

ORIGINAL ARTICLE

การคัดกรองและประเมินประสิทธิภาพของการทำงานของหัวใจผ่านการอัลตราซาวด์หัวใจ โดยใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์

Assessing the Efficacy of Artificial Intelligence in Left Ventricular Function Screening Using

Parasternal Long Axis View Cardiac Ultrasound Video Clips

สิทธิลักษณ์ วงษ์วันทนี, พ.บ.¹, ณัฐวุฒิ หนูโพธิ์โรจน์, ประ.ศ.², ธนานพ กอบชัยสวัสดิ์, ประ.ศ.², ชัยชนะ ดาวฤทธิ์กุล, พ.บ.²

Sittililuck Wongwantanee, M.D.¹, Natawut Nupairoj, Ph.D.²,

Thananop Kobchaisawat Ph.D.², Chaichana Thavornthaveekul, M.D.²

¹กลุ่มงานอายุรกรรม โรงพยาบาลระยอง,

²ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹Department of Medicine Rayong Hospital,

²Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Received: January 3, 2024 Revised: March 25, 2024 Accepted: May 14, 2024

บทคัดย่อ

ที่มาของปัญหา: การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจ เป็นการตรวจมาตรฐานในการดูแลรักษาคนไข้ภาวะหัวใจล้มเหลว จากข้อมูลของกระทรวงสาธารณสุขในประเทศไทยพบว่า มีคนไข้มากถึง 100,000 คน ต้องพักรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยภาวะดังกล่าว ซึ่งการทำคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจในคนไข้กลุ่มนี้ไม่สามารถทำได้อย่างทั่วถึง เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านทรัพยากรบุคคล โดยเฉพาะในโรงพยาบาลชุมชนที่ห่างไกล ถึงแม้ว่าในปัจจุบันโรงพยาบาลชุมชนจะมีเครื่องอัลตราซาวด์ซึ่งสามารถใช้ตรวจวัดการทำงานของหัวใจพื้นฐานได้ แต่อย่างไรก็ตามการประเมินผล จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการวินิจฉัยได้อย่างแม่นยำ ด้วยการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งมีความสามารถประมวลผลได้อย่างแม่นยำในหลายปัญหาทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ จึงน่าจะสามารรถประยุกต์ใช้กับการประเมินวิดีโอภาพคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจที่เก็บได้จากโทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟน การศึกษาจึงออกแบบมาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการประเมินการทำงานของหัวใจจากภาพวิดีโอที่เก็บได้จาก Application ในโทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟน

วัตถุประสงค์: เพื่อประเมินประสิทธิภาพความแม่นยำของปัญญาประดิษฐ์ ในการประเมินการทำงานของหัวใจจากวิดีโอคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจท่า Parasternal long axis view ที่ได้จาก Application ในโทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟน

วิธีการศึกษา: เราสร้าง Application “Easy EF” ในโทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟนเพื่อเก็บภาพวิดีโอสั้นของการทำคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจในท่า Parasternal long axis view และส่งภาพวิดีโอผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังปัญญาประดิษฐ์เพื่อประมวลผล จากวิดีโอที่ได้ทั้งหมด 923 วิดีโอ ที่ถูกประเมินค่า LVEF จากแพทย์เฉพาะทางโรคหัวใจแล้ว 739 วิดีโอ จะใช้เพื่อฝึกการเรียนรู้และอีก 184 วิดีโอ จะใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการแบ่งการทำงานของหัวใจเป็น 3 กลุ่ม ตามมาตรฐาน ทั้งกลุ่มหัวใจทำงานน้อย ทำงานปานกลางและทำงานปกติ

ผลการศึกษา: จาก 184 วิดีโอที่ใช้ทดสอบ ระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถแยกกลุ่มหัวใจทำงานน้อยมากได้ ความแม่นยำร้อยละ 97 (36 จาก 37 วิดีโอ) กลุ่มหัวใจทำงานปานกลางได้ ความแม่นยำร้อยละ 71 (12 จาก 17 วิดีโอ) และกลุ่มหัวใจทำงานปกติได้ ความแม่นยำร้อยละ 99 (129 จาก 130 วิดีโอ) $p=0.01$ ประสิทธิภาพรวมในการประเมินการทำงานของหัวใจอยู่ที่ร้อยละ 96.2 (ถูกต้อง 177 จาก 184 วิดีโอ)

สรุป: ระบบปัญญาประดิษฐ์ มีความสามารถในการใช้เป็นเครื่องมือในการคัดกรองเบื้องต้น ซึ่งการทำงานของหัวใจจากวิดีโอคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจท่า Parasternal long axis view ที่เก็บได้จาก Application ในโทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟน แต่ในกลุ่มที่หัวใจทำงานปานกลางยังจำเป็นต้องมีการพัฒนาต่อถึงความเที่ยงตรงแม่นยำของระบบปัญญาประดิษฐ์ในการคัดกรองรวมถึงการใช้งานจริงในพื้นที่

คำสำคัญ: หัวใจล้มเหลว, ปัญญาประดิษฐ์, คลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงหัวใจ, การทำงานของหัวใจ

ClinicalTrials.gov Identifier, NCT06330103

ABSTRACT

BACKGROUND: Echocardiography serves as a fundamental diagnostic procedure for managing heart failure patients. Data from Thailand's Ministry of Public Health reveals that there is a substantial patient population, with over 100,000 admissions annually due to this condition. Nevertheless, the widespread implementation of echocardiography in this patient group remains challenging, primarily due to limitations in specialist resources, particularly in rural community hospitals. Although modern community hospitals are equipped with ultrasound machines capable of basic cardiac assessment (e.g., parasternal long axis view), the demand for expert cardiologists remains a formidable obstacle to achieving comprehensive diagnostic capabilities. Leveraging the capabilities of Artificial Intelligence (AI) technology, proficient in the accurate prediction and processing of diverse healthcare data types, offers a promising alternative for addressing this prevailing issue. This study is designed to assess the effectiveness of AI in evaluating cardiac performance from parasternal long axis view ultrasound video clips obtained via a smartphone application.

