

**Comparison of gunshot residue (GSR) in clothes and on skin beneath different clothing types in close range gunshot wound**

*การเปรียบเทียบส่วนประกอบของเขม่าปืนในผ้าและบนผิวหนังใต้ผ้าชนิดต่างๆในบาดแผลกระสุนปืนระยะใกล้*

**Anat Preecha M.D., Surachet Wongwittayapanich M.D., Peerayuht Phuangphung M.D., Wichai Wongchanapai M.D., Ph.D.**

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

**อนัตต์ ปรีชา พ.บ., สุรเชษฐ์ วงศ์วิทยาพานิชย์ พ.บ., ว.ว. (นิติเวชศาสตร์), พีรยุทธ เพ็องพุง พ.บ., ว.ว. (นิติเวชศาสตร์), วิชัย วงศ์ชนะภัย พ.บ., ว.ว. (นิติเวชศาสตร์), ประด. (เภสัชวิทยาและพิษวิทยา)**

*ภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10700 ประเทศไทย*

**Abstract**

**Objective :** To study the effect of cotton and nylon fabrics on the detection of nitrite compounds from skin covered by these two fabrics and lead-primer from these two fabrics.

**Materials and Methods :** 9 mm semi-automatic pistol was fired onto pieces of pork skin which were covered by 2 types of fabrics covering them (cotton and nylon). Each group of fabric type was divided into 3 groups depending on range of fire (5, 15 and 30 cm). Five replicates of firing were performed for each range of fire. After firing, the diameter of gunpowder surrounding gunshot hole at pork skin in each range was measured. Then, the concentrations of nitrite compounds from pork skin and lead-primer from fabrics were analysed by spectrophotometry and atomic absorption spectrophotometry (AAS), respectively. The statistical analysis was performed using t-test and ANOVA for comparison of nitrite compounds and lead-primer between cotton and nylon fabrics.

**Result :** The diameters of gunpowder on pork skin beneath cotton fabric were significantly greater than those beneath nylon fabric for ranges of fire at 5 and 15 cm ( $p < 0.001$ ). The concentrations of nitrite compounds on pork skin beneath cotton fabric were significantly higher than those beneath nylon fabric at 5 cm range ( $p < 0.01$ ). The concentrations of lead-primer within nylon fabric were significantly higher than those within cotton fabric at 15 and 30 cm range ( $p < 0.001$ ).

**Conclusion :** Cotton and nylon fabrics had different absorbable properties for gunpowder and primer and had different effect on the detection of GSR on skin.

**Keywords :** Gunshot residue (GSR), nitrite compounds, lead-primer, fabrics

### **บทคัดย่อ**

**วัตถุประสงค์ :** เพื่อศึกษาผลของผ้า cotton (ผ้าฝ้าย) และผ้า nylon (ผ้าไนลอน) ต่อการตรวจพบสารประกอบไนโตรที่จากผิวหนังที่ถูกคลุมด้วยผ้าสองชนิดดังกล่าว และสารตะกั่วจากเขม่าแก็ปปืนจากตัวผ้าทั้งสองชนิด

**วัสดุและวิธีการศึกษา :** ทำการยิงปืนพกสั้นขนาด 9 มม. ไปยังหนังหมู ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามชนิดของผ้าที่คลุมหนังหมู (ผ้า cotton และ ผ้า nylon) โดยแต่ละกลุ่มของผ้าทั้ง 2 ชนิด แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามระยะยิงที่แตกต่างกัน (5, 15 และ 30 ซม.) ทำการยิงทั้งหมด 5 ซ้ำในแต่ละระยะยิง หลังจากการยิง ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคราบเขม่าดินปืนรอบรูกระสุนปืน จากนั้น ทำการวัดปริมาณสารประกอบ Nitrite บนหนังหมู ด้วยวิธี spectrophotometry และทำการวัดปริมาณสารตะกั่วที่มาจากแก็ปปืนในผ้าทั้งสองชนิดด้วยวิธี atomic absorption spectrophotometry (AAS) ทำการเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของสารประกอบ Nitrite บนหนังหมู และความเข้มข้นของสารตะกั่วที่มาจากแก็ปปืน จากตัวอย่างที่มาจากผ้าทั้งสองชนิดด้วยวิธีการทางสถิติแบบ t-test และ ANOVA

**ผลการศึกษา :** ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคราบเขม่าดินปืนบนหนังหมูใต้ผ้า cotton มีความกว้างมากกว่าบนผ้า nylon อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) ระดับความเข้มข้นของสารประกอบ Nitrite บนหนังหมูใต้ผ้า cotton มีระดับที่สูงกว่าผ้า nylon อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะ 5 ซม. ( $p < 0.01$ ) ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของสารตะกั่วที่อยู่ภายในผ้า nylon มีระดับที่สูงกว่าผ้า cotton อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะ 15 และ 30 ซม. ( $p < 0.001$ )

**สรุป :** ผ้า cotton และ nylon มีคุณสมบัติในการซึมซับสารประกอบจากดินปืน และสารประกอบของแก็ปปืนที่แตกต่างกัน และให้ผลที่แตกต่างกันต่อการตรวจพบคราบเขม่าดินปืนบนผิวหนัง

