

Development of an Economical Staining Kit for Muscle Biopsy Microarray

Chakriwong Ma-on*, Ampa Changnam

Department of Pathology, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok 10700, Thailand.

Siriraj Medical Bulletin 2026;19(1):1-8.

ABSTRACT

Objective: This study aimed to develop an economical staining kit for muscle biopsy microarrays to enhance the efficiency of high-volume muscle specimen staining in a single run while significantly reducing chemical reagent consumption.

Materials and Methods: A reagent-saving staining kit for muscle biopsy microarrays was designed and fabricated using molded acrylic sheets. Muscle biopsy arrays were prepared from 12 fresh bovine muscle specimens preserved using the snap-frozen technique. Sections were cut with a cryostat at 8 microns onto 18 slides (12 specimens per slide) at -20°C . Slides were divided into two groups: a control group stained using a 50-mL Coplin jar, and an experimental group stained using the newly developed 5-mL reagent-saving staining kit. Staining quality between the two groups was compared using the Wilcoxon Signed-Rank Test at a significance level of $\alpha = 0.05$.

Results: For nine staining methods, the control group (Coplin jar) required a total reagent volume of $9 \times 50 \text{ mL} = 450 \text{ mL}$, whereas the experimental group (Reagent-Saving Kit) required $9 \times 5 \text{ mL} = 45 \text{ mL}$, demonstrating an average reduction in reagent volume of 90%. The Wilcoxon Signed-Rank Test showed no statistically significant difference in staining quality between the two methods ($p = 0.789$).

Conclusion: The developed device is easy to use, clean, and reuse. This invention not only reduces costs and improves cost-effectiveness in diagnostic processes but also enhances the standard and efficiency of pathology laboratory workflows.

Keywords: Muscle biopsy; muscle staining; economical staining kit; pathology

*Correspondence to: Chakriwong Ma-on

Email: chakriwong.mam@mahidol.ac.th

Received: 30 May 2025

Revised: 15 October 2025

Accepted: 18 November 2025

<https://dx.doi.org/10.33192/smb.v19i1.275738>

การพัฒนาชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ

จักรีวงศ์ มาอั้น*, อำภา ช่างน้ำ

ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10700 ประเทศไทย.

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: การศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมชิ้นกล้ามเนื้อในปริมาณมากในคราวเดียวโดยใช้ปริมาณสารเคมีที่ลดลง

วิธีการศึกษา: ออกแบบชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ โดยใช้แผ่นอะคริลิกขึ้นรูปตามโมเดลที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นเตรียมชิ้นกล้ามเนื้อแบบแถว (Muscle biopsy array) โดยใช้ชิ้นเนื้อวัวสด จำนวน 12 ชิ้น นำมาคงสภาพด้วยวิธี Snap frozen technique แล้วนำมาตัดบาง 8 ไมครอน ลงบนแผ่นสไลด์ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (cryostat) -20 องศาเซลเซียส จำนวน 18 สไลด์ สไลด์ละ 12 ชิ้นโดยแบ่งสไลด์สำหรับย้อมในภาชนะออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มควบคุมจะย้อมใน Coplin jar ขนาด 50 มิลลิลิตรและกลุ่มทดลองจะย้อมในภาชนะชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ ขนาด 5 มิลลิลิตร แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามัธยฐาน ร้อยละ และการกระจายของความถี่ สำหรับการเปรียบเทียบคุณภาพการย้อมติดสีระหว่างทั้ง 2 วิธี ใช้ Wilcoxon Signed Rank Test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$

ผลการศึกษา: จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำยาในกลุ่มควบคุมที่ย้อมใน Coplin Jar ใช้ปริมาณน้ำยา 50 มิลลิลิตรต่อหนึ่งวิธีการย้อมจำนวน 9 วิธี คิดเป็น 450 มิลลิลิตร สำหรับกลุ่มทดลองที่ย้อมในชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ ใช้ปริมาณน้ำยา 5 มิลลิลิตรต่อหนึ่งวิธีการย้อม จำนวน 9 วิธี คิดเป็น 45 มิลลิลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณน้ำยาเฉลี่ยร้อยละ 90 สำหรับผลการเปรียบเทียบคุณภาพการย้อมติดสีระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง จากการวิเคราะห์ด้วย Wilcoxon Signed Rank Test พบว่าคุณภาพการย้อมติดสีระหว่างทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.789$)

สรุป: ชุดอุปกรณ์นี้ได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งาน การทำความสะอาด และความสามารถในการนำกลับมาใช้ซ้ำได้ การประดิษฐ์นี้ไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนและเพิ่มความคุ้มค่าในการวินิจฉัยแต่ยังช่วยยกระดับมาตรฐานและประสิทธิภาพของกระบวนการในห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยาได้อีกด้วย