OBJECTIVES: To evaluate the effectiveness of AI in screening cardiac function from parasternal long axis view cardiac ultrasound video clips obtained through a smartphone application.

METHODS: The authors developed a smartphone application that could be used to collect parasternal long axis view video clips and use artificial intelligence "Easy EF" to evaluate cardiac function. Out of 923 samples that were evaluated for LVEF by certified cardiologists, 739 clips were used to train AI, while the remaining 184 clips were used to test whether AI could process the results correctly. Artificial intelligence aims to classify cardiac function into three groups: Reduced EF, Mildly Reduced EF, and Preserved LV.

RESULTS: Out of 184 test video clips, AI achieved 96% classification results. The proposed AI was able to classify Reduced EF with 97% accuracy (36 from 37 clips), Mildly Reduced EF with 71% accuracy (12 from 17 clips), and Preserved LV with 97% accuracy (129 from 131 clips) $p=0.0147$. Overall accuracy was 96.2% (177 from 184 clips).

CONCLUSIONS: Artificial Intelligence in the form of "Easy EF" has been demonstrated to be promising screening tool for the assessment of cardiac function from parasternal long axis video clips. However, further development is needed, particularly to enhance accuracy in the Mildly Reduced EF group.

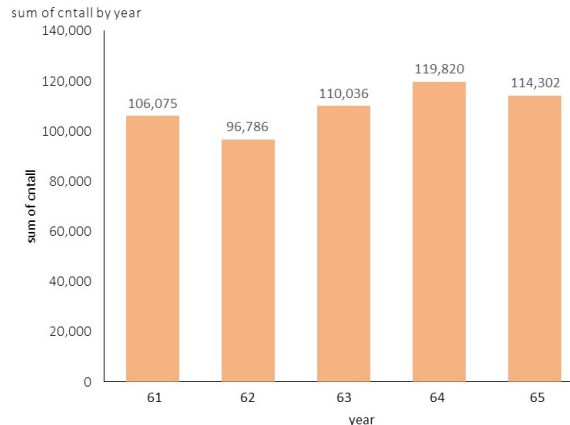
KEYWORDS: heart failure, artificial intelligence, echocardiography, cardiac function classification

ClinicalTrials.gov Identifier, NCT06330103

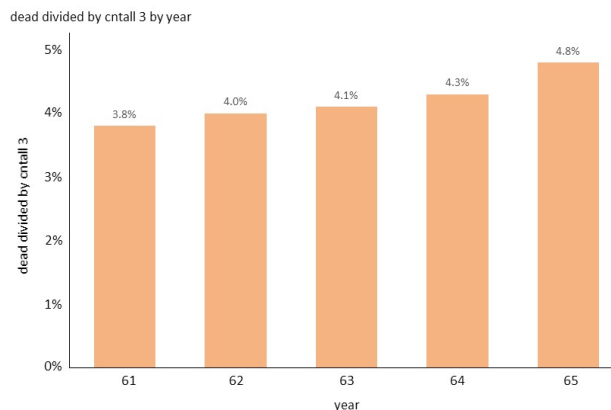
บทนำ

ภาวะหัวใจล้มเหลว (heart failure) เป็นกลุ่มอาการที่สำคัญสำหรับระบบสาธารณสุขของประเทศไทย จากข้อมูลของกองบริหารการสาธารณสุขมีการรับคนไข้เข้านอนในโรงพยาบาลกว่า 1 แสนครั้งต่อปี จากโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข 903 โรงพยาบาล

ทั่วประเทศ มีอัตราการเสียชีวิตในโรงพยาบาลเฉลี่ยประมาณร้อยละ 4 แต่ในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่เป็นโรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไปที่รับการส่งต่อคนไข้ที่มีอาการหนัก อาการเสียชีวิตจะสูงถึงร้อยละ 8 และหลังจากคนไข้กลับบ้านไปแล้วที่ 1 ปี ยังมีอัตราการเสียชีวิตสูงถึงร้อยละ 40-50¹ (รูปที่ 1 และ 2)



รูปที่ 1 จำนวนการรับเข้านอนโรงพยาบาลของคนไข้ภาวะหัวใจล้มเหลว (I50) ในโรงพยาบาลสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2565



รูปที่ 2 อัตราการเสียชีวิตในโรงพยาบาลของคนไข้ภาวะหัวใจล้มเหลว (I50) ในโรงพยาบาลสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2565

ปัจจุบันภาวะหัวใจล้มเหลวจะสามารถแบ่งคนไข้เป็น 3 กลุ่ม ตามการทำงานของหัวใจห้องล่างซ้าย จากการประเมินด้วยเครื่องสะท้อนความถี่หัวใจ ซึ่งคนไข้ทั้ง 3 กลุ่ม จะมีรายละเอียดการให้ยาและการรักษาที่แตกต่างกันเพื่อช่วยแพทย์ในการพิจารณาการให้ยาที่เหมาะสมกับสภาวะหัวใจของคนไข้ อีกทั้งมีการศึกษารองรับถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการรักษาโดยจำแนกชนิดของภาวะหัวใจล้มเหลวตามค่า Left

