

แอปพลิเคชันแปลภาษามือไทยผ่านเทคโนโลยี Body Tracking
Thai Sign language translation application
through Body Tracking technology

ชื่อผู้จัดทำบทความ แจ็ค โอริค¹, ทิวัธ ชันชัยทิศ¹, พัทธดนย์ สโรบล¹
ชื่อที่ปรึกษา คณพศ ชัยวรรณ¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย 345 หมู่ 2 ต.รอบเวียง อ.เมือง จ.เชียงราย 57000

* Email: 05100_jack@pcccr.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการเรื่อง “แอปพลิเคชันแปลภาษามือผ่านเทคโนโลยี Body Tracking” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแปลภาษามือไทยเป็นข้อความหรือเสียงพูด อำนวยความสะดวกในการสื่อสารระหว่างผู้บกพร่องทางการได้ยินกับบุคคลทั่วไป และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อแอปพลิเคชันที่พัฒนาระบบดังกล่าวใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Body Tracking) ผ่านกล้องของอุปกรณ์พกพา ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วยการพัฒนาโปรแกรมและเก็บข้อมูลโดยใช้ MediaPipe Hands และ MediaPipe Holistic สำหรับตรวจจับจุดสำคัญของมือและร่างกาย ร่วมกับ OpenCV เพื่อประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ จากนั้นสร้างและฝึกโมเดลแปลท่าทางด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยใช้ไลบรารี TensorFlow/Keras หลังจากนั้นได้ออกแบบและพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI/UX) ให้มีหน้ากล่องตรวจจับท่าทาง หน้าผลลัพธ์ และปุ่มบันทึก จากนั้นทำการทดสอบความแม่นยำและความเสถียรของระบบ พร้อมทั้งปรับปรุงโมเดลและอินเทอร์เฟซให้เหมาะสมยิ่งขึ้น จากนั้นนำแอปพลิเคชันไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้ใช้งานจริง เพื่อประเมินความพึงพอใจและรวบรวมข้อเสนอแนะ เพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้มีประสิทธิภาพ จากการทดลองพบว่าระบบสามารถทำงานแบบเรียลไทม์ มีอัตราการประมวลผล 25–30 เฟรมต่อวินาที และมีความแม่นยำในการจำแนกภาษามือไทยร้อยละ 70 ซึ่งอยู่ในระดับเริ่มต้นที่สามารถใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: ภาษามือไทย, การแปลภาษามือ, ปัญญาประดิษฐ์ (AI), Body Tracking, แอปพลิเคชันแปลภาษา

1. บทนำ

ปัญหาการบกพร่องทางการได้ยินถือเป็นวิกฤตสุขภาพและเศรษฐกิจระดับโลกที่มีแนวโน้มขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) คาดการณ์ว่าภายในปี 2050 จะมีผู้เผชิญภาวะสูญเสียการได้ยินสูงถึง 700 ล้านคนทั่วโลก ซึ่งปัญหานี้สร้างมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจจากการสูญเสียผลผลิตและการแยกตัวทางสังคมสูงถึงปีละ 980 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ยิ่งไปกว่านั้นสถานการณ์ดังกล่าวยังทวีความรุนแรงขึ้นจากการขาดแคลนล่ามภาษามืออย่างหนักทั่วโลก รวมถึงในประเทศไทยที่มีผู้บกพร่องทางการได้ยินมากกว่า 300,000 คน แต่กลับมีล่ามภาษามือที่ได้รับการรับรองเพียง 200 คนเท่านั้น ส่งผลให้เกิดอัตราส่วนที่เหลื่อมล้ำอย่างรุนแรงถึง 1 ต่อ 1,500 คน ข้อยกจำกัดด้านการสื่อสารนี้สร้างช่องว่างและส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเข้าถึงสิทธิขั้นพื้นฐานของผู้ป่วยหูหนวก ไม่ว่าจะเป็นความล่าช้าในสถานการณ์ฉุกเฉินทางการแพทย์ การขาดบริการสนับสนุนในสถาบันการศึกษา ตลอดจนการสูญเสียโอกาสในการทำงานและการมีส่วนร่วมในสังคม