คำสำคัญ: ชิ้นกล้ามเนื้อ; การย้อมสีชิ้นกล้ามเนื้อ; ชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยา; พยาธิวิทยา

บทนำ

การวินิจฉัยโรคกล้ามเนื้อจากการตรวจชิ้นเนื้อ (muscle biopsy) ที่ผ่านการคงสภาพโดยการแช่แข็ง ยังคงเป็นวิธีมาตรฐานสำคัญสำหรับการประเมินทางพยาธิวิทยา โดยเฉพาะการย้อมสีทางฮิสโตเคมีและเอนไซม์ที่ช่วยให้เห็นความผิดปกติของโครงสร้างและเมแทบอลิซึมของเซลล์อย่างไรก็ตาม กระบวนการย้อมสีเหล่านี้ยังต้องดำเนินการด้วยมือ (manual) เนื่องจากยังไม่มีเครื่องย้อมอัตโนมัติที่ตอบโจทย์เฉพาะทางนี้ได้^{1,2}

การย้อมสีชิ้นกล้ามเนื้อในยุคแรกใช้วิธีการตัดชิ้นกล้ามเนื้อลงในแผ่นครอบกระจกใส (cover glass) แล้วจึงนำไปย้อมในโคลัมเบียจาร์ขนาดเล็กเพื่อประหยัดน้ำยาซึ่งมีข้อดีคือขนาดกะทัดรัดและใช้ได้สะดวกเหมาะสำหรับชิ้นเนื้อจำนวนน้อยแต่มีข้อจำกัดที่สำคัญคือสามารถบรรจุชิ้นเนื้อได้เพียง 1-2 รายต่อครั้งและยากต่อ

การทำเครื่องหมายฉลาก (label) ในยุคต่อมาได้ดัดแปลงวิธีการย้อมโดยการตัดชิ้นกล้ามเนื้อลงบนแผ่นสไลด์ (glass slide) ในรูปแบบไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ (muscle biopsy microarray) เพื่อง่ายต่อการทำฉลาก แล้วย้อมในคอปปลินจาร์ขนาด 50 มิลลิลิตรแทนซึ่งช่วยให้วางชิ้นเนื้อได้หลายชิ้นในสไลด์เดียวเพื่อการประเมินที่ครอบคลุมยิ่งขึ้น แต่การย้อมสีชิ้นเนื้อจำนวนมากบนสไลด์เดียวกลับสร้างปัญหาใหม่เพราะการใช้ภาชนะบรรจุสีย้อมขนาดใหญ่คือ Columbia jar เพื่อรองรับสไลด์แก้วมาตรฐาน ทำให้ต้องใช้ปริมาณสารเคมีในการย้อมเพิ่มขึ้นอย่างมากส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลืองและค่าใช้จ่ายสูงในห้องปฏิบัติการ^{3,4,5}

จากข้อจำกัดดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนา “การพัฒนาชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ” ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาด้าน

ความเปลี่ยนแปลงของสารเคมีและการจำกัดปริมาณชิ้นเนื้อที่ย้อมได้ในแต่ละครั้ง ชุดอุปกรณ์นี้ได้รับการออกแบบโดยประกอบด้วยแท่นย้อมที่ทำจากอะคริลิกใส ซึ่งมีรางต้น ๆ และขอบกัน (wells) เพื่อแบ่งสไลด์ออกเป็นช่อง ทำให้น้ำย้อมท่วมพอดีกับชิ้นเนื้อที่ต้องการย้อม การออกแบบนี้ไม่เพียงแต่ช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ได้แต่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมชิ้นเนื้อหลายชิ้นบนสไลด์เดียวกันได้พร้อมกัน ดังนั้นการประดิษฐ์นี้จึงมีเป้าหมายเพื่อยกระดับมาตรฐานและประสิทธิภาพของกระบวนการวินิจฉัยทางพยาธิวิทยาของโรคกล้ามเนื้อ โดยช่วยลดต้นทุน เพิ่มความคุ้มค่าและอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันการส่งตรวจชิ้นกล้ามเนื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดและง่ายต่อการทำผลทางจุลทรรศน์ใช้การย้อมสีชิ้นกล้ามเนื้อในวิธีข้างต้นและด้วยขนาดของภาชนะที่มีขนาดใหญ่ขึ้นวิธีการดังกล่าวจึงมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณน้ำยาที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นด้วย จึงเป็นที่มาในการหาภาชนะในการย้อมสีชิ้นกล้ามเนื้อแบบใหม่เพื่อให้ง่ายต่อการย้อมและประหยัดน้ำยากขณะผู้จัดทำจึงคิดประดิษฐ์ “การพัฒนาชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ”

ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงเป็นที่มาในการประยุกต์ใช้แผ่นอะคริลิกออกแบบให้ง่ายต่อการย้อมสีรวมทั้งสิ่งประดิษฐ์นี้ยังช่วยประหยัดน้ำยาสำหรับการทำความสะอาดและยังนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีกทั้งยังประยุกต์ใช้กับการย้อมชิ้นกล้ามเนื้อแบบไมโครอะเรย์ได้มากถึง 12 ราย

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและพัฒนาชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ

วิธีการศึกษา

การทดลองที่ 1 ออกแบบชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยา โดยใช้แผ่นอะคริลิกขึ้นรูปตามโมเดลที่ได้ออกแบบไว้ (ภาพที่ 1-3)

การทดลองที่ 2 เตรียมชิ้นกล้ามเนื้อแบบแถว (muscle biopsy array) ใช้ชิ้นเนื้อวัว (สด) จำนวน 12 ชิ้น นำมาคงสภาพด้วยวิธี Snap frozen technique แล้วนำมาตัดบาง 8 ไมครอนลงบนแผ่นสไลด์ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (cryostat) -20 องศาเซลเซียส จำนวน 18 สไลด์ สไลด์ละ 12 ชิ้น⁴ โดยเตรียมแบ่งสไลด์สำหรับย้อมในภาชนะออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุมจะย้อมใน Coplin jar ขนาด 50 มิลลิลิตรและกลุ่มทดลองจะย้อมในภาชนะชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ ขนาด 5 มิลลิลิตร

การทดลองที่ 3 ย้อมสีชิ้นกล้ามเนื้อ: การทดลองนี้ใช้ชิ้นเนื้อวัว 12 ชิ้น จัดเตรียมในรูปแบบไมโครอะเรย์บนสไลด์ 18 แผ่น และทำการย้อมสี 9 ชนิด ได้แก่ ย้อมสีฮีมาทอกซิดีนและอี

โอซิน (Hematoxylin & Eosin หรือ H&E), ย้อมสีโมดิฟาย โกโมริ ไตรโครม (Modified Gomori Trichrome หรือ mGT), ย้อมเอนไซม์รีดิวซ์ นิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ ดีไฮโดรจีเนส - เตตระโซเลียม รีดักเตส (Reduced Nicotinamide Adenine Dinucleotide Dehydrogenase-Tetrazolium Reductase หรือ NADH-TR), ย้อมเอนไซม์ซักซิเนต ดีไฮโดรจีเนส (Succinate dehydrogenase หรือ SDH), ย้อมเอนไซม์ ไซโตโครมออกซิเดส (Cytochrome oxidase หรือ COX), การย้อมสี ออย เรด โอ (Oil red O หรือ ORO), ย้อมเอนไซม์นอสเปซิฟิก เอสเตอเรส (Nonspecific Esterase หรือ NES), ย้อมเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (Alkaline phosphatase หรือ ALP), และย้อมเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเตส (Acid phosphatase หรือ ACP)^{5,6,7,8,9,10} การทดลองถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลักเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

กลุ่มควบคุม: ย้อมใน Coplin jar ขนาด 50 มิลลิลิตร

กลุ่มทดลอง: ย้อมในชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อ ขนาด 5 มิลลิลิตร

การประเมินคุณภาพการย้อมติดสีโดยพยาธิแพทย์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งสไลด์ที่ผ่านการย้อมแล้วทั้ง 9 วิธี จำนวน 18 สไลด์จะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มโดยทุกวิธีการย้อมจะไม่ระบุให้ทราบว่าสไลด์ที่ส่งปริิกันนั้นผ่านการย้อมด้วยภาชนะแบบใดโดยมีเกณฑ์การให้คะแนนคุณภาพการติดของสี ดังนี้

คุณภาพการย้อมไม่ติดสี เท่ากับ 0 คะแนน

คุณภาพการย้อมติดสีพอใช้ เท่ากับ 1 คะแนน

คุณภาพการย้อมติดสีดี เท่ากับ 2 คะแนน

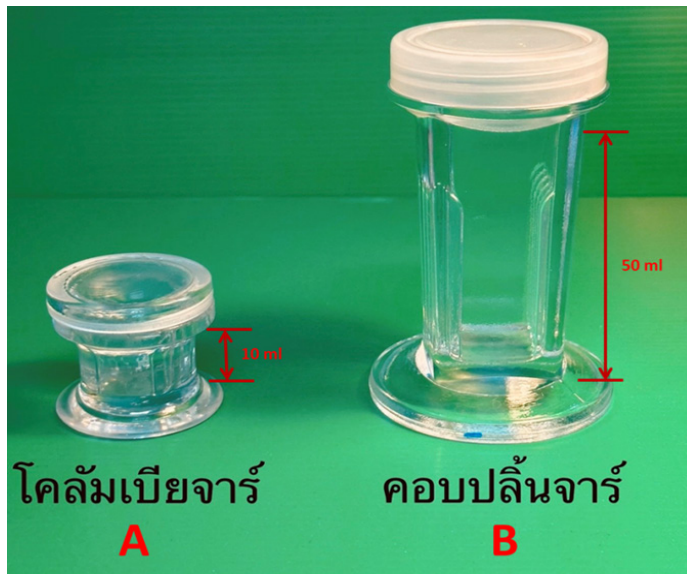
การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมประกอบด้วยปริมาณน้ำยาที่ใช้ในแต่ละวิธีการย้อมและคะแนนคุณภาพการย้อมระดับ 0-2 ที่ประเมินโดยพยาธิแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามัธยฐาน ร้อยละ และการกระจายของความถี่ สำหรับการเปรียบเทียบคุณภาพการย้อมติดสีระหว่างทั้ง 2 วิธี ใช้ Wilcoxon Signed Rank Test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$