**คำสำคัญ :** เขม่าปืน, สารประกอบ nitrite, สารตะกั่วจากเขม่าแก็ปปืน, ผ้า

### **บทนำ**

เมื่อมีการยิงอาวุธปืน จะมีเขม่าปืน (gunshot residue, GSR) ออกมาจากปากกระบอกปืนพร้อมกับหัวกระสุนปืนด้วย ซึ่งเขม่าปืน (GSR) ประกอบด้วย ส่วนประกอบของเขม่าดินปืน และส่วนประกอบของแก็ปปืน โดยเกิดจากการจุดระเบิดที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่พบได้บ่อย คือ สารประกอบไนโตรเจนที่ได้จากการสลายตัวของสารไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) ส่วนสารอนินทรีย์ที่พบได้บ่อยคือ ตะกั่ว (lead) , แบเรียม (barium) และ พลวง (antimony) ทำให้การตรวจหา gunshot residue ทั้งในรูปแบบ organic และ inorganic GSR เป็นหลักฐานสำคัญที่สามารถใช้เชื่อมโยงตัวบุคคลกับเหตุการณ์ยิงปืนที่เกิดขึ้นได้<sup>(1,5)</sup>

การตรวจหา GSR สามารถทำได้หลายวิธีคือ การดูด้วยตาเปล่าหรือกล้องจุลทรรศน์ และการใช้วิธีทดสอบปฏิกิริยาทางเคมีหรือวิธีการทางฟิสิกส์ เช่น การใช้ X-ray fluorescence spectrometry (XRF)<sup>(2)</sup> , Multi-spectral imaging<sup>(3)</sup> , Particle inductively coupled plasma mass spectrometry (spICP-MS)<sup>(4)</sup> ทำให้ gunshot residue บนวัตถุพยานหรือ swab จากบริเวณรอบบาดแผลกระสุนปืนถูกนำไปตรวจวิเคราะห์และแปลผลได้ทั้งในรูปแบบ qualitative และ quantitative

ในการตรวจชันสูตรศพกรณีเสียชีวิตจากบาดแผลกระสุนปืน มักจะมีการเก็บวัตถุพยานเพื่อตรวจหา GSR เพื่อช่วยยืนยันการวินิจฉัยระยะยิง ซึ่งในหลายกรณีพบว่า เป็นการยิงทะลุผ่านเสื้อผ้าเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการเก็บตัวอย่างทั้งจากเสื้อผ้าและบาดแผลที่ผิวหนังเพื่อวินิจฉัยระยะยิง งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการตรวจหา GSR บนเสื้อผ้าที่มีหรือไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ยิงปืนเกิดขึ้น พบว่าอาจตรวจพบโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของ GSR ได้โดยที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการยิงปืน แต่มักพบธาตุเหล็กปนอยู่ในปริมาณมากด้วยเช่นกัน<sup>(6)</sup> นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเพื่อตรวจหาโลหะหนักด้วยเครื่อง micro-CT บนผิวหนังภายใต้เสื้อผ้าพบว่าคราบเขม่าที่พบบนผ้าสามารถพบบนผิวหนังภายใต้ผ้าได้ โดยมีลักษณะเป็นวงรอบบาดแผลกระสุนปืนและตรวจพบโลหะหนักที่ผิวหนังใต้เสื้อผ้าได้เช่นกัน<sup>(8)</sup>

อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติงานจริง ที่ภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล พบว่ามีหลายกรณีที่ศพที่ทำการตรวจชันสูตรอาจถูกส่งมาจากเขตพื้นที่อื่น และพนักงานสอบสวนอาจไม่ได้ส่งวัตถุพยานสำคัญ คือ เสื้อผ้ามากับศพด้วย ซึ่งอาจจะทำให้การประมาณระยะยิงนั้นทำได้อย่างมีข้อจำกัดผู้วิจัยจึงได้ทำการวิจัยนี้ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของการตรวจพบ GSR ที่ปรากฏอยู่ภายในผ้าชนิดที่แตกต่างกัน และบนผิวหนังรอบบาดแผลกระสุนปืนใต้เสื้อผ้าต่างชนิดกันในระยะยิงระยะใกล้ (Close range gunshot wound) เพื่อช่วยในการแปลผลการตรวจวัตถุพยาน

## วัสดุและวิธีการศึกษา

### 1. การทดลอง

#### I. อาวุธปืนและสถานที่ยิงทดลอง

- i. ปืนพกสั้น ยี่ห้อ Českázbrojovka รุ่น CZ P-10C ความยาวลำกล้อง 4 นิ้ว ขนาดลำกล้อง 9 มม. และกระสุน 9x19 มม. Full metal jacket
- ii. ทำการยิงทดลองที่ ห้องทดสอบชีปนาวิลี สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ถ.อังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

#### II. เป้าสำหรับทำการยิงทดลอง

- i. หนังสวมขนาดยาว 12 ซม. กว้าง 7 ซม. ที่มีระยะเวลาเสียชีวิตไม่เกินกว่า 24 ชั่วโมงมีความสมบูรณ์และไม่มีบาดแผลหรือพยาธิสภาพ
- ii. ผ้า cotton (ผ้าฝ้าย) และผ้า nylon (ผ้าไนลอน) สีขาว ขนาดยาว 12 ซม. กว้าง 7 ซม. โดยนำไปคลุมอยู่บนหนังสวม ขนาดยาว 12 ซม. กว้าง 7 ซม. ทำการยิง ทั้งหมด 3 ระยะ คือ 5 ซม. , 15 ซม. และ 30 ซม. โดยระยะยิงดังกล่าวทำการวัดจากปากกระบอกปืนถึงผ้าและทำการยิงในแต่ละระยะทั้งหมด 5 นัด หลังจากทำการยิงเสร็จสิ้นจะทำการเก็บตัวอย่างที่บริเวณผิวหนังหนังสวม และผ้าที่ใช้ยิง มาทำการวิเคราะห์ตามกระบวนการในหัวข้อถัดไป