Ventricular Ejection Fraction (LVEF)² ดังนี้

1. HF with reduced EF (HFrEF) หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF <ร้อยละ 40
 2. HF with mid-range EF (HFmrEF) หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ร้อยละ 40-49
 3. HF with preserved EF (HFpEF) หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ≥ร้อยละ 50
- การรักษาภาวะหัวใจล้มเหลวในปัจจุบันมีการ

ศึกษาริ้วยพบว่าถ้าคนไข้ได้รับยาและการดูแลรักษาตามแนวทางเวชปฏิบัติมาตรฐานจะสามารถลดอัตราการเสียชีวิตลงได้³⁻⁴ และคนไข้ที่มีค่าการทำงานของหัวใจ (LVEF) ต่ำจะมีอัตราการเสียชีวิตสูงกว่าคนที่มีการทำงานหัวใจปกติมาก⁵ และการที่คนไข้ที่มี LVEF ต่ำ (HFrEF) ได้รับการเข้าถึงการรักษา ไม่ว่าจะเป็นการฉีดสตีเวนเส้นเลือดหัวใจหรือการผ่าตัดบายพาสกรณเส้นเลือดหัวใจตีบ หรือการได้รับยาที่เหมาะสมตามคำแนะนำการรักษา มาตรฐานจะสามารถทำให้คนไข้มีอัตราการเสียชีวิตที่ลดลง และเพิ่มคุณภาพชีวิตได้อย่างมาก³⁻⁴

เพื่อที่จะเริ่มการให้ยารักษาภาวะหัวใจล้มเหลวตามคำแนะนำจากแนวทางเวชปฏิบัติเพื่อการวินิจฉัยและการดูแลรักษาผู้ป่วยภาวะหัวใจล้มเหลว พ.ศ. 2562 (คำแนะนำ IC)⁶ คนไข้ภาวะหัวใจล้มเหลวทุกคนจำเป็นต้องได้รับการประเมินหัวใจด้วยการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจ (echocardiography) เพื่อแบ่งแยกคนไข้เป็น 3 กลุ่ม และเมื่อให้ยาและการรักษาที่เหมาะสมกับการทำงานของหัวใจจะสามารถลดอัตราการเสียชีวิตและทำให้คุณภาพชีวิตของคนไข้ดีขึ้นได้

การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจ (echocardiography) จำเป็นจะต้องทำโดยผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นแพทย์อายุรกรรมโรคหัวใจหรือนักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอกที่ได้รับการฝึกมาตามมาตรฐานซึ่งมีการให้บริการอยู่ในโรงพยาบาลศูนย์และโรงพยาบาลทั่วไปขนาดใหญ่เท่านั้น และบุคลากรทั้ง 2 ส่วนนี้ยังมีจำนวนน้อยและภาระงานมาก ทำให้คนไข้ภาวะหัวใจล้มเหลวหลายคนเข้าไม่ถึงและไม่ได้รับการประเมินด้วยการทำคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจโดยเฉพาะในโรงพยาบาลชุมชน ส่งผลให้การปรับยาและการใช้ยาตามมาตรฐานทำได้ไม่เต็มที่โดยเฉพาะช่วงแรกก่อนส่งตัวไปพบแพทย์เฉพาะทางโรคหัวใจ รวมถึงการส่งต่อเพื่อวินิจฉัยเพิ่มเติมและรักษาโดยเฉพาะการทำการฉีดสตีเวนหลอดเลือดหัวใจทำได้จำกัด หากยังไม่ทราบค่าการทำงานของหัวใจ อีกทั้งเครื่องคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงมีอยู่ในโรงพยาบาลเกือบทุกแห่งของโรงพยาบาลสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ถึงแม้จะเป็นเครื่องมือที่ไม่ได้มีความละเอียดมากนักและไม่ได้ออกแบบไว้สำหรับการดูหัวใจ แต่ก็สามารถใช้ประเมินหัวใจเบื้องต้นได้หากผู้ประเมินมี

ประสบการณ์มากพอ หากมีเทคโนโลยีที่ช่วยคัดกรองโรคหัวใจที่รุนแรงเบื้องต้นที่ใช้ได้โดยแพทย์ทั่วไปหรือบุคลากรทางการแพทย์ที่ได้รับการฝึกฝนมาจะสามารถช่วยให้คนไข้เข้าถึงการรักษาที่จำเป็นได้เร็วขึ้น

การวางเครื่องคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หน้าอก ที่ตำแหน่งข้างกระดูกหน้าอกข้างซ้าย (Parasternal) สามารถทำได้ง่ายและมีโอกาสได้ภาพที่สมบูรณ์มาก เนื่องจากไม่มีอุปสรรคจากเต้านมมาบัง ถ้าชุดวิดีโอภาพที่ได้จากการวางเครื่องขึ้นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจถูกประเมินโดยผู้ที่มีประสบการณ์จะสามารถคัดกรองคนไข้ที่ภาวะหัวใจทำงานน้อยลงมากได้ และจะสามารถจัดลำดับความสำคัญในการเข้าพบผู้เชี่ยวชาญ หรือการให้ยาและการรักษาเบื้องต้นโดยเฉพาะสำหรับกลุ่มคนไข้ที่มีการทำงานของหัวใจน้อย (HFrEF) ได้ก่อนในช่วงระหว่างที่รอพบอายุรแพทย์โรคหัวใจ