ผลการศึกษา

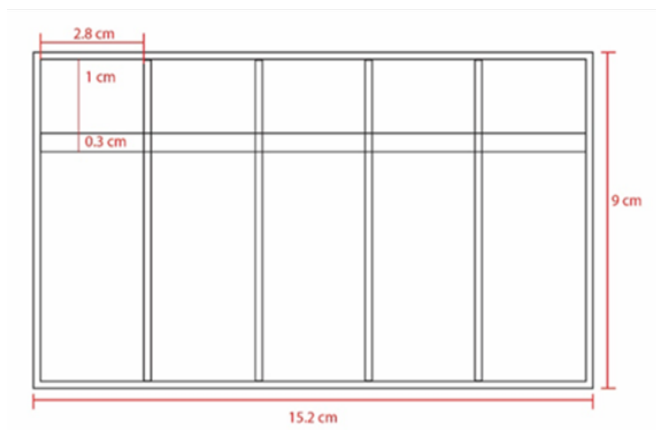
1. การเปรียบเทียบปริมาณน้ำยาที่ใช้

วิเคราะห์ผลจากปริมาณน้ำยาที่ใช้ย้อมด้วยสีทั้ง 9 วิธี โดยปริมาณน้ำยาในกลุ่มควบคุมจะย้อมใน Coplin Jar ใช้ปริมาณน้ำยา 50 มิลลิลิตรต่อหนึ่งวิธีการย้อม จำนวน 9 วิธี คิดเป็น 450 มิลลิลิตร สำหรับกลุ่มทดลองจะย้อมในชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยา ใช้ปริมาณน้ำยา 5 มิลลิลิตรต่อหนึ่งวิธีการย้อม จำนวน 9 วิธี คิดเป็น 45 มิลลิลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณน้ำยาเฉลี่ยร้อยละ 90 (ตารางที่ 1) (แผนภูมิที่ 1)

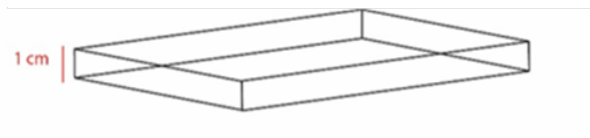


ภาพที่ 1 แสดงภาชนะที่ใช้ย้อมสีชิ้นกล้ามเนื้อชนิดเดิมในแต่ละยุค โดย A) คือโคลัมเบียจารขนาดบรรจุ 10 มิลลิเมตรในยุคแรกใช้วิธีติดชิ้นกล้ามเนื้อใส่แผ่นครอบกระจกใส (cover glass) แล้วจึงนำไปย้อมในโคลัมเบียจารขนาดเล็กเพื่อประหยัดน้ำยาแต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถการทำลากได้ยากต่อการทำเครื่องหมายเพราะแผ่น Cover glass มีขนาดบางและแตกง่าย และในยุคต่อมาเปลี่ยนวิธีการติดชิ้นกล้ามเนื้อลงบนแผ่นสไลด์แก้วแล้วนำไปย้อมใน B) คือคอปปลินจารขนาดบรรจุ 50 มิลลิเมตร เพื่อง่ายต่อการทำลากแต่พบปัญหาใหม่เกิดขึ้นคือทำให้สิ้นเปลืองน้ำยามากขึ้นเพราะขนาดบรรจุเพิ่มขึ้น

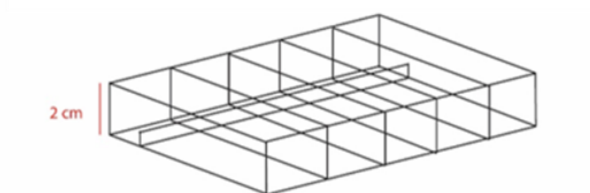
ที่มา: ถ่ายภาพโดย จักรวิงค์ มานัน ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล



A) แสดงขนาดของตัวกล่องและฝา



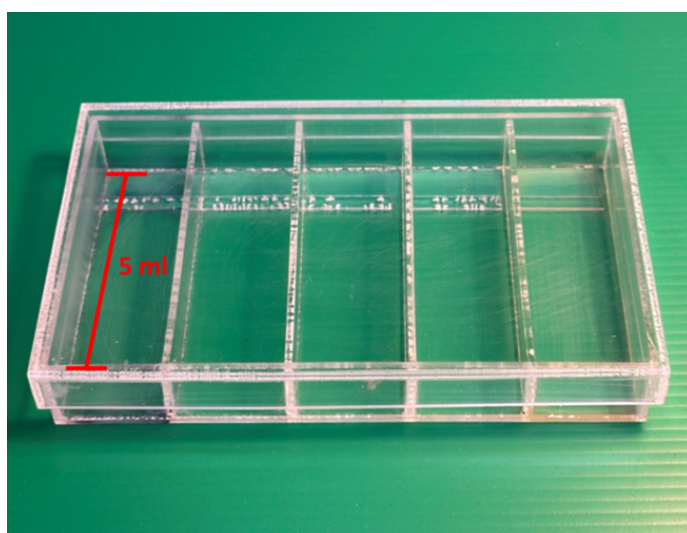
C) แสดงขนาดของฝา



B) แสดงขนาดของตัวกล่อง

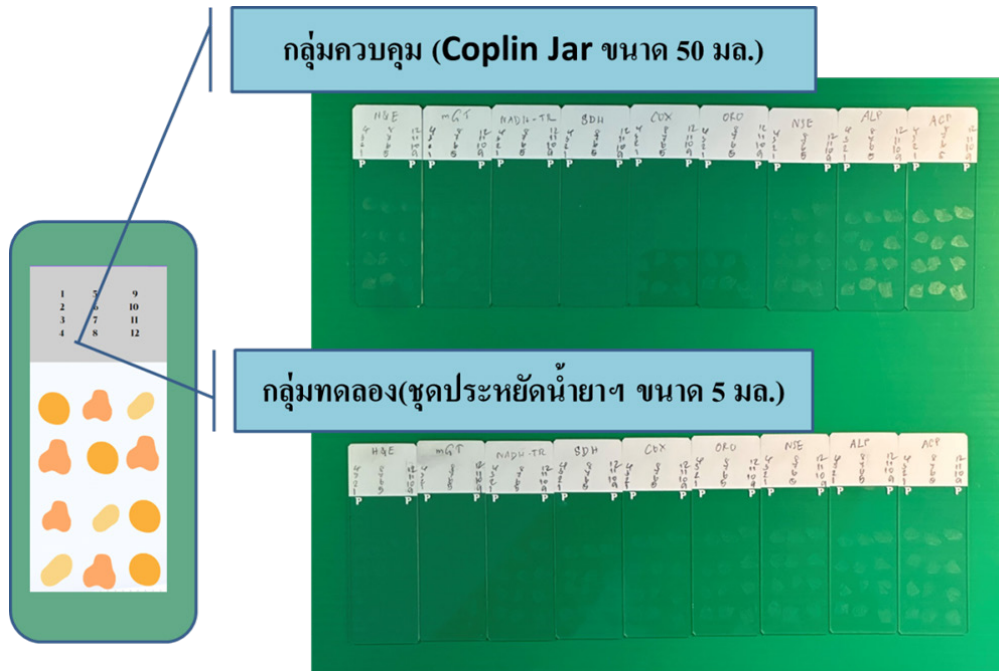
ภาพที่ 2 แสดงภาพการออกแบบชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโคระเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อด้วยแผ่นอะคริลิก โดย A) แสดงขนาดของตัวกล่องและฝา B) แสดงขนาดของตัวกล่อง C) แสดงขนาดของฝา

ที่มา: ถ่ายภาพโดย จักรวิงค์ มานัน ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล



ภาพที่ 3 แสดงชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไมโคระเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อด้วยการจัดวางแผ่นสไลด์ในแนวราบทำให้สามารถย้อมชิ้นกล้ามเนื้อด้วยน้ำยาเพียง 5 มิลลิเมตรและยังสามารถย้อมได้ครั้งละหลายวิธีเพราะถูกออกแบบให้มีหลายช่องและยังมีฝาปิดที่ถูกออกแบบไว้ป้องกันสิ่งปนเปื้อนระหว่างย้อม

ที่มา: ถ่ายภาพโดย จักรวิงค์ มานัน ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล



ภาพที่ 4 แสดงสไลด์ตัวอย่างและลักษณะการวางชิ้นเนื้อแบบแถว (muscle biopsy array)

ที่มา: ถ่ายภาพโดย จักรวิงค์ มาอั้น ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

