

บทความวิจัย

Development of a Fall-Alert Innovation for Older Adults

Received: May 22, 2025

Revised: Nov 19, 2025

Accepted: Nov 25, 2025

Sarinya Chansuk, Ph.D.^{1*}Sattjaphan Jingmark, M.S. Tech.Ed²Kritchai Boonsiwanon, Ph.D.³

Abstract

Introduction: Falls are a primary cause of morbidity and mortality among older adults. Therefore, development of innovations to prevent falls in this population is essential to improve their quality of life.

Research objectives: This study aimed to develop an innovative fall alert system for older adults.

Research methodology: This developmental research comprised three phases: knowledge synthesis, device design and development, performance testing and user satisfaction assessment. The sample included 30 older adults aged 60 years and above from Sam Phrao Subdistrict, Mueang District, Udon Thani Province. Participants were selected through purposive sampling based on a Thai Falls Risk Assessment Test (Thai-FRAT) score of ≥ 4 . The data were collected using the Belt Fall Alert (fall-warning belt) device, a form for recording the performance of the innovation, and a user satisfaction questionnaire. Data were analyzed using descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, and standard deviation.

Results: The Belt Fall Alert accurately detected changes in body tilt angles in all instances (100%) and successfully triggered alerts in every test. Overall user satisfaction was at a high level ($M = 3.99$, $SD = .56$).

Conclusions: The developed innovation serves as an effective fall prevention alert system for older adults. Users also reported high satisfaction with its use.

Implications: Further studies should examine the impact of this innovation on reducing fall incidence, consider developing a smaller and more convenient device, explore the integration of AI for deeper analysis of older adults' behavior, and evaluate cost-effectiveness to reduce production costs and support commercial production.

Keywords: older adults, fall alert, sensor technology, health innovation

Funding: Thailand Science Research and Innovation (TSRI)

^{1*}Corresponding author: Assistant Professor, Faculty of Nursing, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani, Thailand.

Email: sarinya.ji@udru.ac.th

²Lecturer, Faculty of Engineer, Pitchayabundit College, NongbuaLumpu Thailand. Email: Jingmark.kit@gmail.com

³Lecturer, Faculty of Technology and Engineer, Udon thani Rajaphat University, Udon Thani, Thailand. Email: krittachai.bo@udru.ac.th

การพัฒนานวัตกรรมแจ้งเตือนหกล้มในผู้สูงอายุ

Received: May 22, 2025

Revised: Nov 19, 2025

Accepted: Nov 25, 2025

ศริญญา ชาญสุข ปร.ด.^{1*}

สัจพันธ์ จรุงมาก ค.อ.ม.²

กฤตชัย บุญศิวนนท์ ปร.ด.³

บทคัดย่อ

บทนำ: การหกล้มเป็นสาเหตุการเจ็บป่วยและการเสียชีวิตอันดับต้น ๆ ของผู้สูงอายุ ดังนั้นการพัฒนานวัตกรรม การป้องกันการหกล้มในผู้สูงอายุ จะช่วยลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหลังจากการล้ม ช่วยให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย: เพื่อพัฒนานวัตกรรมแจ้งเตือนหกล้มในผู้สูงอายุ

ระเบียบวิธีวิจัย: การวิจัยเชิงพัฒนาครั้งนี้ ดำเนินการ 3 ระยะ ได้แก่ การสังเคราะห์องค์ความรู้ การออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์ การทดสอบประสิทธิภาพ และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 ราย เลือกตัวอย่างแบบเจาะจงตามเกณฑ์คัดเข้า เป็นผู้สูงอายุ อายุ 60 ปีขึ้นไป ในตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ที่มีคะแนนประเมินความเสี่ยงต่อการหกล้มของ Thai falls risk assessment test เท่ากับหรือมากกว่า 4 คะแนนขึ้นไป เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย นวัตกรรมเข็มขัดเตือนหกล้ม แบบบันทึกประสิทธิภาพนวัตกรรม และแบบประเมิน ความพึงพอใจของผู้ใช้นวัตกรรม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ความถี่ ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย: พบว่านวัตกรรมสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขององศาการเอียงตัวได้อย่างแม่นยำทุกครั้ง ร้อยละ 100 และสามารถแจ้งเตือนได้ทุกครั้งของการทดสอบ อาสาสมัครวิจัยมีความพึงพอใจโดยภาพรวม อยู่ในระดับมาก ($M = 3.99$, $SD = .56$)

สรุปผล: นวัตกรรมที่พัฒนาขึ้น ช่วยเตือนการหกล้มของผู้สูงอายุได้ และผู้ใช้นวัตกรรม มีความพึงพอใจต่อการใช้งาน อยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะ: ควรศึกษาติดตามผลกระทบของนวัตกรรมต่อการลดอัตราการหกล้ม หรือพัฒนาอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อสะดวกใช้งานในอนาคต อาจเพิ่มการเชื่อมต่อกับระบบ AI เพื่อให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้สูงอายุได้ลึกซึ้ง และศึกษาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาแนวทางลดต้นทุนและทำให้สามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ: ผู้สูงอายุ การแจ้งเตือนการหกล้ม เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ นวัตกรรมสุขภาพ

ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

^{1*}Corresponding author ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อุดรธานี ประเทศไทย Email: sarinya.ji@udru.ac.th

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยพณิชยบัณฑิต หนองบัวลำภู ประเทศไทย Email: Jingmark.kit@gmail.com

³คณะเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อุดรธานี ประเทศไทย Email: krittachai.bo@udru.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2565 และคาดว่าภายในปี พ.ศ. 2573 จะมีสัดส่วนผู้สูงอายุร้อยละ 26.90 ของประชากรทั้งหมด¹ การหกล้มเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญในผู้สูงอายุ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากจำนวนประชากรและอายุขัยที่สูงขึ้น ปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเสื่อมถอยทางร่างกาย พฤติกรรมการใช้ยาที่เพิ่มความเสี่ยง และสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้อต่อความปลอดภัย เช่น พื้นลื่น แสงสว่างไม่เพียงพอ และการขาดราวจับในพื้นที่สำคัญของบ้าน² จากข้อมูลของสำนักงานควบคุมโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค พบว่าปี พ.ศ. 2565 มีผู้สูงอายุหกล้มประมาณ 3 - 4.7 ล้านคน และเสียชีวิตประมาณ 5,700 - 8,900 คน โดยมีอัตราการเสียชีวิตสูงกว่ากลุ่มอายุอื่นถึง 3 เท่า ผู้หญิงมีแนวโน้มหกล้มและบาดเจ็บสูงกว่าผู้ชาย พบว่าร้อยละ 34.80 ของผู้สูงอายุเคยหกล้มในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา สาเหตุหลักมาจากการสะดุดและลื่น สถานที่หกล้มมักเกิดทั้งในและนอกบ้าน โดยกิจกรรมที่เสี่ยงสูง คือ การเดิน วิ่ง และเข้าห้องน้ำ³ ปัจจุบันแนวโน้มการอยู่อาศัยลำพังของผู้สูงอายุเพิ่มขึ้น ทำให้ความเสี่ยงต่อผลกระทบรุนแรงจากการหกล้มยิ่งสูงขึ้น สถานการณ์เหล่านี้ ถือเป็นภัยคุกคามต่อคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุไทยในระยะยาว

ดังนั้น สังคมจึงเริ่มให้ความสนใจในการนำเทคโนโลยีมาพัฒนานวัตกรรม ที่ช่วยแจ้งเตือนการหกล้มของผู้สูงอายุ เช่น อุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ (Wearable devices) ระบบเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว หรือแพลตฟอร์มการดูแลจากระยะไกล จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเฝ้าระวังและลดความเสี่ยงจากการหกล้มได้อย่างมีนัยสำคัญ นวัตกรรมเหล่านี้สามารถตรวจจับเหตุหกล้มและส่งสัญญาณแจ้งเตือนผู้ดูแล หรือหน่วยบริการสุขภาพได้แบบเรียลไทม์ จึงลดอัตราการบาดเจ็บและการเสียชีวิตจากการหกล้ม ด้วยระบบเตือนที่ช่วยให้ได้รับการช่วยเหลือทันเวลา⁴ โดยเฉพาะภาวะกระดูกสะโพกหักซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของความทุพพลภาพในผู้สูงอายุ⁵ ช่วยเพิ่มความมั่นใจและความปลอดภัยในการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้สูงอายุ ช่วยส่งเสริมการดำรงชีวิตอย่างมีคุณภาพและคงความเป็นอิสระ⁶ รวมทั้งช่วยลดภาระของผู้ดูแลและครอบครัว ด้วยระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติและติดตามจากระยะไกล⁷ อุดรธานีเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีจำนวนผู้สูงอายุในระดับสูงเป็นอันดับ 4 ของประเทศไทย ซึ่งอำเภอเมืองอุดรธานี มีจำนวนประชากรโดยรวมและจำนวนผู้สูงอายุสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอำเภออื่น ๆ และมีการบันทึกเหตุการณ์ผู้ป่วยหกล้มในระบบบริการสุขภาพสูงถึง ร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับอำเภออื่น ๆ⁸ ปัจจุบันพบว่าการประดิษฐ์ชุดตรวจจับการหกล้มสำหรับผู้สูงอายุโดยใช้เซนเซอร์ ตรวจจับการเอียง GP1S036HEZ ติดตั้งที่เอวของผู้สูงอายุ ตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของมุมตามแรงโน้มถ่วงเมื่อผู้สูงอายุหกล้ม หากมีการเคลื่อนไหวจากแนวตั้ง/ตั้งเป็นแนวนอน ชุดแจ้งเตือนภัย จะส่งสัญญาณเสียงโทนต่อเนื่องดัง 85 dB ที่ความถี่ 2,400 Hz ผ่านลำโพงบัสเซอร์ แต่มีข้อจำกัดคือ ได้ค่าความแม่นยำอยู่ที่ ร้อยละ 81.50 เท่านั้น⁹

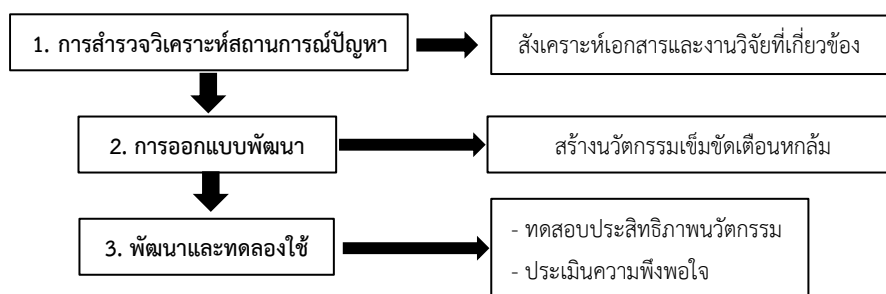
ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนานวัตกรรมที่ช่วยเตือนการหกล้ม ซึ่งมีลักษณะเป็นเข็มขัดที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมตรวจจับหกล้ม การเอียงของมุมมองสายตาตามแนวโน้มถ่วงของโลก สามารถตรวจจับการล้มได้ทั้งการล้ม ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา โดยเซตชุดนิรภัยจะเตือนเสียงอย่างต่อเนื่องเพื่อขอความช่วยเหลือทันที และสามารถแจ้งเตือนผ่านระบบแอปพลิเคชันไลน์ เซตชุดนิรภัยจะเตือนเสียงอย่างต่อเนื่องให้กับผู้ดูแล หรือผู้ที่อยู่ใกล้เคียงรับรู้ถึงอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับผู้สูงอายุและสามารถให้การช่วยเหลือได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหลังจากการล้ม เช่น ลดอัตราการบาดเจ็บสาหัส ลดอาการแทรกซ้อน และลดอัตราการเสียชีวิตของผู้สูงอายุได้ อันจะส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้สูงอายุต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์ปัญหา อุบัติการณ์การหกล้มในผู้สูงอายุ สาเหตุผลกระทบ และวิธีแก้ไขปัญหามา
2. เพื่อพัฒนาวัตกรรมแจ้งเตือนหกล้มในผู้สูงอายุ
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้นวัตกรรมแจ้งเตือนการหกล้มในผู้สูงอายุ

กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ใช้กรอบแนวคิดการวิจัยและพัฒนา 3 ขั้นตอน ได้แก่ การสำรวจสถานการณ์ปัญหา และขั้นตอนออกแบบพัฒนา นวัตกรรม และขั้นนำไปทดลองใช้ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย

รูปแบบการวิจัย เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and development) แบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1 การสังเคราะห์องค์ความรู้สถานการณ์ปัญหาการหกล้ม และวิธีแก้ไขปัญหามา โดยการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ใช้กรอบแนวคิดระดับวิทยาการเกิดโรค ได้แก่ อุบัติการณ์ สาเหตุ ผลกระทบ และการจัดการปัญหาที่ผ่านมา

ระยะที่ 2 การออกแบบและพัฒนา นวัตกรรม ขั้นตอนการประดิษฐ์นวัตกรรมแจ้งเตือนหกล้ม มีรายละเอียด ดังนี้

1. การสร้างนวัตกรรมแจ้งเตือนการหกล้ม ผู้วิจัยวางแผนงานตามขั้นตอน ดังนี้

1.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง กำหนดกลุ่มเป้าหมายโดยสำรวจความต้องการใช้นวัตกรรม และการใช้แบบประเมินความเสี่ยงเฉพาะโรคหรือกลุ่มอาการเป็นเกณฑ์คัดเข้า ผลสำรวจของกลุ่มผู้สูงอายุที่มีความเสี่ยงต่อการหกล้ม พบว่า ผู้สูงอายุต้องอาศัยตามลำพังในช่วงกลางวัน มีความต้องการอุปกรณ์ช่วยแจ้งเตือนการหกล้ม

1.2 ปรึกษากับทีมวิศวกรไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อออกแบบชิ้นส่วน อุปกรณ์ และแผงวงจรต่าง ๆ เมื่อออกแบบเสร็จแล้วจัดหาอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้โดยอุปกรณ์หลัก จากนั้นจึงนำมาประกอบต่อตามผังวงจรที่ออกแบบไว้ เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานและอัปโหลดลงสู่บอร์ดควบคุมสามารถแจ้งเตือนผ่าน Application LINE และแจ้งเตือนผ่านเสียง อุปกรณ์ประกอบด้วย 1) แผงวงจรเซนเซอร์ไจโรสโคป (IMU ที่รวมทั้งไจโรและแอกเซลอโรมิเตอร์) ทำงานร่วมกันเพื่อวัดอัตราการหมุนและความเร่งเชิงเส้น 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่ออ่านค่าเซนเซอร์ ประมวลผลและตัดสินใจ 3) ส่วนสื่อสาร (BLE/Wi-Fi/GSM) เพื่อส่งแจ้งเตือนไปยังมือถือ

หรือศูนย์ดูแล 4) แหล่งจ่ายไฟและการจัดการพลังงาน (แบตเตอรี่ Voltage regulator decoupling) 5) อินดิเคเตอร์/บัสเซอร์ เป็นปุ่มยกเลิกแจ้งเตือน (Local alarm/User confirm) ซึ่งการเอียงแบ่งออกเป็น 2 แกน ได้แก่ แกน X และ แกน Y โดยกำหนด 2 เงื่อนไข ได้แก่ 1) หากแกน X < 10° หรือ > 160° ร่างกายเอียงไปข้างหน้า/หลังมากผิดปกติ เช่น ท่าหายใจหลังหรือท่าคว่ำหน้า 2) แกน Y < 100° ร่างกายเอียงด้านข้างมาก (เช่น ล้มตะแคง) เวลานาน ≥ 15 วินาที ไม่ได้เป็นเพียงการ “ก้ม” หรือ “เอน” ชั่วคราว แต่เป็นการคงท่าล้มไว้ (เช่น ล้มจริง) ส่วนปุ่มขอความช่วยเหลือ ยืนยันการร้องขอจากผู้ป่วยเอง แม้ไม่มีการล้มจริง ใช้ร่วมกับ Position เพื่อเพิ่มความแม่นยำ

2. นำไปทดลองใช้เพื่อหาประสิทธิภาพนวัตกรรม กับอาสาสมัครวิจัย จำนวน 10 คน และนำผลการประเมินมาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลดียิ่งขึ้น ซึ่งมีวิธีใช้งาน ดังนี้

2.1 เปิดใช้งานตัวเครื่องแจ้งเตือนของเข็มขัดโดยเชื่อมต่อ Wi-Fi กับโทรศัพท์ของผู้ดูแลผู้สูงอายุ