ในภาวะการณปัจจุบันระบบปัญญาประดิษฐ์ Artificial Intelligence (AI) มีการใช้อย่างแพร่หลายในทางการแพทย์ และมีความสามารถสูงขึ้นในหลากหลายสาขาทางการแพทย์ โดยสามารถประเมินภาพชุดของรูปภาพและข้อมูลต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากได้รับการฝึกสอนที่ถูกต้อง โดยปัจจุบัน AI ที่ประเมินการทำงานของหัวใจโดยอ่านภาพวิดีโอคลิปกจากหน้าจอเครื่องอัลตราซาวด์จากโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน ซึ่งไม่มีการศึกษาใดศึกษามาก่อน

โรงพยาบาลระยอง และคณะวิศวกรรมภาควิชาคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ร่วมมือกันในการจัดทำปัญญาประดิษฐ์อัจฉริยะในการประเมินการทำงานของหัวใจจากชุดวิดีโอที่เก็บมาโดยโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนถ่ายภาพวิดีโอที่สร้างจากเครื่องคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจในท่า Parasternal long axis ผ่าน Application ที่สามารถใช้ได้ทั้งระบบปฏิบัติการ Android และ iOS ทำให้ได้ปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถประเมินการทำงานของหัวใจเบื้องต้นได้

การศึกษานี้จึงได้จัดทำทดสอบประสิทธิภาพของระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อประเมินวิดีโอคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงที่หัวใจ ในท่า Parasternal long axis ว่าหัวใจมีการทำงานอยู่ในกลุ่มไหน โดยอาศัยการเก็บวิดีโอผ่านทาง Application บนโทรศัพท์มือถือ

สมาร์ทโฟน ซึ่งรองรับทั้งระบบปฏิบัติการ Android และ iOS โดยวิธีโอคลิ้นเสียงสะท้อนความถี่สูงหัวใจที่ทำและประเมินค่าการทำงานของหัวใจ (LVEF) แล้วโดยอายุรแพทย์โรคหัวใจ จะถูกส่งไปยัง Server ส่วนกลางเพื่อให้ AI เรียน ประเมินและแบ่งข้อมูลภาพที่ได้เป็น 3 กลุ่ม ตามความรุนแรงของภาวะหัวใจล้มเหลว

วิธีการศึกษา

การศึกษาดทดลองแบบสุ่ม Single blind randomized controlled study โดยการศึกษาเก็บข้อมูลจากภาพวิดีโอเครื่องเสียงสะท้อนความถี่สูงของหัวใจที่ถ่ายจากโทรศัพท์มือถือถึงสมาร์ทโฟนผ่าน Application "Easy EF" โดยอายุรแพทย์โรคหัวใจและพยาบาลโรคหัวใจใน

โรงพยาบาลศูนย์สังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ที่สมัครใจร่วมมือร่วมกับการใส่เก็บข้อมูลค่า LVEF ที่ทำและออกผลตามมาตรฐานโดยอายุรแพทย์โรคหัวใจในโรงพยาบาลสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข โดยค่า LVEF ถือค่าที่แพทย์รายงานในรายงานมาตรฐานเป็นค่า LVEF ที่ใช้ในงานวิจัย (ทั้ง Modify-Simpson หรือ teichholz) (รูปที่ 3 และ 4) จำนวน 923 วิดีโอ ผ่าน Application จะไม่ระบุข้อมูลที่บ่งบอกตัวตนของคนไข้ เก็บข้อมูลช่วงเวลา 3 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 โดยการศึกษาได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โรงพยาบาลระยอง หมายเลข COA No. RYH 010/2567



รูปที่ 3 การใช้ Application "Easy EF" จากโทรศัพท์มือถือถึงสมาร์ทโฟน ในการเก็บวิดีโอจากจออัลตราซาวด์ในท่า Parasternal long axis เพื่อส่งวิดีโอ 5 วินาที ไปให้ปัญญาประดิษฐ์ประเมินผล