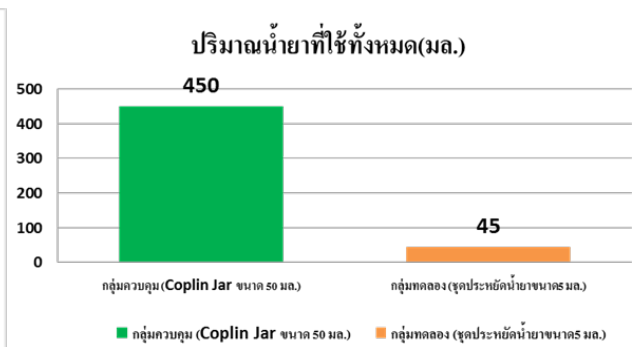
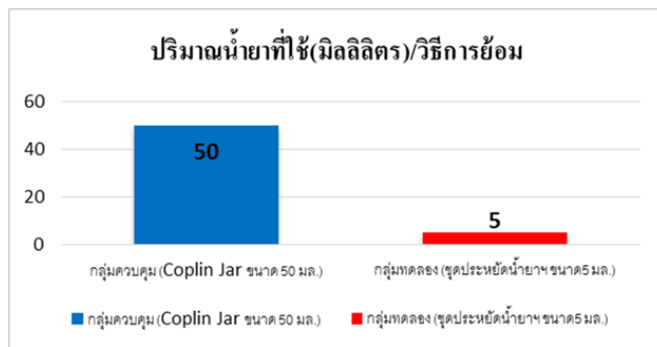


ภาพที่ 5 แสดงสไลด์ตัวอย่างที่ผ่านการย้อมในภาชนะกลุ่มควบคุม (Coplin Jar ขนาด 50 มล.) และกลุ่มทดลอง (ชุดประหยัดน้ำยาฯ ขนาด 5 มล.) โดยทุกวิธีการย้อมจะแบ่งสไลด์ออกเป็นสองกลุ่มซึ่งไม่ระบุให้ทราบว่าเป็นสไลด์ที่ส่งปรึกษาพยาธิแพทย์นั้นผ่านการย้อมด้วยภาชนะแบบใด

ที่มา: ถ่ายภาพโดย จักรวิงค์ มาอั้น ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำยาที่ใช้ (มิลลิลิตร) ต่อหนึ่งวิธีการย้อมทั้ง 9 วิธี ระหว่างกลุ่มควบคุม (Coplin Jar ขนาด 50 มล.) และกลุ่มทดลอง (ชุดประหยัดน้ำยาฯ ขนาด 5 มล.)

Parameter	กลุ่มควบคุม (Coplin Jar ขนาด 50 มล.)	กลุ่มทดลอง (ชุดประหยัดน้ำยาฯ ขนาด 5 มล.)	Difference
Sample size	9	9	9 คู่
Volume per use	50 ml	5 ml	45 ml
Mean $\pm$ SD	50.00 $\pm$ 0.00	5.00 $\pm$ 0.00	45.00 $\pm$ 0.00
Total volume	450 ml	45 ml	405 ml
% ของกลุ่มควบคุม	100%	10%	-90%



แผนภูมิที่ 1 แสดงปริมาณน้ำยาที่ใช้(มิลลิลิตร)ต่อหนึ่งวิธีการย้อมระหว่างกลุ่มควบคุม (Coplin Jar ขนาด 50 มล.) สีน้ำเงินและกลุ่มทดลอง(ชุดประหยัดน้ำยาฯ ขนาด 5 มล.) สีแดง สำหรับปริมาณน้ำยาที่ใช้ทั้งหมดในการย้อมสีชิ้นกล้ามเนื้อ จำนวน 9 วิธี กลุ่มควบคุม (Coplin Jar ขนาด 50 มล.) สีเขียวใช้ปริมาณน้ำยามากกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำยาในกลุ่มทดลอง(ชุดประหยัดน้ำยาฯ ขนาด 5 มล.) สีเหลืองซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะทั่วไปของข้อมูล

รายการ	กลุ่มควบคุม (Coplin Jar ขนาด 50 มล.)	กลุ่มทดลอง (ชุดประหยัดน้ำยาฯ ขนาด 5 มล.)
จำนวนตัวอย่าง (n)	9 สไลด์	9 สไลด์
คะแนน 1	5 สไลด์ (55.56%)	6 สไลด์ (66.67%)
คะแนน 2	4 สไลด์ (44.44%)	3 สไลด์ (33.33%)
คะแนนเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD)	1.444 $\pm$ 0.527	1.333 $\pm$ 0.500
มัธยฐาน (Median)	1.0	1.0
พิสัย (Range)	1-2	1-2

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณภาพการย้อมติดสีระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

คะแนนคุณภาพการย้อม	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Test statistic	p-value
Mean $\pm$ SD	1.44 $\pm$ 0.53	1.33 $\pm$ 0.50	W = 2.0	0.789*
Median (Min-Max)	1.0 (1.0-2.0)	1.0 (1.0-2.0)	z = -0.267	