2.2 คัดเข็มขัดบริเวณเอวและสอดตัวล็อกเข็มขัดให้กระชับลำตัวผู้ใช้งาน

2.3 เมื่อเกิดการเอียงเกินองศาที่กำหนดจะทำการแจ้งเตือนด้วยเสียงและเข้าไลน์ของผู้ใช้งาน ที่ทำการเชื่อมต่อ Wi-Fi ไว้ โดยผู้วิจัย จะเป็นผู้กำหนดให้อาสาสมัครแสดงท่าทางเอียงตัวเพื่อทดสอบนวัตกรรม (ด้านหน้า ด้านซ้าย ด้านขวา) ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย จะอยู่ในขณะทดสอบประสิทธิภาพนวัตกรรม เพื่อเข้าช่วย ประคองตัวได้ทัน หากเกิดการล้มจริง ผู้วิจัยได้มอบคู่มือการใช้งานนวัตกรรมไว้กับผู้ดูแลหลักของผู้สูงอายุ

ระยะที่ 3 ทดลองใช้นวัตกรรมที่สร้างขึ้นศึกษาในพื้นที่ศึกษา ตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ระยะเวลาวิจัย 12 เดือน ระหว่าง เดือน ตุลาคม 2566-กันยายน 2567

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในระยะที่ 3 คัดเลือกแบบเจาะจง เป็นผู้สูงอายุทั้งเพศหญิงและเพศชาย ตั้งแต่อายุ 60 ปีขึ้นไป คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G*power โดยกำหนดค่า Effect size .3, Power .95 ได้ Sample size = 28 คน และป้องกันการ Drop out จึงเพิ่มตัวอย่างร้อยละ 10 รวมทั้งหมดเป็น 30 คน โดยกำหนดเกณฑ์คัดเลือก ประกอบด้วย 1) มีปัญหาการทรงตัว เมื่อใช้แบบประเมินคัดกรองความเสี่ยงการหกล้มในผู้สูงอายุที่เข้าเกณฑ์ Thai FRAT (Thai falls risk assessment tool)¹⁰ โดยเลือกผู้สูงอายุที่ผลคะแนนรวมในตอบแบบสอบถาม ≥ 4 คะแนน 2) มีปัญหาทางสายตา 3) ใช้อุปกรณ์ในการช่วยขณะเดิน และสามารถเดินด้วยตนเอง 4) สื่อสารได้ ไม่เป็นผู้วิกลจริต ไม่มีประวัติรักษาด้วยโรคความจำเสื่อม หรือเป็นผู้เจ็บป่วยด้วยโรคทางจิตเวช 5) มีผู้ดูแลหลัก ที่อาศัยในบ้านเดียวกัน และมีสมาร์ทโฟนที่เชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้ 6) ยินดีให้ความร่วมมือในการทดลองใช้นวัตกรรม เกณฑ์คัดออก คือ ผู้สูงอายุมีส่วนเกี่ยวข้องกับการขายอุปกรณ์เกี่ยวกับการหกล้มชนิดอื่น ผู้สูงอายุที่อยู่ในระหว่างการทดลอง ในโครงการวิจัยอื่น ที่อาจมีผลกระทบต่อการทดลองใช้นวัตกรรม Belt fall alert

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ใช้เครื่องมือ 3 ชนิด ประกอบด้วย

1. นวัตกรรมเข็มขัดแจ้งเตือนหกล้ม (Belt fall alert) ซึ่งเป็นสิ่งทดลอง (Intervention) พร้อมทั้งคู่มือการใช้งานนวัตกรรม วิธีใช้นวัตกรรม และวิธีการเชื่อมต่อสัญญาณเซนเซอร์ กับ Application Line ในสมาร์ทโฟนของผู้ดูแลหลัก

2. เครื่องมือที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของนวัตกรรม ได้แก่ แบบบันทึกจำนวนครั้ง การจับองศาการเอียงตัว ของผู้สูงอายุขณะสวมเข็มขัด แบบบันทึกจำนวนครั้ง ที่เข็มขัดส่งสัญญาณแจ้งเตือนผ่าน Application LINE ผู้วิจัยจะทำการบันทึกหลังทดสอบการใช้งาน

3. แบบประเมินความพึงพอใจต่อการใช้นวัตกรรม ผู้วิจัยสร้างขึ้น เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด แปลผลโดยนำคะแนนรวมทั้งฉบับ มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย แปลความหมายตามเกณฑ์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย 4.51 - 5.00 พึงพอใจมากที่สุด 3.51 - 4.50 พึงพอใจมาก 2.51 - 3.50 พึงพอใจปานกลาง 1.51 - 2.50 พึงพอใจน้อย และ 1.00 - 1.50 พึงพอใจน้อยที่สุด

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1. การหาคุณภาพของเครื่องมือวิจัย หลังจากสร้าง Prototype แล้ว หาคุณภาพโดยนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม 1 ท่าน และพยาบาลวิชาชีพ 2 ท่าน พิจารณาความตรงเชิงโครงสร้าง เกี่ยวกับคุณสมบัติที่เหมาะสมกับจุดประสงค์การใช้งาน ได้แก่ การตรวจจับองศาการเอียง การแจ้งเตือนเมื่อมีการเคลื่อนไหวในลักษณะเอียงตัว ความสะดวกในการพกพาติดตัว ใช้งาน ราคา และให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาคะแนนความสอดคล้องระหว่างนวัตกรรมที่ประดิษฐ์ขึ้น กับจุดประสงค์การใช้งาน (Index of item objective congruence: IOC) โดยทุกรายการประเมิน มีค่า IOC ตั้งแต่ .67 ขึ้นไป นำผลประเมินมาปรับปรุง และเพิ่มจำนวน Prototype เพื่อใช้ในการทดสอบนวัตกรรม จำนวน 5 ชิ้น

2. แบบบันทึกประสิทธิภาพของนวัตกรรม ประกอบด้วย ประสิทธิภาพตัวเครื่อง ได้แก่ 1) การเตือนหลักสัญญาณเสียง สัญญาณไฟกระพริบ และการแจ้งเตือนทางไลน์ ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ ความสามารถเก็บไฟของแบตเตอรี่ ระยะทางไกลสุดที่ได้ยินเสียงเตือน โดยผู้วิจัยบันทึกข้อมูล หลังทดสอบนวัตกรรมกับอาสาสมัครวิจัย

3. แบบประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัครวิจัยหลังทดลองใช้นวัตกรรม โดยนำเข็มขัดเตือนการหกล้มไปให้กลุ่มผู้สูงอายุที่มีคุณลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 30 คน ทดลองใช้แล้ว นำมาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ได้เท่ากับ .87

การพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาและอนุมัติให้ดำเนินการวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เลขที่ อว 0622.7/222 ลงวันที่ 25 กรกฎาคม 2566 โดยก่อนเก็บข้อมูลผู้วิจัยแนะนำ และชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย และวิธีการเก็บข้อมูลแก่อาสาสมัคร และเปิดโอกาสให้ซักถาม การตัดสินใจเข้าร่วมหรือปฏิเสธการวิจัยได้โดยไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อสวัสดิการสังคม หรือสิทธิการรักษา รวมทั้งสิทธิที่จะถอนตัวจากการวิจัยได้ตลอดเวลา การนำเสนอข้อมูลในภาพรวมเท่านั้น

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ติดต่อประสานงานพื้นที่เพื่อลงเก็บข้อมูล และประกาศรับสมัครอาสาสมัครวิจัย และรับสมัครอาสาสมัครในชุมชน ตามเกณฑ์คัดเข้า โดยการส่งหนังสือถึงผู้นำชุมชน และนัดหมายวัน เวลา สถานที่ เพื่อทำการชี้แจงข้อมูล รายละเอียดการวิจัย และสอบถามความสมัครใจในการเข้าร่วมโครงการวิจัย

2. นัดหมายอาสาสมัครวิจัย เพื่อทดลองใช้เข็มขัดแจ้งเตือนการหกล้มกับอาสาสมัคร สถานที่ทดสอบเป็นบ้านของอาสาสมัครวิจัย และสาธิตการใช้นวัตกรรม โดยให้อาสาสมัครวิจัย สวมเข็มขัดแจ้งเตือนการหกล้มที่เอวให้แน่น กระชับ และอาสาสมัครต้องทำการเอียงไปข้างหน้า-หลัง เช่น ท่าหงายหลังหรือท่าคว่ำหน้า หรือเอียงตัวด้านข้างมาก ในท่าล้มตะแคง เวลานาน ≥ 15 วินาที ไม่ได้เป็นเพียงการ “ก้ม” หรือ “เอน” ชั่วคราว แต่เป็นการคงท่าล้มไว้ เช่น ล้มจริง ใช้ระยะเวลาทดสอบ 15 นาทีต่อราย ส่วนผู้ดูแลให้เฝ้าระวัง และช่วยเหลือ และเข้าประคองตัวหากมีการเคลื่อนไหวผิดท่าจนเกิดการหกล้ม ผู้เก็บข้อมูลทำการบันทึกประสิทธิภาพของนวัตกรรม และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้นวัตกรรม ซึ่งเป็นผู้สูงอายุที่เป็นอาสาสมัครวิจัย

3. นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผล และสรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

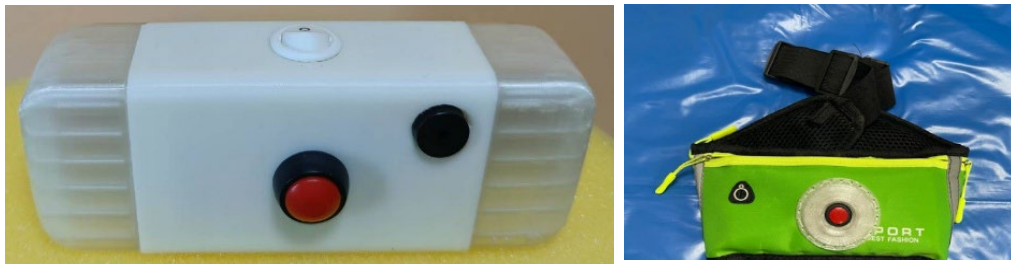
1. อุบัติการณ์หกล้มในผู้สูงอายุ สาเหตุ ผลกระทบ และวิธีแก้ไขปัญห พบว่า การหกล้มในผู้สูงอายุเป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญทั่วโลก โดยองค์การอนามัยโลก¹¹ ระบุว่าอย่างน้อยร้อยละ 28 - 35 ของผู้สูงอายุอายุ 65 ปีขึ้นไป จะหกล้มปีละหนึ่งครั้ง และเพิ่มเป็นร้อยละ 32 - 42 ในกลุ่มอายุ 70 ปีขึ้นไป โดยในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุและเป็นสาเหตุการบาดเจ็บและเสียชีวิตอันดับต้น ๆ ของผู้สูงอายุ¹² สาเหตุของการหกล้ม เกิดจากหลายปัจจัย ทั้งด้านร่างกาย เช่น กล้ามเนื้ออ่อนแรง การทรงตัวลดลง สายตาพร่ามัว โรคเรื้อรัง และการใช้ยา หลายชนิด รวมถึงด้านสิ่งแวดล้อม เช่น พื้นลื่น พื้นต่างระดับ ไฟส่องสว่างไม่เพียงพอ และสภาพบ้านที่ไม่ปลอดภัย¹³ การหกล้มก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงทั้งด้านสุขภาพ เช่น กระดูกหัก โดยเฉพาะกระดูกสะโพก บาดเจ็บศีรษะ ทุพพลภาพ สูญเสียความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวัน และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต รวมถึงภาระเศรษฐกิจ แก่ครอบครัวและระบบบริการสุขภาพ¹⁴ แนวทางแก้ไขที่ผ่านมานั้นการป้องกันโดยการออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรง และการทรงตัว เช่น โปรแกรม Otago การประเมินและจัดการปัจจัยเสี่ยงแบบสหสาขาวิชาชีพ การปรับปรุง สภาพแวดล้อมในบ้าน และใช้เทคโนโลยีสนับสนุนเพื่อตรวจจับและแจ้งเตือนการหกล้ม ซึ่งช่วยลดอุบัติการณ์ การหกล้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ¹⁵ ร่วมกับผลการสำรวจบริบทชุมชน และความต้องการของผู้สูงอายุ กลุ่มที่อาศัยอยู่ ตามลำพังและมีความเสี่ยงต่อการหกล้ม ต้องการสนับสนุนเทคโนโลยีที่เหมาะสม เช่น อุปกรณ์ตรวจจับการหกล้ม ร่วมกับระบบบริการฉุกเฉินและการติดตามคนดูแล เพื่อลดเวลาในการช่วยเหลือหลังการล้ม¹⁶ อุปกรณ์สวมใส่ที่มี Accelerometer/Gyroscope เพื่อเตือนเมื่อเกิดหกล้ม และระบบแจ้งเตือนฉุกเฉิน ช่วยลดผลกระทบจากการหกล้ม เพราะลดเวลาในการรับความช่วยเหลือ