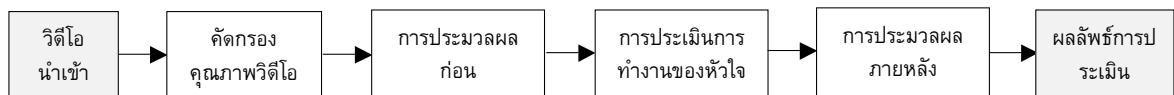


รูปที่ 4 การเก็บวิดีโอ 5 วินาที ผ่าน Application "Easy EF" จากโทรศัพท์มือถือถึงสมาร์ทโฟน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ศึกษากลุ่มวิดีโอที่นำเข้าสู่ Server ส่วนกลางผ่านด้วย Application “Easy EF” บนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน โดยสามารถใช้ได้ทั้งระบบ Android และ iOS โดยส่งข้อมูลผ่านอาสาสมัครอายุรแพทย์โรคหัวใจ พยาบาลโรคหัวใจ และนักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอก จากโรงพยาบาลระยอง และโรงพยาบาลศูนย์สังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ร่วมกับระบบการทำงานของหัวใจ LVEF ที่ได้รับการวินิจฉัยโดยอายุรแพทย์โรคหัวใจประจำสถานะนั้น โดยเลือกเก็บภาพวิดีโอคลิปหลังจากผล Echocardiography ที่ทำมาไม่เกิน 1 ปี และมีการออกผลเป็นทางการโดยอายุรแพทย์โรคหัวใจแล้ว เลือกเฉพาะทำ parasternal long axis view โดยถือว่าค่า LVEF ที่ผ่านการอนุมัติและออกผลโดยอายุรแพทย์โรคหัวใจที่ทำงานในโรงพยาบาลสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขเป็นค่า LVEF ที่มีมาตรฐาน ซึ่งที่มาของค่า LVEF ที่อายุรแพทย์โรคหัวใจออกผลมาอาจใช้โดยวิธีใดก็ได้ (ทั้ง Modify-Simpson หรือ teichholz) แล้วแต่ดุลยพินิจของแพทย์ที่อ่านผล Echocardiography นั้น

จากวิดีโอ 923 วิดีโอ แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง ร้อยละ 20 จำนวน 184 วิดีโอ และกลุ่มควบคุม ร้อยละ 80 จำนวน 739 วิดีโอ ซึ่งเป็นอัตราส่วนการแบ่งกลุ่มชุดข้อมูลที่ใช้กันทั่วไปในการวิเคราะห์ข้อมูลของทางวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์ โดยอ้างอิงจากหลักการ



รูปที่ 5 ภาพรวมของระบบปัญญาประดิษฐ์ในการประเมินการทำงานของหัวใจ

จากภาพรวมของระบบนั้น สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานในแต่ละส่วนแบบสังเขปได้ดังต่อไปนี้
ขั้นตอนที่ 1 การคัดกรองคุณภาพของวิดีโอ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ร่วมกับการเปรียบเทียบคุณลักษณะสำคัญที่ปรากฏในวิดีโอ

เนื่องจากวิดีโอที่นำเข้านั้น อาจมีคุณภาพที่ไม่เหมาะสมบางประการต่อการนำไปประมวลผล ได้แก่

- มีเงาหรือแสงสะท้อนบดบังบริเวณอัลตราซาวด์
- ตรวจจับไม่พบบริเวณอัลตราซาวด์ หรือบริเวณ

Pareto Principle

เกณฑ์การคัดเข้า (inclusion criteria) ได้แก่ วิดีโอความยาว 5 วินาที ที่ถ่ายจากโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนผ่าน Application “Easy EF” โดยถ่ายภาพการทำคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูงหัวใจในท่า Parasternal long axis view โดยไม่ได้รับข้อมูลที่สามารถชี้ตัวตนคนไข้ที่ถูกถ่ายได้ ร่วมกับระบุค่า Ejection Fraction จากการทำ Echocardiography มาตราฐานและออกผลโดยอายุรแพทย์โรคหัวใจของกระทรวงสาธารณสุข ภายใน Application “Easy EF”

เกณฑ์การคัดออก (exclusion criteria) ได้แก่ กลุ่มโรคหัวใจผิดปกติ โรคของเยื่อหุ้มหัวใจ โรคหัวใจพิการแต่กำเนิด หัวใจเต้นผิดจังหวะ (atrial fibrillation) และวิดีโอที่ถ่ายไม่สมบูรณ์ เช่น สั่นมากเกินไป ความยาวน้อยเกินไป คุณภาพของวิดีโอที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนด เช่น สภาพแสงมากหรือน้อยเกินไป หรือ วิดีโอไม่ชัดเจน บริเวณอัลตราซาวด์ไม่สมบูรณ์หรือไม่ได้สัดส่วน เช่น มีขนาดเล็กเกินไป หรือขอบเขตของบริเวณอัลตราซาวด์ออกนอกบริเวณของวิดีโอ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนวิธีในการสร้างระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการประเมินการทำงานของหัวใจ โดยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลัก โดยแสดงภาพรวมของระบบ (รูปที่ 5)

ดังกล่าวมีขนาดเล็กเกินไป

- ตรวจพบบริเวณอัลตราซาวด์มากกว่า 1 บริเวณ
- วิดีโอมีความยาวที่สั้นเกินไป
- วิดีโอมีการสั่นจนเกินระดับที่นำไปวิเคราะห์ต่อได้

การนำวิดีโอประเภทดังกล่าวเข้าไปประมวลผลโดยไม่ทำการคัดกรองก่อนอาจจะทำให้เกิดผลการประเมินการทำงานของหัวใจที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สร้างโครงข่ายประสาทเทียม ที่มีคุณสมบัติในการ

สกัดเวกเตอร์คุณลักษณะสำคัญจากวิดีโอนำเข้า และนำเวกเตอร์คุณลักษณะสำคัญที่ได้ เปรียบเทียบกับเวกเตอร์คุณลักษณะสำคัญ ของคลังข้อมูลวิดีโอที่มีการจำแนกไว้ดังประเภทข้างต้น เพื่อทำการแจ้งผู้ใช้อำนาจวิดีโอนำเข้าดังกล่าวว่าคุณภาพที่ไม่เหมาะสมหรือไม่และด้วยสาเหตุใด หากวิดีโอนำเข้ามีคุณภาพที่เหมาะสมแล้ว จะเข้าสู่การทำงานในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 การประมวลผลก่อน (preprocessing)