### 2. การวัดผลการทดลอง

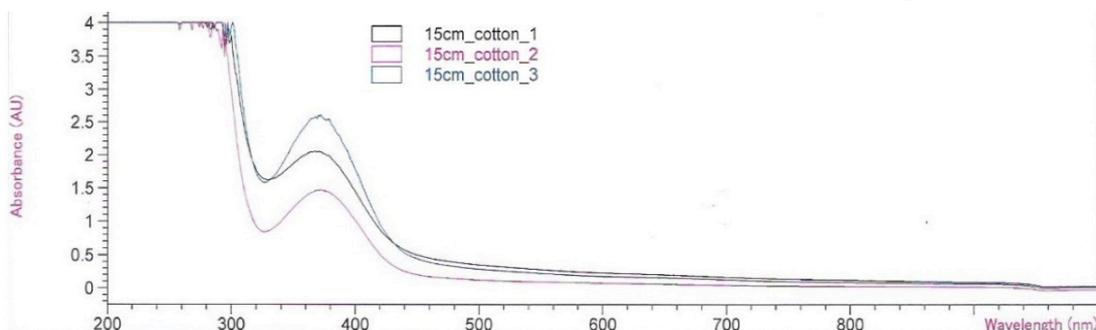
#### I. การวิเคราะห์คราบเขม่าดินปืนบนหนังสวม

- i. การวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของคราบเขม่าดินปืนรอบบาดแผลด้วยตาเปล่า ทำการถ่ายภาพหนังสวมภายหลังจากการยิงด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ความละเอียด 24.3 ล้านพิกเซล ทำการวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของคราบเขม่าดินปืนที่อยู่รอบบาดแผลกระสุนปืนบนหนังสวมที่พบได้ชัดเจนโดยไม่เน้นจุดเขม่าที่กระจายเลเยขอบเขม่า ดังแสดงใน **รูปที่ 1**



**รูปที่ 1** แสดงคราบเขม่าดินปืนที่พบบนหนังหมู

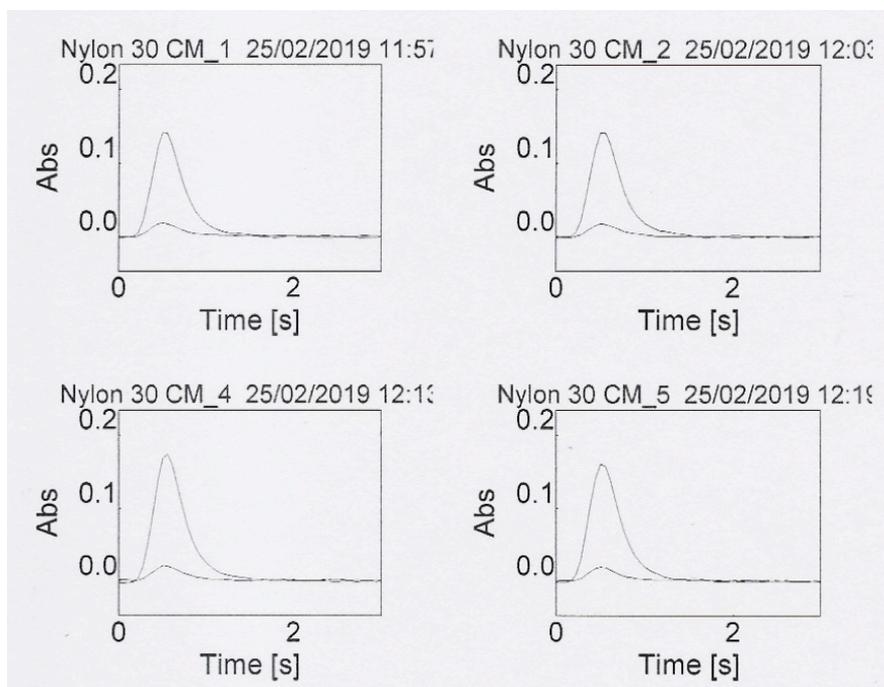
- ii. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบNitrite จากลำสีที่ป้ายบนหนังหมู หลังจากทำการวัดคราบเขม่าดินปืนในขั้นตอนที่ i เสร็จสิ้น จึงใช้ลำสีก้านพลาสติกป้ายบริเวณรอบบาดแผลของหนังหมู จากนั้นจึงนำลำสีก้านพลาสติกดังกล่าวใส่ในขวดพลาสติก และทำการระบุชนิดผ้า ระยะเวลาและจำนวนซ้ำ ลงที่ขวดพลาสติก ต่อมาจึงนำลำสีก้านพลาสติกดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณNitrite ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของดินปืน โดยทำการเติม 5% Sulfuric acid ปริมาณ 500  $\mu$ L เพื่อย่อยลำสี จากนั้นจึงเติมน้ำกลั่น 4 mLและนำตัวอย่างไป vortex และ incubate ใน water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนก้านพลาสติกออก แล้วนำตัวอย่างไปปั่นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifugation) ที่ความเร็ว 4000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงทำการดูของเหลวส่วนบนที่ไม่มีตะกอน (supernatant) ปริมาณ 2 mL นำมาทำปฏิกิริยากับ 1% Diphenylamine ปริมาณ 500  $\mu$ Lซึ่งจะได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินในระยะแรกก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเหลืองในเวลาต่อมา จากนั้นจึงนำสารละลายที่ทำปฏิกิริยาให้สารประกอบเชิงซ้อนสีเหลืองดังกล่าวไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 376 nm จะได้กราฟค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละตัวอย่าง จากนั้นจึงนำความสูงของกราฟดังกล่าวมาคำนวณกลับโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน จะได้ค่าความเข้มข้นของสารประกอบ Nitrite ของตัวอย่างนั้นๆ ดัง**รูปที่ 2**



