร่องรูป V ส่งผลให้อาจมีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้เกิดขึ้น เช่น ฟองอากาศขนาดเล็กที่ตามองไม่เห็นได้ หรือมีการเปื้อนของ contrast media บริเวณรอบข้างซึ่งอาจส่งผลต่อการอ่านและวัดค่า MDD ได้เป็นต้น ในอนาคตควรมีการพัฒนา V-shaped line gauge phantom โดยการใช้วัสดุที่มีความทึบต่อรังสี เช่น ตะกั่ว ทังสเตน หรือ เหล็ก เป็นต้น นำมาใส่ในร่องรูป V เพื่อให้ได้สัญญาณเพิ่มมากขึ้น และลดปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ลง ทั้งนี้จะต้องพิจารณาคอนสุมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Krishnaiah K, Shahabudeen P. Fundamentals of experimental design. In: Ghosh AK, editors. Applied design of experiments and Taguchi methods. New Delhi: PHI Learning; 2012;22-48.
- [2] Krishnaiah K, Shahabudeen P. Taguchi methods. In: Ghosh AK, editors. Applied design of experiments and Taguchi methods. New Delhi: PHI Learning; 2012;198-201.
- [3] พรเพ็ญ รุจิรามงคลชัย, ภัทรภณ หนูแก้ว. การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์ DR สำหรับเทคนิคการถ่ายภาพทรวงอกโดยอาศัยการวิเคราะห์ของทาคุชิ: ศึกษาจากหุ่นจำลอง [ภาคนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยมหิดล; 2561.
- [4] วสวัตดี ประสงค์สร้าง, สิริณยาพงศ์ สุวรรณโณภาส. ข้อแตกต่างระหว่างการเอกซเรย์ระบบถ่ายภาพรังสีคอมพิวเตอร์กับระบบถ่ายภาพดิจิทัล. วารสารรังสีวิทยาศิริราช 2018;5(1):48-54.
- [5] โรงพยาบาลสำโรงการแพทย์. เครื่องเอกซเรย์ระบบดิจิทัลอล [อินเทอร์เน็ต]. 2555 [เข้าถึงเมื่อ 27 ธ.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.samrong-hosp.com/ข่าวและกิจกรรม/เครื่องเอกซเรย์ระบบดิจิทัลอล>
- [6] Pan LF, Wu KY, Chen KL, Kittipayak S, Pan LK. Taguchi method-based optimization of the minimum detectable difference of a cardiac x-ray imaging system using a precise line pair gauge. J Mech Med Biol 2019;19(7):1-17.
- [7] Yeh DM, Chang PJ, Pan LK. The optimum Ga-67-citrate gamma camera imaging quality factors as first calculated and shown by the Taguchi's analysis. Hell J Nucl Med 2013;16(1):25-32.
- [8] Pan LF, Chen YH, Wang CC, Peng BR, Kittipayak S, Pan LK. Optimizing cardiac CT angiography minimum detectable difference via Taguchi's dynamic algorithm, a V-shaped line gauge, and three PMMA phantoms. Technol Health Care 2022; 30:91-103.
- [9] สุชาติ เกียรติวัฒนเจริญ. kV หรือ kVp [อินเทอร์เน็ต]. 2553 [เข้าถึงเมื่อ 2 ก.พ. 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.gotoknow.org/posts/401227>
- [10] Bell DJ. Milliampere-seconds (mAs) [Internet]. 2021 [cited 2023 February 2]. Available from: <https://radiopaedia.org/articles/milliampere-seconds-mas45>
- [11] เพชรกร หาญพานิชย์. การกรองรังสีของหลอดเอกซเรย์ [อินเทอร์เน็ต]. 2553 [เข้าถึงเมื่อ 2 ก.พ. 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.gotoknow.org/posts/408744>
- [12] Supertech x-ray. Whole Body Phantom Kyoto Kagaku PBU-60 [Internet]. 2022 [cited 2022 October 19]. Available from: <https://www.supertechx-ray.com/Anthropomorphhic/FullBodyPhantoms/PBU-60.php#>
- [13] Larson MG. Analysis of Variance. Circulation 2008;117(1):115-121.
- [14] Chieng R, Alhusseiny K, Liao A. Spatial resolution (gamma camera) [Internet]. 2023 [cited 2024 April 3]. Available from: <https://doi.org/10.53347/rID-173540>