เมื่อวิดีโอนำเข้าผ่านการคัดกรองคุณภาพและผ่านเกณฑ์แล้ว จะเข้าสู่กระบวนการประมวลผลก่อนเพื่อเตรียมวิดีโอให้มีความพร้อมก่อนเข้าสู่การประมวลผลด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยตามลำดับดังต่อไปนี้

a) การตรวจจับบริเวณอัลตราซาวด์ ทางผู้วิจัยได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการตรวจจับบริเวณอัลตราซาวด์ โดยใช้ขั้นตอนวิธีที่ดัดแปลงจาก DAMO-YOLO⁷ ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีการตรวจจับวัตถุที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับที่ดียิ่งขึ้นได้เงื่อนไขในการใช้เวลาที่ประมวลผลน้อย โดยตรวจจับทุก ๆ 4 ภาพจากวิดีโอ

b) การปรับแก้ความสั่นของวิดีโอ เนื่องจากวิดีโอนำเข้าอาจมีการสั่นเล็กน้อยเนื่องจากการถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความแม่นยำ ในการประเมินการทำงานของหัวใจ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลของการตรวจจับบริเวณอัลตราซาวด์ที่ได้ ร่วมกับการสกัดคุณลักษณะสำคัญจากภาพโดยใช้ขั้นตอนวิธี Oriented Fast and Rotated Brief (ORB)⁸ เพื่อทำการคำนวณวิถีในการเคลื่อนไหว และนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการปรับแก้เพื่อลดการสั่นของวิดีโอ

c) การปรับแก้แสงของวิดีโอ เนื่องจากวิดีโอนำเข้าอาจมีปัญหาในแง่ของคุณภาพแสง เช่น มีแสงสว่างมากหรือน้อยเกินไป หรือมีสภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากแสงสะท้อนเล็กน้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้ขั้นตอนวิธี Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) ร่วมกับการกำหนดค่าขีดแบ่ง (thresholding) เพื่อปรับเปลี่ยนคุณภาพแสงให้เหมาะสมต่อการประมวลผลต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินการทำงานของหัวใจ โดยใช้

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

เมื่อวิดีโอผ่านการคัดกรองคุณภาพ และขั้นตอนการประมวลผลก่อนเพื่อเตรียมพร้อมวิดีโอแล้ว จะเข้าสู่การประมวลผลเพื่อประเมินการทำงานของหัวใจโดยใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ โดยผู้วิจัยได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันชนิด ResNet-101⁹ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการปรับแต่งให้เหมาะสมกับการทำงาน ร่วมกับขั้นตอนวิธีในการจำแนกประเภทวิดีโอจากงานวิจัย¹⁰ ใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน (กลุ่มควบคุม) จำนวน 739 วิดีโอ และชุดข้อมูลทดสอบ (กลุ่มทดลอง) จำนวน 184 วิดีโอ ตามหลักการ Pareto Principle และได้แบ่งการประเมินการทำงานของหัวใจออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่

1. Reduced EF High หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF < ร้อยละ 30
2. Reduced EF Low หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ร้อยละ 30-40
3. Mildly Reduced EF หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ร้อยละ 40-49
4. Preserved LV Low หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ร้อยละ 50-60
5. Preserved LV High หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ≥ ร้อยละ 60

ขั้นตอนที่ 4 การประมวลผลภายหลัง (postprocessing)

ภายหลังจากที่ได้ผลการการทำงานของหัวใจที่ได้แบ่งเป็น 5 กลุ่มแล้ว จะนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการปรับค่า (normalized) ความมั่นใจที่ได้จากการประเมินให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมอีกชุดหนึ่ง และนำคำตอบที่ได้มาทำการปรับเปลี่ยนให้ตรงกับคำแนะนำจากแนวทางเวชปฏิบัติเพื่อการวินิจฉัยซึ่งประกอบไปด้วยการประเมินการทำงานของหัวใจเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. Reduced EF หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF < ร้อยละ 40
2. Mildly Reduced EF หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ร้อยละ 40-50
3. Preserved LV หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF > ร้อยละ 50

และส่งผลลัพธ์ที่ได้กลับไปบน Application “Easy EF” บนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนของผู้ใช้งาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การทดสอบของฟิชเชอร์ (Fisher exact probability test) ในการทดสอบโดยถือว่า ข้อมูลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญนั้นถูกต้องทั้งหมด และทดสอบสมมติฐานว่า AI จะได้ผลลัพธ์ในการคัดกรองแตกต่างผู้เชี่ยวชาญหรือไม่จะได้ค่า $p=0.01$

ผลการศึกษา

จากการเก็บข้อมูลวิดีโอในช่วงเวลา 3 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 ทางกลุ่มผู้วิจัยได้รับข้อมูลทั้งหมด 1,336 วิดีโอ ภายหลังการคัดกรองคุณภาพแล้ว สามารถใช้ในการประเมินผลได้ 923 วิดีโอ

ในการประเมินเบื้องต้น ทางผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มการทำงานของหัวใจเป็น 5 กลุ่ม เพื่อการง่ายขึ้นในการดูประสิทธิภาพระบบที่ออกแบบได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบบนวิดีโอกลุ่มควบคุม ในรูปแบบของเมทริกซ์ความสับสน (confusion matrix)