**รูปที่ 2** แสดงกราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบNitrite ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

## II. การวิเคราะห์ lead primer-GSR ในผ้า

- i. ตัวอย่างผ้าทั้ง 2 ชนิดจากการยิง 5 ซ้ำ จะถูกนำใส่ในหลอดพลาสติก โดยแต่ละหลอดจะทำการระบุชนิดผ้า ระยะยิง และจำนวนซ้ำ ลงที่หลอดพลาสติก
- ii. หลังจากเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว ผ้ายิงแล้วจะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว (lead, Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนซึ่งในการศึกษานี้ใช้เป็นตัวแทนของ primer-GSR โดยนำผ้าทั้ง 2 ชนิด ใส่ลงในหลอด centrifuge ขนาด 15 mL จากนั้นเติม 5% Nitric acid ปริมาณ 4 mL ลงในหลอดแล้วนำไป vortex 30 วินาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชม. หลังจากนั้นนำไป vortex 30 วินาที แล้วจึงดูดสารละลายที่ได้ใส่ในหลอดขนาด 5 mL จากนั้นจึงนำสารละลายดังกล่าวไปวิเคราะห์หาปริมาณสารตะกั่ว (Pb) โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) โดยจะได้กราฟ ดังรูปที่ 3



## III. การวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical analysis)

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและคำนวณค่าทางสถิติโดยใช้ โปรแกรม SPSS Statistics for Window version 23 โดยการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ใช้การคำนวณค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ของตัวอย่างจากแต่ละระยะยิงจากผ้าทั้ง 2 ชนิด สำหรับการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคราบเขม่าดินปืนรอบรูกระสุนปืนบนหนังหมู, ความเข้มข้นของสารประกอบ nitrite บนหนังหมู และความเข้มข้นของสารตะกั่วจากเขม่าแก๊ปปืน ระหว่างผ้า 2 ชนิด ที่ระยะยิงที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระยะ ทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติวิธี t-test และ ANOVA โดยกำหนดว่าค่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p < 0.05$

IV. การศึกษานี้ได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน ของคณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาลตามเอกสารที่ ศธ.0517.071/EC 00330

## ผลการศึกษา

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเขม่าดินปืนรอบรูกระสุนปืนบนหนังหมูได้ผ้า cotton และ nylon ที่ระยะยิง ทั้ง 3 ระยะแสดงได้ในตารางที่ 1 โดยจากตารางที่ 1 จะพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเขม่าดินปืนรอบรูกระสุนปืนบนหนังหมูได้ผ้า cotton มีค่ามากกว่าของได้ผ้า nylon อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) ที่ระยะยิง 5 และ 15 ซม. อย่างไรก็ตามที่ระยะยิง 30 ซม. พบว่าไม่สามารถตรวจพบวงคราบเขม่าดินปืนรอบรูกระสุนปืนบนหนังหมู ได้ด้วยตาเปล่าทั้งจากของผ้า cotton และผ้า nylon

**ตารางที่ 1** ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเขม่าดินปืนบนหนังหมูได้ผ้า nylon และผ้า cotton ที่ระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม.

ID	5 cm		15 cm		30 cm	
	Nylon	Cotton	Nylon	Cotton	Nylon	Cotton
1	1.3	1.7	0.5	0.9	-	-
2	1.4	1.9	0.7	1.4	-	-
3	1.2	2.0	0.5	1.1	-	-
4	1.0	1.4	0.6	1.2	-	-
5	1.3	1.6	0.4	1	-	-
p-value	<0.001*		<0.001*			

Unit: cm

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ nitrite จากลำสีที่ป้ายหนังหมูซึ่งอยู่ใต้ผ้า cotton และ ผ้า nylon ที่ระยะยิงทั้ง 3 ระยะแสดงได้ในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า nylon และผ้า cotton ที่ระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม.

ID	5 cm		15 cm		30 cm	
	Nylon	Cotton	Nylon	Cotton	Nylon	Cotton
1	5.5938	8.0348	4.9328	8.4472	5.1419	5.6916
2	4.8473	8.2991	3.6688	5.1029	3.8745	1.7717
3	6.0706	6.7083	5.4008	2.8531	4.2207	4.3198
4	4.2172	7.9114	7.9386	5.2218	3.237	2.2873
5	3.5708	5.6188	1.8574	4.0641	2.5303	3.2868