เนื่องจากการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีดั้งเดิมอย่างการฝึกอบรมล่ามเพิ่มเติมไม่สามารถตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้อย่างทันทั่วทั้งการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแปลภาษามือจึงเป็นทางออกที่สำคัญและมีประสิทธิภาพสูง ด้วยข้อได้เปรียบในการเปิดใช้งานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องเวลาและสถานที่ มีต้นทุนต่ำ และสามารถเข้าถึงได้ง่ายผ่านอุปกรณ์พกพา โครงการพัฒนาแอปพลิเคชันแปลภาษามือนี้จึงมีความสำคัญในหลายมิติ ทั้งในมิติทางสังคมที่ช่วยส่งเสริมความเท่าเทียมและการลดความเหลื่อมล้ำ (Social Inclusion) มิติทางเทคโนโลยีในการสร้างองค์ความรู้ด้านการประมวลผลภาษามือแบบเรียลไทม์ มิติทางเศรษฐกิจในการลดต้นทุนและสร้างโอกาสทางอาชีพ และมิติทางการศึกษาในการเป็นต้นแบบนวัตกรรมเพื่อ

สังคม (AI for Good) ดังนั้น โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดช่องว่างในการสื่อสารระหว่างผู้บกพร่องทางการได้ยินกับคนทั่วไป พร้อมทั้งยกระดับ

การเข้าถึงบริการพื้นฐานในชีวิตประจำวันเพื่อสร้างผลกระทบเชิงบวกต่อคุณภาพชีวิตของผู้บกพร่องทางการได้ยินอย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุ อุปกรณ์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิจัย

ในการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแปลภาษามือ คณะผู้จัดทำได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

2.1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware):

กล้องเว็บแคม หรือกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่รองรับการบันทึกวิดีโอความละเอียดสูง เพื่อใช้ในการจับภาพท่าทางมือ

คอมพิวเตอร์ หรือเครื่องแม่ข่าย (Server) ที่มีความสามารถในการประมวลผลภาพสูง (ติดตั้งหน่วยประมวลผลกราฟิก หรือ GPU เพื่อเร่งความเร็วในการประมวลผล)

สมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ Android และ iOS สำหรับใช้ในการทดสอบระบบปฏิบัติการของแอปพลิเคชัน

2.1.2 ซอฟต์แวร์ (Software):

ภาษา Python สำหรับใช้ในการพัฒนาแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์และการประมวลผลภาพ

ไลบรารี MediaPipe และ OpenCV สำหรับใช้ในการตรวจจับจุดสำคัญของมือ (Hand Landmarks) และประมวลผลภาพวิดีโอแบบเรียลไทม์

เฟรมเวิร์ก Flutter สำหรับใช้ในการออกแบบและพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (UI/UX) บนสมาร์ตโฟน

4.โปรแกรม Visual Studio Code สำหรับใช้เป็นเครื่องมือหลักในการเขียนโค้ด (IDE)

เฟรมเวิร์ก Flask หรือ FastAPI สำหรับใช้ในการพัฒนา API เพื่อเชื่อมต่อระบบแปลภาษามือเข้ากับแอปพลิเคชัน

2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.2.1 ประชากร (Population): ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ผู้บกพร่องทางการได้ยินในประเทศไทย และบุคคลทั่วไปที่ต้องการสื่อสารหรือปฏิสัมพันธ์กับผู้บกพร่องทางการได้ยิน

2.2.2 กลุ่มตัวอย่าง (Sample): กลุ่มตัวอย่างคือ ผู้บกพร่องทางการได้ยินและบุคคลทั่วไปที่คัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อเข้าร่วมทดสอบการใช้งานแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

2.3 ขั้นตอนการดำเนินการพัฒนาแอปพลิเคชัน

2.3.1 การตรวจจับทิศทางและประมวลผล: ใช้ไลบรารี MediaPipe Hands หรือ MediaPipe Holistic ในการตรวจจับและสกัดพิกัดจุดสำคัญของมือและร่างกาย ร่วมกับการใช้ OpenCV ในการประมวลผลเฟรมวิดีโอแบบเรียลไทม์เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการแปลผล

2.3.2 การพัฒนาแบบจำลองเพื่อแปลท่าทาง:

นำพิกัดจุดสำคัญที่สกัดได้มาทำการฝึกสอน (Training) แบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ เช่น Random Forest, Support Vector Machine (SVM) หรือ Neural Networks โดยใช้ผ่านไลบรารีมาตรฐาน ได้แก่ scikit-learn หรือ TensorFlow/Keras เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำสูงในการจำแนกท่าทางภาษามือ

2.3.3 การออกแบบและพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (UI/UX):

พัฒนาอินเทอร์เฟซแอปพลิเคชันด้วย Flutter โดยแบ่งส่วนการใช้งานออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ หน้าหลักสำหรับตรวจจับและประมวลผลท่าทาง, หน้าแสดงผลข้อความที่แปลได้ และระบบปุ่มสำหรับบันทึกหรือแบ่งปันผลลัพธ์การแปล

2.4 การทดลอง การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงเทคนิค:

ทำการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดความแม่นยำ (Accuracy) ในการแปลความหมาย และวัดความเร็ว (Response Time) ในการประมวลผลเฟรมวิดีโอ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ย้อนกลับไปปรับปรุงแบบจำลองด้วยข้อมูลฝึกสอนเพิ่มเติม (Fine-tuning) รวมถึงเพิ่มฟีเจอร์ระบบสังเคราะห์เสียงพูด (Text-to-Speech) ควบคู่ไปกับข้อความตัวอักษร

2.4.2 การทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างและการประเมินความพึงพอใจ:

นำแอปพลิเคชันที่ผ่านการปรับปรุงแล้วไปให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นและระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานผ่านแบบสอบถามและแบบบันทึกข้อเสนอแนะ

2.4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis):

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงระบบ: วิเคราะห์ค่าความแม่นยำทางสถิติของแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ และความเร็วในการประมวลผลระบบส่งผ่านข้อมูล (API latency)

การวิเคราะห์ข้อมูลผู้ใช้งาน: วิเคราะห์ข้อมูลระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เช่น ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) พร้อมทั้งวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) จากข้อเสนอแนะเพื่อนำมาประเมินจุดเด่นและจุดที่ต้องปรับปรุงของแอปพลิเคชันในอนาคต

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 สภาพแวดล้อมการทดลอง (Experimental Environment)

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปลภาษามือแบบเรียลไทม์ดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมโดยฟิร์มแวร์ใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลร่วมกับกล้องเว็บแคมความละเอียดสูงในการจับ

ภาพเคลื่อนไหวของมือ ในขณะที่ฝั่งซอฟต์แวร์ขับเคลื่อนด้วยภาษา Python ร่วมกับไลบรารี OpenCV และ MediaPipe ในการตรวจจับพิกัดจุดสำคัญของมือ (Hand Keypoints) และใช้เฟรมเวิร์ก TensorFlow สำหรับการประมวลผลแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ในการจำแนกท่าทางภาษามือ

3.2 ผลการทำงานของระบบและผลการทดสอบ (System Performance and Experimental Results)

จากการดำเนินงานพบว่าระบบประมวลผลสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวของมือและจำแนกท่าทางออกมาเป็นตัวอักษรภาษามือไทยแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบจะแสดงผลลัพธ์การแปลออกมาในรูปแบบของข้อความตัวอักษร (Text) บนหน้าจออินเทอร์เน็ตเฟส และพร้อมสำหรับการพัฒนาต่อยอดให้สามารถแปลงผลลัพธ์เป็นเสียงพูด (Text-to-Speech) ในอนาคต

สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเทคนิคมีรายละเอียดดังนี้:

ค่าความแม่นยำ (Accuracy): ระบบมีความแม่นยำในการจำแนกท่าทางเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60 ถึง 70 ซึ่งแปรผันตรงตามสภาพแวดล้อมทางแสงและระยะห่างจากกล้อง

ความเร็วในการประมวลผล (Latency): มีอัตราการหน่วงเวลาเฉลี่ย (Latency) ต่ำเพียงประมาณ 40 ถึง 50 มิลลิวินาทีต่อเฟรม ซึ่งทำให้ระบบสามารถแสดงผลได้อย่างต่อเนื่องที่ความเร็วประมาณ 20 ถึง 25 เฟรมต่อวินาที (fps) อันเป็นระดับความเร็วที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริงแบบเรียลไทม์