อายุรแพทย์โรคหัวใจ ประเมิน AI ประเมิน	Preserve LV High	Preserve LV Low	Mildly Reduced EF	Reduced EF Low	Reduced EF High
Preserve LV High	356	0	0	0	0
Preserve LV Low	0	167	0	0	0
Mildly Reduced EF	0	0	62	0	0
Reduced EF Low	0	0	0	64	0
Reduced EF High	0	0	0	0	90
จำนวนวิดีโอ	356	167	62	64	90

จากผลการทดลองบนกลุ่มข้อมูลชุดควบคุม สามารถประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจได้ผล จำนวน 739 วิดีโอ พบว่า ระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ทดสอบ ความถูกต้องร้อยละ 100

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบบนวิดีโอกลุ่มทดลอง ในรูปแบบของเมทริกซ์ความสับสน (confusion matrix)

อายุรแพทย์โรคหัวใจ ประเมิน AI ประเมิน	Preserve LV High	Preserve LV Low	Mildly Reduced EF	Reduced EF Low	Reduced EF High
Preserve LV High	72	20	1	0	0
Preserve LV Low	20	17	2	1	0
Mildly Reduced EF	0	1	12	0	0
Reduced EF Low	0	0	2	6	5
Reduced EF High	0	0	0	6	19
จำนวนวิดีโอ	92	38	17	13	24

จากผลการทดลองบนกลุ่มข้อมูลชุดทดลอง ความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ร้อยละ 68.5 เมื่อทำการรวมกลุ่ม Reduced EF Low กับ Reduced EF High เข้าด้วยกันเป็นกลุ่ม Reduced EF และรวมกลุ่ม Preserve LV

1. Reduced EF High หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF <ร้อยละ 30

2. Reduced EF Low หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ร้อยละ 30-40

3. Mildly Reduced EF หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ร้อยละ 40-49

4. Preserved LV Low หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF ร้อยละ 50-60

5. Preserved LV High หมายถึงผู้ป่วยมีค่า LVEF $\geq$ ร้อยละ 60

จากผลลัพธ์ในการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ในกลุ่มวิดีโอที่หัวใจทำงานดีมากหรือน้อยมาก ระบบที่ออกแบบจะสามารถประเมินได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากกว่ากลุ่มที่ทำงานได้ก้ำกึ่ง (ตารางที่ 1 และ 2) บนกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองตามลำดับ

High กับ Preserve LV Low เพื่อแสดงผลเป็น กลุ่ม หัวใจ จะได้ผลลัพธ์การทดสอบบนวิดีโอกลุ่มควบคุม Preserved LV ตามมาตรฐานการประเมินการทำงานของ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบบนวิดีโอกลุ่มทดลอง เมื่อแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามมาตรฐานการประเมินการทำงานของหัวใจในรูปแบบของ เมทริกซ์ความสับสน (confusion matrix)

อายุรแพทย์โรคหัวใจ ประเมิน AI ประเมิน	Preserve LV	Mildly Reduced EF	Reduced EF
Preserve LV	129	3	1
Mildly Reduced EF	1	12	0
Reduced EF	0	2	36
จำนวนวิดีโอ	130	17	37

จากผลการทดลอง บนกลุ่มข้อมูลชุดควบคุม จำนวน 184 วิดีโอ เมื่อจำแนกเป็น 3 ประเภท ผลการทดลองโดยรวมบนกลุ่มข้อมูลชุดควบคุม จะได้ความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 96.2 (ถูกต้อง 177 จาก 184 วิดีโอ) และเมื่อพิจารณาแยกเป็นกลุ่ม จะได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

กลุ่ม Preserve LV ระบบสามารถประเมินได้ถูกต้อง 129 จาก 130 วิดีโอ คิดเป็นความแม่นยำได้ร้อยละ 99 โดยประเมินผิดเป็นกลุ่ม Mildly Reduced EF จำนวน 1 วิดีโอ

กลุ่ม Mildly Reduced EF ระบบสามารถประเมินได้ถูกต้อง 12 จาก 17 วิดีโอ คิดเป็นความแม่นยำได้ร้อยละ 71 โดยประเมินผิดเป็นกลุ่ม Preserved LV ร้อยละ 17 และประเมินเป็น Reduced EF ร้อยละ 12 จำนวน 3 และ 2 วิดีโอตามลำดับ

กลุ่ม Reduce EF ระบบสามารถประเมินได้ถูกต้อง 36 จาก 37 วิดีโอ คิดเป็นความแม่นยำได้ร้อยละ 97 โดยประเมินผิดเป็นกลุ่ม Preserved LV จำนวน 1 วิดีโอ

จากกลุ่มข้อมูลดังกล่าว เมื่อทำการทดสอบสมมุติฐานโดยถือว่าข้อมูลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญนั้นถูกต้องทั้งหมด และทดสอบสมมุติฐานว่า AI จะได้ผลลัพธ์ในการคัดกรองแตกต่างผู้เชี่ยวชาญหรือไม่ จะได้ค่า $p=0.01$

อภิปรายผล

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ “Easy EF” ประเมินวิดีโอการทำอัลตราซาวด์ทรวงอก ที่ได้จากการถ่ายผ่านโทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟน โดยใช้ Application “Easy EF” สามารถคัดกรองการ

ทำงานของหัวใจได้ถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ โดยได้ผลลัพธ์ดังนี้

กลุ่มที่หัวใจทำงานปกติ Preserve LV ระบบ “Easy EF” สามารถประเมินได้ถูกต้องถึงร้อยละ 99