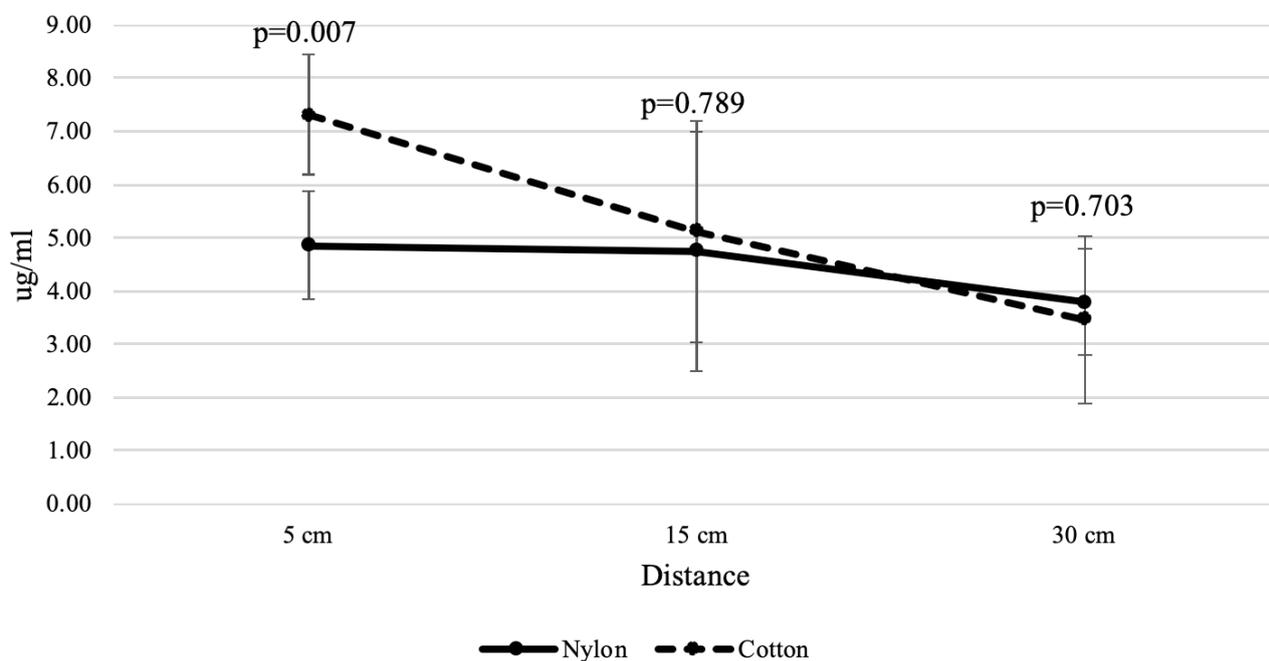
Unit: µg/mL

จากตารางที่ 2 สามารถแสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า cotton และ ผ้า nylon ในรูปของ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) ได้ดังตารางที่ 3 และแสดงเป็น error bar chart เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า cotton และ ผ้า nylon ได้ดังรูปที่ 4

**ตารางที่ 3** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า nylon และ ผ้า cotton ที่ระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม.

Distance	Clothing		p-value <sup>a</sup>
	Nylon	Cotton	
5 cm	4.86±1.01	7.31±1.13	0.007*
15 cm	4.76±2.24	5.14±2.08	0.789
30 cm	3.80±0.99	3.47±1.58	0.703
p-value <sup>b</sup>	0.503	0.010*	

Unit: µg/ml



**รูปที่ 4** การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า nylon และผ้า cotton ในระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม.

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 4 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า nylon และผ้า cotton ที่ระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม. จะพบว่า ปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า nylon มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $4.86 \pm 1.01$ ,  $4.76 \pm 2.24$  และ  $3.80 \pm 0.99 \mu\text{g/mL}$  ที่ระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม. ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มลดลงไม่มากนัก ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.503$ )

ในทางตรงข้าม ปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า cotton มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $7.31 \pm 1.13$ ,  $5.14 \pm 2.08$  และ  $3.47 \pm 1.58 \mu\text{g/mL}$  ที่ระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม. ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณสารประกอบ nitrite มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.010$ ) และเมื่อทำการเปรียบเทียบรายคู่ (Multiple Comparison) ปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า cotton พบว่า ปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า cotton ที่ระยะยิง 5 ซม. มากกว่าระยะยิง 30 ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีผลต่างเฉลี่ยเท่ากับ  $3.843 \mu\text{g/ml}$  ดังแสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบรายคู่ของปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า cotton

	Distance		
	5 cm	15 cm	30 cm
<b>Cotton</b>			
5 cm	-	2.177 (p=0.174)	3.843* (p=0.009*)
15 cm		-	1.666 (p=0.404)
30 cm			-

ข้อมูลนำเสนอโดย Mean difference (p-value)

จาก**ตารางที่ 3** และ**รูปที่ 4** เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า ระหว่างชนิดผ้า nylon และผ้า cotton ในแต่ละระยะยังพบว่า ปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้า cotton สูงกว่าของผ้า nylon ในระยะ 5 ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.007) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูได้ผ้าระหว่างชนิดผ้า nylon และผ้า cotton ในระยะการยิง 15 และ 30 ซม. ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.789 และ p=0.703 ตามลำดับ)

สำหรับการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืน ในผ้า cotton และ ผ้า nylon ที่ระยะยิงทั้ง 3 ระยะแสดงได้ใน**ตารางที่ 5**

**ตารางที่ 5** ปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืน ในผ้า nylon และผ้า cotton ที่ระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม.

ID	5 cm		15 cm		30 cm	
	Nylon	Cotton	Nylon	Cotton	Nylon	Cotton
1	1030.0	865.2	386.9	234.0	134.7	79.0
2	984.9	1163.0	391.7	235.4	140.3	88.8
3	867.0	1095.0	438.1	233.5	151.0	73.5
4	963.2	879.0	361.4	191.1	164.2	90.1
5	1030.0	1174.0	379.9	244.3	149.9	87.3