*วิเคราะห์ด้วย Wilcoxon Signed Rank Test; ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

2. คุณภาพการย้อมติดสี

การศึกษานี้เปรียบเทียบคุณภาพการย้อมติดสีระหว่าง 2 กลุ่ม ในตัวอย่างกลุ่มละ 9 สไลด์ ได้แก่ กลุ่มควบคุม มีคะแนนคุณภาพการย้อมเฉลี่ย 1.44 ± 0.53 (ค่ามัธยฐาน = 1.0) โดยมี 55.56% ที่ได้คะแนน 1 และ 44.44% ที่ได้คะแนน 2 ส่วนกลุ่มทดลอง มีคะแนนเฉลี่ย 1.33 ± 0.50 (ค่ามัธยฐาน = 1.0) โดยมี 66.67% ที่ได้คะแนน 1 และ 33.33% ที่ได้คะแนน 2 ความแตกต่างเฉลี่ยระหว่าง 2 วิธีมีค่า 0.11 ± 0.60 คะแนน ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาเป็นรายคู่ พบว่าจาก 9 คู่ของตัวอย่าง มี 6 คู่ (66.67%) ที่ให้ผลการย้อมติดสีเท่ากันทั้งในกลุ่มควบคุมและทดลอง 2 คู่ (22.22%) ที่กลุ่มควบคุมให้ผลดีกว่า และ 1 คู่ (11.11%) ที่กลุ่มทดลองให้ผลดีกว่า

ผลการเปรียบเทียบคุณภาพการย้อมติดสีระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง จากการวิเคราะห์ด้วย Wilcoxon Signed Rank Test (ตารางที่ 3) พบว่าคุณภาพการย้อมติดสีระหว่างทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.789$)

อภิปรายผล

การศึกษานี้ได้นำเสนอการพัฒนาชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไม่โครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าวิธีการย้อมแบบดั้งเดิมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการลดปริมาณสารเคมีและต้นทุนในการดำเนินงาน

การลดปริมาณน้ำยาและผลกระทบต่อต้นทุน: ผลการทดลองยืนยันว่านวัตกรรมนี้สามารถลดปริมาณน้ำยาที่ใช้ในการย้อมได้ถึงร้อยละ 90 (จาก 50 มิลลิลิตร เหลือเพียง 5 มิลลิลิตร) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดต้นทุนของห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยาอย่างมาก เนื่องจากสารเคมีเป็นหนึ่งในค่าใช้จ่ายหลัก การลดปริมาณการใช้น้ำยาก็จะช่วยประหยัดงบประมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน^{11,12}

ประสิทธิภาพและคุณภาพการย้อม: แม้จะมีการลดปริมาณน้ำยาลงอย่างมาก แต่การย้อมชิ้นเนื้อยังคงมีคุณภาพสูงในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการวินิจฉัยของพยาธิแพทย์ซึ่งบ่งชี้ว่าการออกแบบภาชนะที่รองรับสไลด์ในแนวนอนและใช้ปริมาณน้ำยาเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอที่จะท่วมและทำปฏิกิริยากับชิ้นเนื้อได้ดี

การออกแบบนี้ยังช่วยให้สามารถย้อมชิ้นเนื้อได้หลายชิ้น (มากกว่า 12 ชิ้นต่อสไลด์) ในเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการทำงานและลดระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ¹¹

ข้อได้เปรียบเชิงนวัตกรรม: ชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาฯ ได้รับการออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาที่พบในวิธีการย้อมแบบดั้งเดิมโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คอปปลินจาร์ (Coplin jar) ซึ่งมีข้อจำกัดด้านปริมาณน้ำยาและความจุของชิ้นเนื้อ (สามารถย้อมได้เพียง 12 ชิ้นต่อครั้ง) นวัตกรรมนี้จึงไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุน แต่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและจัดซื้อจำกัดทางเทคนิคที่เคยเป็นอุปสรรคในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย^{11,12}

ความสำคัญและแนวทางในอนาคต: ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไม่โครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อมีศักยภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยาเพื่อยกระดับมาตรฐานการปฏิบัติงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีในปริมาณมากในระยะยาว การพัฒนาต่อยอดนวัตกรรมนี้ไปสู่การย้อมชิ้นเนื้อประเภทอื่น ๆ จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจและควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต¹³