กลุ่มที่หัวใจทำงานผิดปกติมาก Reduce EF ระบบ “Easy EF” สามารถประเมินได้ถูกต้องได้ถึงร้อยละ 99

กลุ่มที่หัวใจทำงานผิดปกติปานกลาง Mildly Reduced EF ระบบ “Easy EF” สามารถประเมินถูกต้องร้อยละ 71

การใช้งานระบบปัญญาประดิษฐ์ “Easy EF” มีความสามารถในการประเมินการทำงานของหัวใจ โดยใช้คัดกรองกลุ่มหัวใจผิดปกติมาก (Reduce EF) และกลุ่มหัวใจทำงานปกติ (Preserve LV) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในกรณีของกลุ่มที่มีการทำงานของหัวใจปานกลาง (Mildly Reduced EF) ยังมีข้อจำกัดในการทำงานบางประการ ซึ่งยังเป็นประเด็นที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการศึกษาไปใช้ขยายผลการใช้งานระบบปัญญาประดิษฐ์ “Easy EF” ในการนำมาใช้ เพื่อประเมินคัดกรองการทำงานของหัวใจเบื้องต้นผ่านเครื่องอัลตราซาวด์ ซึ่งมีใช้อยู่ทั่วไปในโรงพยาบาลทุกระดับในประเทศไทย ที่ไม่มีอายุรแพทย์โรคหัวใจ หรือ Sonographer เพื่อช่วยให้สามารถคัดกรองคนไข้และส่งต่อไปพบผู้เชี่ยวชาญได้เร็วขึ้น ทำให้เข้าถึงการรักษาได้เร็วและจะสามารถลดอัตราการเจ็บป่วยและเสียชีวิตได้มากและอาจใช้คัดกรองคนไข้ก่อนให้ยา Chemotherapy ซึ่งเสี่ยงกับยาที่มี Cardiotoxic เพื่อลดภาวะของอายุรแพทย์โรคหัวใจที่มีปริมาณจำกัดในโรงพยาบาลของรัฐได้

ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป พัฒนาในแง่ของความแม่นยำของระบบในการประเมินการทำงานของหัวใจเบื้องต้น โดยอาจจะอาศัยข้อมูลที่เพิ่มขึ้นที่ได้รับการขยายผลทดลองการใช้งานในโรงพยาบาลอื่นๆ และพัฒนาเพิ่มเติมระบบในการอธิบายผลลัพธ์ของคำตอบในแง่มุมมองว่าทำไมระบบปัญญาประดิษฐ์จึงให้ผลลัพธ์ของคำตอบเป็นเช่นนั้น เพื่อเพิ่มความมั่นใจให้กับผู้ใช้งานมากขึ้น

ผลประโยชน์ทับซ้อน: ไม่มี

แหล่งเงินทุนสนับสนุน: ไม่มี

เอกสารอ้างอิง

1. Krittayaphong R, Karaketklang K, Yindeengam A, Janwanishstaporn S. Heart failure mortality compared between elderly and non-elderly Thai patients. *J Geriatr Cardiol* 2018;15:718-24.
2. Bozkurt B, Coats AJS, Tsutsui H, Abdelhamid CM, Adamopoulos S, Albert N, et al. Universal definition and classification of heart failure: a report of the Heart Failure Society of America, Heart Failure Association of the European Society of Cardiology, Japanese Heart Failure Society and Writing Committee of the Universal definition of heart failure. *Eur J Heart Fail* 2021;23:352-80.
3. Komajda M, Schöpe J, Wagenpfeil S, Tavazzi L, Böhm M, Ponikowski P, et al. Physicians' guideline adherence is associated with long-term heart failure mortality in outpatients with heart failure with reduced ejection fraction: the QUALIFY international registry. *Eur J Heart Fail* 2019;21:921-9.
4. Laothavorn P, Hengrussamee K, Kanjanavanit R, Moleerergpoom W, Laorakpongse D, Pachirat O, et al. Thai acute decompensated heart failure registry (Thai ADHERE). *CVD Prevention and Control* 2010;5:89-95.
5. Nadruz W Jr, West E, Santos M, Skali H, Groarke JD, Forman DE, et al. Heart failure and midrange ejection fraction: implications of recovered ejection fraction for exercise tolerance and outcomes. *Circ Heart Fail* [Internet]. 2016 [cited 2023 Sep 15];9(4):e002826. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4807736/pdf/nihms763920.pdf>
6. The Heart Association of Thailand under the Royal Patronage of H.M. the King. Heart Failure council of Thailand (HFCT) 2019 heart failure guideline. Bangkok: The Heart Association of Thailand under the Royal Patronage of H.M. the King; 2019
7. Xu X, Jiang Y, Chen W, Huang Y, Zhang Y, Sun X. DAMO-YOLO: a report on real-time object detection design. *arXiv* [Internet]. 2023 [cited 2023 Sep 15];2211.15444. Available from: <https://arxiv.org/pdf/2211.15444>
8. Rublee E, Rabaud V, Konolige K, Bradski G. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. *Proceedings of 2011 International Conference on Computer Vision*; 2011 Nov 6-13; Barcelona, Spain. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2011. p.2564-71.
9. He K, Zhang X, Ren S, Sun J. Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*; 2016 Jun 27-30; Las Vegas, United States. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2016. p.770-8.
10. Feichtenhofer C, Fan H, Malik J, He K. Slowfast networks for video recognition. *Proceedings of 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*; 2019 Oct-Nov 27-2; Seoul, South Korea. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2019. p.6201-10.