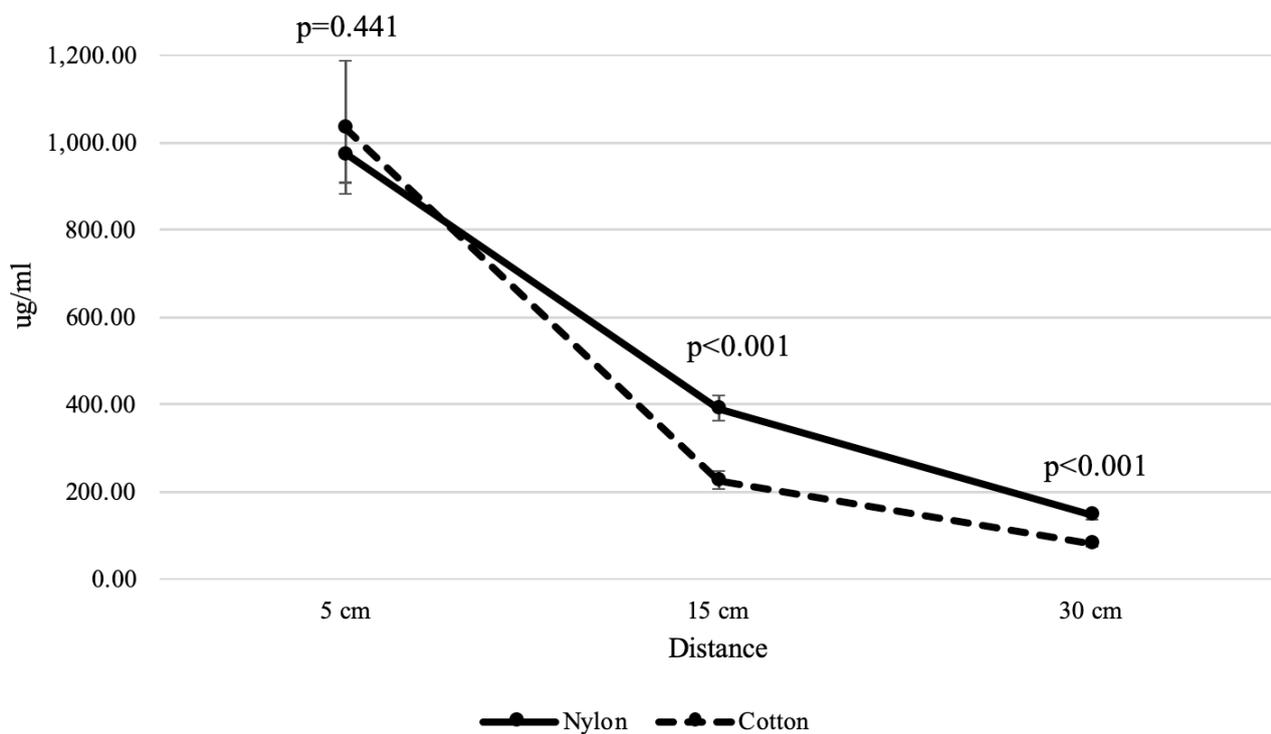
Unit: µg/mL

จาก**ตารางที่ 5** สามารถแสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้า cotton และ ผ้า nylon ในรูปของ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ได้ดัง**ตารางที่ 6** และแสดงเป็น error bar chart เปรียบเทียบปริมาณปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้า cotton และผ้า nylon ได้ดัง**รูปที่ 5**

**ตารางที่ 6** เปรียบเทียบปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืน ในผ้า nylon และผ้า cotton ที่ระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม.

Distance	Clothing		p-value <sup>a</sup>
	Nylon	Cotton	
5 cm	975.00±67.00	1,035.24±152.05	0.441
15 cm	391.60±28.43	227.66±20.90	<0.001*
30 cm	148.02±11.31	83.76±7.15	<0.001*
p-value <sup>b</sup>	<0.001*	<0.001*	

Unit: µg/mL



**รูปที่ 5** การเปรียบเทียบปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้า nylon และผ้า cotton ที่ระยะยิง 5, 15 และ 30 ซม.

จาก**ตารางที่ 6** และ**รูปที่ 5** เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้า nylon และผ้า cotton ในระยะการยิง 5, 15 และ 30 ซม. พบว่า ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในผ้า nylon มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 975.00±67.00, 391.60±28.43 และ 148.02±11.31µg/mL ที่ระยะยิง 5,15 และ 30 ซม. ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.001)

ในทำนองเดียวกันปริมาณสารตะกั่ว(Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้าcotton มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,035.24±152.05, 227.66±20.90 และ 83.76±7.15µg/mL ที่ระยะยิง 5,15 และ 30 ซม. ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน (p<0.001)

จากตารางที่ 6 และรูปที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนระหว่างผ้า nylon และผ้า cotton ในแต่ละระยะยิงพบว่า ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในผ้า nylon มากกว่าผ้า cotton ที่ระยะยิง 15 และ 30 ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$  และ  $p < 0.001$  ตามลำดับ) ขณะที่ปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนที่ระยะยิง 5 ซม. ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.441$ )

เมื่อทำการเปรียบเทียบรายคู่ (Multiple Comparison) ของปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้า nylon และผ้า cotton จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 7 ซึ่งพบว่า ปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้า nylon ที่ระยะยิง 5 ซม. มากกว่าระยะยิง 15 ซม. และ 30 ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) โดยมีผลต่างเฉลี่ยเท่ากับ 583.40 และ 826.98  $\mu\text{g/mL}$  ตามลำดับ และปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้า nylon ที่ระยะยิง 15 ซม. มากกว่าระยะยิง 30 ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) โดยมีผลต่างเฉลี่ยเท่ากับ 243.58  $\mu\text{g/mL}$

ปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้า cotton ที่ระยะยิง 5 ซม. มากกว่าระยะยิง 15 ซม. และ 30 ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) โดยมีผลต่างเฉลี่ยเท่ากับ 807.58 และ 951.48  $\mu\text{g/mL}$  ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบรายคู่ปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าแก๊ปปืนในผ้า nylon และผ้า cotton