2. การออกแบบนวัตกรรมระบบการแจ้งเตือนการหกล้มสำหรับผู้สูงอายุให้เหมาะสมสำหรับการสวมใส่ติดตัวผู้ใช้งานโดยบรรจุในเข็มขัดรัดเอว มีความกว้าง 2 นิ้ว ยาว 4 นิ้ว โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1) ตัวสายเข็มขัดที่มีลักษณะคล้ายกระเป๋ารัดเอว ส่วนที่ 2) อุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณเตือนลักษณะเป็นกล่อง สี่เหลี่ยมขนาดพอดีกับเข็มขัด และปรับรอบเอวให้พอดีกับผู้สูงอายุได้ นอกจากนี้ เข็มขัดเตือนหกล้มยังเชื่อมต่อกับ Application Line ในโทรศัพท์ได้ มีระบบไฟกระพริบเพื่อง่ายต่อการสังเกตเห็นของผู้ดูแลผู้สูงอายุขณะที่เกิดการล้ม ภายในบริเวณใกล้เคียง โดยการพัฒนาวัตกรรมมี 2 ระยะ ดังนี้

1) ระยะ Prototype นวัตกรรมในระยะแรก เป็นกล่องอเนกประสงค์รูปทรงสี่เหลี่ยม โดยติดตั้ง อุปกรณ์ต่าง ๆ ไว้ภายใน รูปแบบการทำงานพื้นฐานในการตรวจสอบการล้มของผู้ป่วย ใช้เซนเซอร์วัดความเอียง เป็นเงื่อนไขในการแจ้งเตือน ตัวเครื่องใช้สัญญาณอินเทอร์เน็ตที่ถูกตั้งค่าไว้ จำเป็นต้องตั้งค่าแหล่งสัญญาณ อินเทอร์เน็ตให้ตรงกัน



ภาพที่ 2 การพัฒนานวัตกรรมระยะ Prototype



ภาพที่ 3 นวัตกรรมที่ปรับปรุงก่อนนำไปทดลอง

2) ระยะเวลาพัฒนา Pilot study เมื่อนำนวัตกรรมไปทดลองใช้กับอาสาสมัครวิจัย จำนวน 10 คน และพบปัญหาหลายจุด เช่น เมื่อการเคลื่อนไหวแบบเอียงตัวหรือมีการนั่งลงอย่างกะทันหันตัวเครื่องจะทำการแจ้งเตือน ซึ่งผู้ป่วยไม่ได้เกิดการล้ม ทำให้เกิดความเข้าใจผิด และหากผู้ป่วยต้องการความช่วยเหลือโดยไม่เกี่ยวข้องกับการล้ม ผู้ป่วยไม่สามารถขอความช่วยเหลือผ่านตัวเครื่องได้ สัญญาณไฟกระพริบมีจุดเดียวทำให้มองเห็นไม่ชัดเจน หากมีเครื่องแต่งกายมาปิดบัง และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตทำได้ยาก ขนาดรูปลักษณะของเครื่องยังไม่เหมาะสมกับการใช้งาน จึงทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่เจอได้แก่ 1. รูปร่าง ลักษณะ เล็ก gọn และลดช่องว่าง เพื่อลดโอกาสที่ความชื้นสัมผัสกับอุปกรณ์ สัญญาณไฟกระพริบแจ้งเตือนออกแบบให้เป็นพลาสติกโปร่งใส ทำแสงไฟเตือน เห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น 2. เครื่องสามารถทำงานได้ทั้งระบบออนไลน์และออฟไลน์ 3. การชาร์จพลังงาน ใช้หัวชาร์จแบบแม่เหล็ก 4. ไฟแสดงผล เพิ่มไฟกระพริบด้านข้าง จะเห็นการเตือนได้ชัดเจนขึ้น หากด้านหน้าถูกบังด้วยเสื้อผ้า 5. เพิ่มการตรวจสอบการล้มของผู้ป่วยเป็น 2 กรณี คือ การวัดความเอียงและการวัดการเคลื่อนไหว ซึ่งผู้ป่วยต้องหยุดนิ่งมากกว่า 15 วินาที และอยู่ในลักษณะเอียง ตัวเครื่องจึงแจ้งเตือน 6. เพิ่มปุ่ม SOS กรณีผู้สูงอายุต้องการความช่วยเหลือ และ 7. เพิ่ม Function การใช้งาน เพิ่มการแจ้งเตือน 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนไหวแบบเอียง และการเคลื่อนไหวแบบสั่นสะเทือน จะแจ้งเตือน เมื่อผู้ใช้ หยุดนิ่งไป 15 วินาที เครื่องจะแจ้งเตือน เสียงดังไปจนกว่าจะมีการปิดปุ่มแจ้งเตือน