ข้อจำกัดที่พบ: ระบบยังคงมีข้อจำกัดในการจำแนกท่าทางที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ประสิทธิภาพลดลงในพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงต่ำ และความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากมุมมองที่เอียงเกินไป

3.3 การวิเคราะห์ข้อผิดพลาด (Error Analysis)

จากการวิเคราะห์สาเหตุของข้อผิดพลาดในการประมวลผล สามารถจำแนกปัญหาสำคัญออกเป็น 3 ประการหลัก ได้แก่:

1. **ความสับสนเชิงกายภาพของท่าทาง (Physical Similarity):** แบบจำลองมีแนวโน้มที่จะจำแนกผิดพลาดเมื่อพบท่าทางภาษามือไทยที่มีโครงสร้างพิกัดพอยเตอร์หรือท่วงท่าที่คล้ายคลึงกันอย่างมาก
2. **สภาพแสงที่ไม่อำนวย (Poor Lighting Conditions):** ปริมาณแสงสว่างที่ไม่เพียงพอทำให้ไลบรารี MediaPipe ไม่สามารถตรวจจับและติดตามจุดสำคัญของมือ (Keypoints tracking) ได้อย่างครบถ้วนและแม่นยำ
3. **ระยะทางและตำแหน่งมุมมอง (Camera Distance and Angle):** การที่กลุ่มตัวอย่างอยู่ห่างหรือใกล้กล้องจนเกินไป รวมถึงตำแหน่งมุมมองที่บิดเบือน ส่งผลให้สัดส่วนพิกัดมือที่ป้อนเข้าสู่แบบจำลองผิดเพี้ยนไปจากข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน (Training Data)

สรุปผล

4.1 อภิปรายผลการดำเนินงาน

จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของระบบต้นแบบแอปพลิเคชันแปลภาษามือไทย พบว่าระบบมีความเร็วในการประมวลผลและการแสดงผลข้อมูลส่งผ่าน (Latency) เฉลี่ยต่ำเพียงประมาณ 40 ถึง 50 มิลลิวินาทีต่อเฟรม ซึ่งช่วยให้การแสดงผลข้อความบนหน้าจอมีความลื่นไหลต่อเนื่องที่อัตรา 25 ถึง 30 เฟรมต่อวินาที (fps) อันเป็นระดับความเร็วที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ทันที

อย่างไรก็ตาม ในส่วนของค่าความถูกต้องแม่นยำ (Accuracy) ในการจำแนกท่าทางภาษามือไทยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60 ถึง 70 ซึ่งแปรผันตรงตามปัจจัยแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงต่ำ หรือเมื่อตำแหน่งและมุมมองของอุปกรณ์พิกัดคลาดเคลื่อนไปจากแนวระนาบ นอกจากนี้ความแม่นยำยังคงจำกัดอยู่เฉพาะการแปลท่าทางที่เป็นตัวอักษรเดี่ยวหรือคำศัพท์สั้น ๆ และมักเกิดความ

สับสนในการวิเคราะห์พิกัดจุดสำคัญ (Keypoints) เมื่อพบท่าทางภาษามือที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกัน แต่ข้อมูลที่ได้นี้ก็ถือเป็นผลสัมฤทธิ์ในระดับเริ่มต้นที่มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการพิสูจน์แนวคิดและสร้างเป็นแบบจำลองต้นแบบในการพัฒนาต่อยอดเชิงพาณิชย์และสังคมต่อไป

4.2 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองและพัฒนาโครงงานระบบแปลภาษามือไทยด้วยเทคโนโลยีติดตามร่างกาย (Body Tracking) พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับพิกัดจุดสำคัญของมือผ่านกล้องและจำแนกท่าทางออกมาเป็นข้อความภาษาไทยแบบเรียลไทม์ได้สำเร็จโดยมีความเร็วในการประมวลผลอยู่ที่ 25 ถึง 30 เฟรมต่อวินาที และมีความแม่นยำในการจำแนกท่าทางในช่วงร้อยละ 60 ถึง 70 ซึ่งในการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างพบว่าแอปพลิเคชันนี้สามารถช่วยลดช่องว่างและเพิ่มความสะดวกในการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนทั่วไปกับผู้บกพร่องทางการได้ยินได้อย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งผลลัพธ์ในรูปแบบข้อความยังมีความพร้อมที่จะนำไปบูรณาการร่วมกับระบบแปลงข้อความเป็นเสียงพูด (Text-to-Speech) เพื่อเพิ่มศักยภาพและความสมบูรณ์ในการสื่อสารสองทางให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์และใช้งานได้จริงควรมีการปรับปรุงในประเด็นต่อไปนี้