	Distance		
	5 cm	15 cm	30 cm
<b>Nylon</b>			
5 cm	-	583.40* ( $p < 0.001$ *)	826.98* ( $p < 0.001$ *)
15 cm		-	243.58* ( $p < 0.001$ *)
30 cm			-
<b>Cotton</b>			
5 cm	-	807.58* ( $p < 0.001$ *)	951.48* ( $p < 0.001$ *)
15 cm		-	143.89 ( $p = 0.074$ )
30 cm			-

ข้อมูลนำเสนอโดย Mean difference (p-value)

### อภิปรายผลการศึกษา

ผ้าแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยสิ่งที่ทำให้เกิดคุณสมบัติที่แตกต่างกันนั้นได้แก่ ปริมาณช่องว่างระหว่างเส้นใยผ้า (porosity) ลักษณะช่องว่างระหว่างเส้นใยผ้า (pore shape) ขนาดของช่องว่างระหว่างเส้นใยผ้า (pore size) ช่องทางระหว่างผิวผ้าแต่ละด้าน (pore path) และคุณสมบัติของการฉีกขาด (shreddability) เป็นต้น ซึ่งเหล่านี้ทำให้เกิดความแตกต่างในการซึมซับของผ้าแต่ละชนิด เพราะฉะนั้น GSR ที่ปรากฏบนผิวหนังภายใต้ผ้าแต่ละชนิดอาจมีความแตกต่างกัน เพราะ GSR จำเป็นต้องเดินทางผ่านโครงสร้างของผ้าดังกล่าวข้างต้น จึงอาจมีบางส่วนถูกผ้าเหล่านั้นซึมซับไว้

จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารประกอบ nitrite ซึ่งเป็น propellant-GSR และเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของ GSR ที่ออกจากปากกระบอกปืน ที่พบบนผิวหนังใต้ผ้า cotton มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะยิง 15 และ 30 ซม. แต่ปริมาณสารประกอบ nitrite ที่พบบนผิวหนังใต้ผ้า nylon มีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อยและไม่มีความสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ nitrite ของผ้า cotton และ nylon ในระยะยิง 15 และ 30 ซม. กลับพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า ด้วยโครงสร้างของผ้า cotton ที่มีความแน่นน้อยกว่าผ้า nylon เมื่อมีการยิงเกิดขึ้นอาจมี GSR บางส่วนที่สูญเสียไปในขณะที่ผ้า nylon ที่มีความแน่นกว่าสามารถซึมซับ GSR ไว้ได้ ทำให้จากรูปที่ 4 จะพบว่าอัตราการลดลงของ Nitrite ในผ้า cotton มากกว่าในผ้า nylon จนกระทั่งมีปริมาณไม่ต่างกันมากนักในระยะยิง 15 และ 30 ซม.

นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระยะยิง 5 ซม. ปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูใต้ผ้า cotton มีปริมาณมากกว่าของใต้ผ้า nylon อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ระยะยิง 15 ซม. ก็พบว่าปริมาณสารประกอบ nitrite บนหนังหมูใต้ผ้า cotton ยังมีปริมาณมากกว่าของใต้ผ้า nylon เพียงแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น จากผลการศึกษาครั้งนี้ สันนิษฐานว่า โครงสร้างของผ้า cotton ที่มีความแน่นน้อยกว่าผ้า nylon ทำให้สารประกอบ nitrite จาก propellant สามารถทะลุผ่านผ้า cotton ลงไปยังหนังหมูข้างใต้ได้มากกว่าผ้า nylon

เมื่อพิจารณาจากผลการตรวจปริมาณสารตะกั่ว (Pb) จากเขม่าเก็บปืน พบว่า ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่พบในผ้า cotton และ nylon มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะยิง 15 และ 30 ซม. ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Z. Brozek-Mucha<sup>(9)</sup> ที่พบว่า ระยะตั้งแต่ 0.75 – 3 เมตร มี primer-GSR ที่พบบนเป้าหมายน้อยลงมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระสุนและปืนที่ใช้

ปริมาณของตะกั่ว (Pb) ที่พบในผ้า cotton และ nylon ในระยะยิง 5 ซม. พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในระยะยิง 15 และ 30 ซม. กลับพบว่า ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่พบในผ้า nylon มีปริมาณมากกว่าในผ้า cotton อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระยะยิงเดียวกัน ซึ่งความเป็นไปได้ว่า อนุภาคของตะกั่ว (Pb) ถูกซึมซับโดยผ้า nylon ได้ดีกว่าผ้า cotton เมื่อระยะยิงห่างขึ้น โดยทั่วไป ขนาดของ inorganic primer-GSR มีขนาดตั้งแต่ 0 – 30 ไมโครเมตร หรือมากกว่า 10 ไมโครเมตรเมื่อจับกลุ่มกัน<sup>(9)</sup> โดยที่ pore size ของผ้า cotton นั้นมีขนาดประมาณ 100 ไมโครเมตร และ pore size ของผ้า nylon มีขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตร ทำให้ผ้า nylon มีลักษณะที่แน่นกว่าผ้า cotton จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้ primer-GSR บางส่วนถูกผ้า nylon ซึมซับไว้ได้มากกว่าผ้า cotton ซึ่งเข้าได้กับผลการศึกษาของ Sebastien Charles et al<sup>(10)</sup> ที่เปรียบเทียบระหว่างผ้า cotton ผ้าขนสัตว์และหนังสัตว์ พบว่า สามารถพบ GSR ในหนังสัตว์ได้มากกว่า ผ้า cotton และผ้าขนสัตว์ 3 – 5 เท่า โดยร่วมกับคุณสมบัติของการฉีกขาด