3) ผลการทดสอบประสิทธิภาพนวัตกรรม พบข้อสรุป ดังนี้ 1. นวัตกรรมสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขององศาการเอียงตัวของร่างกายได้แม่นยำถึงร้อยละ 100 จากการทดสอบอาสาสมัครวิจัย 30 ราย เครื่องแจ้งเตือนทุกครั้งที่มีการเคลื่อนไหวแบบเอียงตัว 2. มีระบบแจ้งเตือนผ่านเสียง (ระดับความดัง 10 เดซิเบล ได้ยินชัดเจนในรัศมี 10 เมตร) 3. มีไฟกระพริบแจ้งเตือนในกรณีไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต และสามารถเชื่อมต่อ Application Line เพื่อแจ้งเตือนผู้ดูแลในกรณีที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต 4. ราคาต่อหน่วยผลิต 380 - 400 บาท

4) ความพึงพอใจของผู้ใช้นวัตกรรม พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้นวัตกรรม (n = 30)

รายการประเมิน	ความพึงพอใจ		การแปลผล
	M	SD	
1. การออกแบบมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	4.20	.79	ระดับมาก
2. นวัตกรรมมีความสวยงาม	3.80	.88	ระดับมาก
3. วัสดุอุปกรณ์มีความแข็งแรงทนทาน	3.83	.87	ระดับมาก
4. ขนาดและน้ำหนักมีความเหมาะสม	3.83	.90	ระดับมาก
5. ถอดประกอบง่าย ไม่ซับซ้อน	3.85	.86	ระดับมาก
6. ความสะดวก สบายในการใช้งาน	4.00	.82	ระดับมาก
7. ความปลอดภัยในการใช้งาน	4.13	.79	ระดับมาก
8. ประหยัด คุ่มค่า	3.60	.87	ระดับมาก
9. มีประโยชน์ต่อผู้สูงอายุ ญาติผู้ป่วย	4.28	.78	ระดับมาก
10. นวัตกรรมสามารถใช้งานได้จริง	4.35	.70	ระดับมาก
ค่าเฉลี่ยโดยรวม	3.99	.56	ระดับมาก

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้ พบว่า นวัตกรรมเข็มขัดเตือนหกล้มที่พัฒนาขึ้นช่วยในการแจ้งเตือนหกล้มของผู้สูงอายุได้ ส่งผลให้ลดอาการบาดเจ็บ ซึ่งมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ได้แก่ สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขององศาการเอียงตัวของร่างกายได้แม่นยำ มีระบบแจ้งเตือนผ่านเสียง มีสัญญาณไฟกระพริบแจ้งเตือนในกรณีไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต และสามารถส่งสัญญาณเตือนใน Application Line เพื่อแจ้งเตือนผู้ดูแล นวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นใช้เทคโนโลยีตรวจจับการหกล้มที่ใช้เซ็นเซอร์ไจโรสโคปและ AI มีความแม่นยำสูง และมีประสิทธิภาพสูงกว่าผลงานที่ผ่านมา ที่พัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจจับการเอียงของร่างกายของผู้สูงอายุ มีความแม่นยำ ร้อยละ 85.50¹⁷ นอกจากนี้ การเชื่อมต่อ Application Line เพื่อให้ส่งสัญญาณแจ้งเตือนการหกล้มยังช่วยให้ผู้ดูแลสามารถรับรู้สถานการณ์ได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีไม่มีคนดูแล นวัตกรรมแจ้งเตือนการหกล้ม มีเสียงเตือน และการสั่นเตือน จะช่วยเพิ่มการตระหนักรู้และระมัดระวังการทรงตัว การเคลื่อนไหวตัว การเดิน การยืน หากมีเคลื่อนไหวผิดปกติ มีการเอียงองศา ที่อาจเกิดการหกล้ม ผู้สูงอายุจะเกิดการปรับท่าทางการทรงตัว ให้กลับมาในแนวการทรงตัวปกติ ผลการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาที่พัฒนาเทคโนโลยีเรดาร์ที่อยู่ในรูปแบบของรองเท้า มีศักยภาพในการช่วยป้องกันการหกล้มของผู้สูงอายุ สามารถใช้ในการวิเคราะห์การเดิน ตรวจจับสิ่งกีดขวาง และยังช่วยประเมินความเสี่ยงในการล้มได้ ซึ่งเทคโนโลยีเรดาร์นี้ก็ได้นำมาใช้กับเข็มขัดแจ้งเตือนหกล้มสำหรับผู้สูงอายุ¹⁸

ความพึงพอใจของผู้ใช้นวัตกรรมโดยรวมอยู่ในระดับมาก อธิบายได้ว่านวัตกรรมมีประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนการหกล้ม เพราะอุปกรณ์สร้างขึ้นโดยผลานการทำงานของ Gyroscope กับ Accelerometer เพิ่มความแม่นยำของการตรวจจับ โดยเฉพาะเมื่อต้องแยกระหว่างกิจกรรมปกติ เช่น นั่งลงเร็ว กับการล้มจริง และพัฒนาขึ้นเป็น อุปกรณ์สวมใส่ที่ใช้แจ้งเตือนการหกล้มสอดคล้องกับผลงานที่ได้สร้างอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อแจ้งเตือนหกล้มแบบสวมใส่ Wearable fall-Detection prototypes ระบบแจ้งเตือนที่เชื่อมต่อผ่านไลน์นี้ ช่วยให้ผู้ดูแลรับรู้สถานการณ์ได้รวดเร็ว ซึ่งการช่วยเหลือภายใน 1 ชั่วโมงหลังจากหกล้ม ช่วยลดอัตราการเสียชีวิตและภาวะแทรกซ้อน จึงทำให้ผู้ใช้เกิดความพึงพอใจ¹⁹