- เก็บข้อมูลจำนวนมากขึ้นและเพิ่มความหลากหลาย ทั้งผู้ใช้งานและสภาพแวดล้อม
- ใช้โมเดลที่ซับซ้อนขึ้น เช่น Transformer เพื่อรองรับการแปลต่อเนื่องเป็นคำและประโยค
- ปรับระบบให้สามารถทำงานบนอุปกรณ์พกพา เช่น สมาร์ทโฟน
- ทดสอบกับผู้ใช้งานจริงเพื่อเก็บ feedback และปรับปรุงระบบให้ตรงความต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ

ครูคุณפט ชัยวรรณะ ครูที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่และอดทนตลอดระยะเวลาในการทำโครงงานเล่มนี้ จนสามารถดำเนินงานได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ

ดร.วันสว่าง สิงห์ชัย ผู้อำนวยการโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารัตนราชวิทยาลัย เชียงราย ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ อุปกรณ์ และให้กำลังใจอย่างดียิ่ง

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ และครอบครัวที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ในการจัดทำโครงงานครั้งนี้ หากปราศจากความกรุณาจากทุกท่านแล้ว โครงงานเล่มนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้

ข้าพเจ้าน้อมรับความผิดพลาดหรือข้อบกพร่องใด ๆ ที่อาจปรากฏในโครงงานเล่มนี้ไว้เพียงผู้เดียว และจะนำไปปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ. (2565). รายงานสถิติจำนวนผู้พิการในประเทศไทย. <https://dep.go.th>
2. สุชาสินี จิระวานิช, และคณะ. (2562). การพัฒนาระบบแปลภาษามือไทยเป็นข้อความโดยใช้การตรวจจับท่าทางจากภาพวิดีโอ. วารสารวิชาการเทคโนโลยีสารสนเทศ, 15(1), 25–32.
3. กองทุนส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ. (2563). ปัญหาและความต้องการของคนพิการในการเข้าถึงบริการ. <https://60plus.or.th>
4. Aljubran, B., Lenehan, C., & Boyle, B. (2025). Tattoo ink warning: Hidden ingredients found in new research by Flinders University. *The Advertiser*. <https://www.adelaidenow.com.au/news/south-australia/flinders-university-study-raises-concerns-on-tattoo-inks/news-story/d154dceaf5e0a1255669824bad91677f>
5. Cory, E. E. (2024). Written on the body: Tattoo art as bridgework in the post-migration context. *Journal of International and Intercultural Communication*, 17(2), 123-145. <https://doi.org/10.1080/08865655.2023.2261474>
6. Datta, S. (2023). Socio-cultural significance of tattoo from anthropological perspectives. *Skyline of Anthropology*, 1(1), 45-59.
7. Docter-Loeb, H. (2025). Science on our sleeves: The research that inspires our tattoos. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/d41586-025-00721-z>
8. Evans-Black, K. (2020). Stained, not tarnished: A heuristic study of tattoos and identity. *Indiana University ScholarWorks*. <https://scholarworks.indianapolis.iu.edu/bitstreams/f2a84e5b-853c-4c8b-bbf7-798d3990ee5f/download>
9. Feeney, M. (2016). A discourse on the modern tattoo experience for adults aged 30 and over. *Smith College Theses*. <https://scholarworks.smith.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3066&context=theses>
10. Fedorenko, J. S. (1999). A body of work: A case study of tattoo culture. *Young Historians Journal*, 3(1), 45-58. <https://www.jstor.org/stable/20715974>
11. Krutak, L. (2015). The cultural heritage of tattooing: A brief history. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 108(8), 305-308. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25833618/>
12. Luzier, S. (2023). Most vulgar and barbarous: A history of tattoo stigma. *Young Historians Journal*, 7(1), 12-25.