สรุป

ชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไม่โครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อนี้เป็นนวัตกรรมที่คุ้มค่าต่อการลงทุนและนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยาอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถแก้ไขปัญหาความเสี่ยงของสารเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ นวัตกรรมนี้สามารถลดปริมาณน้ำยาที่ใช้ในการย้อมได้มากถึงร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม ส่งผลให้ต้นทุนในการดำเนินงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานโดยสามารถย้อมชิ้นเนื้อได้ในปริมาณที่มากขึ้นในเวลาเดียวกัน และที่สำคัญที่สุดคือการลดปริมาณน้ำยาไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการย้อมซึ่งยังคงอยู่ในระดับที่น่าเชื่อถือสำหรับการวินิจฉัยโดยสรุปชุดการย้อมแบบประหยัดน้ำยาสำหรับไม่โครอะเรย์ของชิ้นกล้ามเนื้อเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ที่ต้องการยกระดับมาตรฐานการปฏิบัติงานและเพิ่มความยั่งยืนในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ รศ. พญ.จันทิมา แทนบุญ, รศ. พญ.พรสุข ชื่นสุขน, และรศ. พญ.อนัญญา พงษ์ไพบูลย์ หัวหน้าภาควิชาพยาธิวิทยาและคณาจารย์ผู้ให้ความรู้และให้การสนับสนุนในการทำผลงานเพื่อพัฒนางานบุคลากรสายสนับสนุนนี้ขึ้นมาได้ และที่สำคัญที่ขาดเสียมิได้ต้องขอขอบคุณคุณอุตร พุ่มจันทร์และคุณสุนทิตพย์ ศิริลักษณ์ที่ช่วยออกแบบและประดิษฐ์ชุดการตรวจนี้ ทั้งนี้หากเนื้อหาสาระของงานนี้ได้ขาดตกบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Kurt YG, Kurt B, Ozcan O, Topal T, Kilic A, Muftuoglu T, et al. Preservative solution for skeletal muscle biopsy samples. *Ann Indian Acad Neurol.* 2015;18(2):187-93.
2. Sarnat HB, Carpenter S. Chapter 4 - Muscle Biopsy for Diagnosis of Neuromuscular and Metabolic Diseases. In: Darras BT, Jones HR, Ryan MM, De Vivo DC, editors. *Neuromuscular Disorders of Infancy, Childhood, and Adolescence (Second Edition)*. San Diego: Academic Press; 2015. p. 46-65.
3. Perlmutter MA, Best CJM, Gillespie JW, Gathright Y, González S, Velasco A, et al. Comparison of Snap Freezing versus Ethanol Fixation for Gene Expression Profiling of Tissue Specimens. *The Journal of Molecular Diagnostics.* 2004;6(4):371-7.
4. Spencer LT. 7 - Microtomy for paraffin and frozen sections. In: Suvarna SK, Layton C, Bancroft JD, editors. *Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques (Eighth Edition)*: Elsevier; 2019. p. 84-95.
5. Maunder-Sewry CA, Dubowitz V. Needle muscle biopsy for carrier detection in Duchenne muscular dystrophy: Part. 1. Light microscopy — Histology, histochemistry and quantitation. *Journal of the Neurological Sciences.* 1981;49(2):305-24.
6. Exbrayat JM. Microscopy: Light Microscopy and Histochemical Methods. In: Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. *Encyclopedia of Food and Health*. Oxford: Academic Press; 2016. p. 715-23.
7. Steinke H, Wiersbicki D, Speckert M-L, Merkwitz C, Wolfskämpf T, Wolf B. Periodic acid-Schiff (PAS) reaction and platination in whole body slices. A novel technique to identify fascial tissue structures. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger.* 2018;216:29-35.
8. Wijayaweera CJ, de S Amaratunga A, Angunawela P. Histopathology of Cleft Lip Muscle: an Enzyme Histochemical and Electron Microscopic Study. *Asian Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2002;14(4):219-25.
9. Old SL, Johnson MA. Methods of microphotometric assay of succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activities for use on human skeletal muscle. *The Histochemical Journal.* 1989;21(9):545-55.
10. Wank V, Bauer R, Punkt K, Ziegen J. Enzyme activity patterns of myosin ATPase, α -glycerolphosphate dehydrogenase and succinate dehydrogenase within different muscle fibre types. *Acta Histochemica.* 1994;96(2):213-8.
11. Xiang L, Rong J-F, Xin C, Li X-Y, Zheng Y, Ren P-R, et al. Reducing Target Volumes of Intensity Modulated Radiation Therapy After Induction Chemotherapy in Locoregionally Advanced Nasopharyngeal Carcinoma: Long-Term Results of a Prospective, Multicenter, Randomized Trial. *Int J Radiation Oncology Biology Physics.* 2023;117(4):914-24.
12. Perrucci M, Ricci EM, Locatelli M, Ali I, Mansour FR, Kabir A, et al. Recent trends in microsampling and reduced-volume sample preparation procedures. *Advances in Sample Preparation.* 2025;14:100182.
13. Tot T. Cost-benefit analysis of using large-format histology sections in routine diagnostic breast care. *The Breast.* 2010;19(4):284-8.