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การแจ้งเตือนผิดพลาดบางกรณี เช่น การที่ผู้สูงอายุนั่งลงอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการเตือนผิดพลาดราคาค่อนข้างสูงสำหรับบางกลุ่ม จึงควรพัฒนาให้ต้นทุนลดลง
2. ข้อจำกัดการแจ้งเตือน สามารถได้ยินเสียงเพียงระยะในรัศมี 10 เมตร และญาติผู้ดูแลหลักต้องอยู่ในพื้นที่สามารถใช้ Application Line ได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ควรส่งเสริมการใช้งานในสถานดูแลผู้สูงอายุ และโรงพยาบาล เพื่อเพิ่มโอกาสในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในวงกว้าง อาจพัฒนาแอปพลิเคชันเพิ่มเติม เช่น ระบบติดตามตำแหน่งของผู้สูงอายุ

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต

1. ควรทดสอบกับกลุ่มผู้สูงอายุที่มีภาวะสุขภาพแตกต่างกัน และศึกษาในพื้นที่ควบคุม เช่น ผู้สูงอายุในโรงพยาบาล เพื่อที่จะได้ข้อมูลปัจจัยเสี่ยงที่มีแตกต่างของสถานที่ และพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับ AI เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้สูงอายุ
2. ควรปรับปรุงเซ็นเซอร์ให้แม่นยำยิ่งขึ้นเพื่อลดการแจ้งเตือนผิดพลาด ลดขนาดอุปกรณ์ให้เล็กลงศึกษาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อลดต้นทุนและพัฒนาให้สามารถผลิตในเชิงพาณิชย์

References

1. National Statistical Office, Ministry of Digital Economy and Society. The 2024 survey of the older persons in Thailand and provincial level. Bangkok: Statistical Information Dissemination and Service Group, Statistical Forecasting Division, National Statistical Office; 2024. (in Thai)
2. Department of Disease Control. Falls among older adults: A common problem [Internet]. 2019 [cited 2025 Nov 19]. Available from: https://www.ddc.moph.go.th/doe/journal_detail.php?publish=5996&utm_source=chatgpt.com (in Thai)
3. Srichang N, Singthimat S, Lertchirakarn P, Homhuan S, Riangthaisong K. Epidemiology of elderly injured by falls based on the case study in Regional Health 9. Academic Journal of Community Public Health 2024;10(3):46–56. (in Thai)
4. Pannurat N, Thiemjarus S, Nantajeewarawat E. Automatic fall monitoring: A review. sensors 2017;17(1):199. (in Thai)
5. Takahashi T. Fall risk assessment using wearable sensors. Healthcare 2020;8(3):219.
6. Lord SR, Sherrington C, Menz HB. Falls in older people: Risk factors and strategies for prevention. Cambridge: Cambridge University Press; 2021.
7. Rashidi P, Mihailidis A. A survey on ambient-assisted living tools for older adults. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics 2019;17(3):579–90.
8. Udonthani Statistical Office. Elderly analysis Udon Thani 2024 [Internet]. 2024 [cited 2025 Nov 19]. Available from: https://udon.nso.go.th/reports-publications/ebook/indicators-analysis-basic-provincial-information/11-elderly-analysis-udon-thani.html?utm_source=chatgpt.com. (in Thai)

9. Subramaniam S, Faisal AI, Deen MJ. Wearable sensor systems for fall risk assessment: A review. *Frontiers in Digital Health* 2022;4:921506. doi: 10.3389/fdgth.2022.921506.
10. Thiamwong L, Thamarpirat J, Maneesriwongul W, Jitapunkul S. Thai falls risk assessment test (Thai-FRAT) developed for community-dwelling Thai elderly. *The Journal of the Medical Association of Thailand* 2008;91(12):1823-31. (in Thai)
11. World Health Organization. Falls [Internet]. 2021 [cited 2025 Nov 19]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>
12. Thaniwattananon P, Kumkong M. Falls in the elderly: Prevention and care in COVID-19 situations. *Journal of Medical and Health Sciences* 2023;30(1):166–78. (in Thai)
13. Hopewell S, Adedire O, Copsey B, Boniface G, Sherrington C, Clemson L. Multifactorial interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Systematic Review* 2019;(7):CD012221. doi: 10.1136/bjsports-2019-100732.
14. Centers for Disease Control and Prevention. Older adult falls: Data and statistics [Internet]. 2024. [cited 2025 Nov 19]. Available from: <https://www.cdc.gov/falls>
15. Guirguis-Blake JM, Michael YL, Perdue LA, Coppola EL, Beil TL. Interventions to prevent falls in older adults: Updated evidence report and systematic review for the US Preventive Services Task Force *JAMA* 2024;331(3):234–50.
16. Salari N, Darvishi N, Ahmadipanah M, Shohaimi S, Mohammadi M. Global prevalence of falls in the older adults: A comprehensive systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2022;17(1):334. doi: 10.1186/s13018-022-03222-1.
17. Thawornwong N, Akarasatthung A, & Makasorn P. Designing of falls detection for elderly by using tilt sensor. *Naresuan University Journal* 2011; Special Issue: 43-6. (in Thai)
18. Argañarás JG, Wong YT, Begg R, Karmakar NC. State-of-the-art wearable sensors and possibilities for Radar in fall prevention. *Sensors (Basel)* 2021;21(20):6836. doi: 10.3390/s21206836.
19. Lin HC, Chen MJ, Lee CH, Kung LC, Huang JT. Fall recognition based on an IMU wearable device and fall verification through a smart speaker and the IoT. *Sensors (Basel)* 2023;23(12):5472. doi: 10.3390/s23125472.