จากข้อมูลของปริมาณสารประกอบ nitrite ที่พบบนหนังหมูและปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่พบในผ้าแต่ละชนิด พบว่า ข้อมูลทั้งสองมีผลไปในแนวทางเดียวกันคือ ผ้า nylon สามารถซึมซับ GSR ได้ดีกว่าผ้า cotton ทำให้สามารถพบสารประกอบ nitrite บนผิวหนังใต้ผ้า nylon ได้น้อยกว่าผ้า cotton และพบสารตะกั่ว (Pb) อยู่ภายในผ้า nylon ได้สูงกว่าผ้า cotton

นอกจากนี้การศึกษานี้ ทำให้พบว่าคราบเขม่าดินปืนภายใต้ผ้าในระยะ 5 และ 15 ซม. อาจมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ แต่ในระยะ 30 ซม. อาจมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ยังสามารถตรวจพบได้ด้วยวิธีการเช็ดเก็บตัวอย่างจากผิวหนังด้วยสำลีก้านพลาสติกในพื้นที่ยาวประมาณ 12 ซม. และกว้าง 7 ซม. แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ในขณะที่คราบเขม่าดินปืนในระยะที่น้อยลงมายังสามารถมองเห็นชัดเจนด้วยตาเปล่าและสามารถทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ด้วยอุปกรณ์ที่ไม่ซับซ้อนและสามารถหาได้ทั่วไป

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้อาจมีจำนวนตัวอย่าง ชนิดกระสุนและจำนวนชนิดผ้าที่มีจำนวนน้อยทำให้มีข้อจำกัดในการแปลผล แต่อาจเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริงในอนาคต ซึ่งนอกจากชนิดของผ้าแล้ว รายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผ้าแต่ละชนิดก็มีผลต่อการซึมซับ GSR ซึ่งอาจต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการตรวจคุณสมบัติดังกล่าวอาจใช้ส่วนนี้เป็นประเด็นการศึกษาต่อไปได้

## สรุป

ผ้า cotton และ nylon มีคุณสมบัติในการซึมซับ GSR ต่างกัน โดยที่ผ้า nylon มีคุณสมบัติในการดูดซับและป้องกันการทะลุผ่านของ GSR ได้ดีกว่าผ้า cotton โดยพบปริมาณสารประกอบ nitrite บนผิวหนังใต้ผ้า nylon

น้อยกว่าผ้า cotton และปริมาณตะกั่วในผ้า nylon มากกว่าผ้า cotton อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจพบคราบเขม่าดินปืนใต้ผ้าด้วยตาเปล่าที่พบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคราบเขม่าดินปืนใต้ผ้า cotton มีขนาดใหญ่กว่าใต้ผ้า nylon อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถประมาณรูปแบบและปริมาณของ GSR ที่อาจพบใต้ผ้าทั้งสองชนิดได้จากการยิงปืนพกสั้นขนาด 9 มม. ที่มักพบได้บ่อยในการก่อเหตุ รวมถึงในกรณีที่ไม่พบคราบเขม่าบนผิวหนังใต้ผ้าก็อาจทำการเก็บวัตถุพยานโดยวิธีเช็ดเก็บตัวอย่างเพื่อทำการตรวจทดสอบเพิ่มเติมได้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ น.ส.อรุณี จันทน์นิ่ม, น.ส.สุรัตนา ห่างทองและ น.ส.ดรุณรัตน์ แก้วมูล นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ห้องปฏิบัติการนิติพิษวิทยาที่ให้การช่วยเหลือในการตรวจทางห้องปฏิบัติการ

### เอกสารอ้างอิง

1. Maitre M, Kirkbride KP, Horder M, Roux C, Beavis A . Current perspectives in the interpretation of gunshot residues in forensic science : A review, Forensic Sci Int (2017) 270 1-11
2. Latzel S, Neimke D, Schumacher R, Barth M, Niewohner L . Shooting distance determination by m-XRF-Examples on spectra interpretation and range estimation, Forensic Sci Int (2012) 223 273-278
3. Zapata F, Lopez-Lopez M, Amigo JM, Garcia-Ruiz C . Multi-spectral imaging for estimation of shooting distances, Forensic Sci Int (2018) 282 80-85
4. Heringer RD, Ranville JF . Gunshot residue ( GSR ) analysis by single particle inductively coupled plasma mass spectrometry ( spICP-MS ), Forensic Sci Int (2018) 288 e20-e25
5. Ditrich H . Distribution of gunshot residues – The influence of weapon type, Forensic Sci Int (2012) 220 85-90
6. Hannigan TJ, McDermott SD, Greaney CM, O’Shaughnessy J, O’Brien CM . Evaluation of gunshot residue (GSR) evidences : Survey of prevalence of GSR on clothing and frequency of residue types, Forensic Sci Int (2015) 257 177-181
7. Brozek-Mucha Z Trends in analysis of gunshot residue for forensic purposes, Anal Bioanal Chem (2017) 409:5803-5811
8. Giraud C, Fais P, Pelletti G, Viero A, Miotto D, Boscolo-Berto R, Viel G, Montisci M, Cecchetto G, Ferrara SD . Micro-CT features of intermediate gunshot wounds covered by textiles, Int J Legal Med (2016) 130(5) 1257-64
9. Brozek-Mucha Z, Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis for chemical and morphological characterisation of the inorganic component of gunshot residue: selected problems, Biomed Res. Int. (2014) 1-11
10. C. Sebastien, L Marc, G Nadia, Influence of the type of fabric on the collection efficiency of gunshot residues, Forensic Sci Int (2013) 228 42-46