การพัฒนาแผ่นตรวจวัดแรงกดทับร่างกาย ด้วยปัญญาประดิษฐ์ เพื่อป้องกันแผลกดทับ

DEVELOPMENT OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE BODY PRESSURE SENSING MAT FOR PRESSURE ULCER PREVENTION

นวลลออ ธวินชัย[1]

สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒนะ[2]

Nuanlaor Thawinchai[1]

Sirichai Tammaruckwattana[2]

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200[1]

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520[2]

Chiangmai University, Chiang Mai 50200 Thailand[1]

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand[2]

Corresponding E-mail : sirichai.ta@kmitl.ac.th

Received Date July 08, 2024
Revised Date July 18, 2025
Accepted Date August 01, 2025

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพแผ่นตรวจวัดแรงกดทับร่างกายด้วยปัญญาประดิษฐ์หรือเอไอ เพื่อป้องกันการเกิดแผลกดทับในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งตัวส่วนบน ระดับ C3–C5 ตามระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บไขสันหลังของ American Spinal Injury Association ระดับ A–C โดยใช้การวิจัยแบบภาคตัดขวาง ผู้เข้าร่วมทดลองถูกจัดให้อยู่ในท่านอนหงายและนอนตะแคงขวาเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อท่า รวมทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง จากนั้นข้อมูลแรงกดที่เกิดขึ้นบนปุ่มกระดูกต่าง ๆ ถูกวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมเอไอที่พัฒนาขึ้น เพื่อควบคุมการทำงานของถุงลมในการปรับแรงกดบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผลกดทับ ผลการศึกษาพบว่า จุดที่มีแรงกดสูงสุดคือบริเวณกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บในท่านอนหงาย และบริเวณกระดูกสะโพกในท่านอนตะแคงขวา สำหรับการประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบ พบว่า ผู้ดูแลมีระดับความพึงพอใจสูงกว่าผู้ป่วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผู้ป่วยร้อยละ 88 ไม่เกิดแผลกดทับหลังจากการทดลองครบ 4 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์ต้นแบบสามารถตรวจวัดและควบคุมแรงกดทับได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดแผลกดทับในผู้ป่วยที่มีภาวะเคลื่อนไหวจำกัด อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้เทคโนโลยีเอไอเพื่อการดูแลสุขภาพเชิงป้องกัน

คำสำคัญ: แผลกดทับ ปัญญาประดิษฐ์ (เอไอ) เซนเซอร์วัดแรงกด อุปกรณ์ลดแรงกด

Abstract

This study aimed to develop and evaluate the effectiveness of a body pressure monitoring mat integrated with Artificial Intelligence (AI) to prevent pressure ulcers. A cross-sectional study design was employed to validate the prototype device. Participants with tetraplegia at levels C3–C5, classified as ASIA A–C according to the American Spinal Injury Association (ASIA), were positioned in supine and right lateral postures for two hours each, totaling four hours. Pressure data from various bony prominences were analyzed using a custom AI algorithm designed to control air cells and adjust pressure at high-risk areas. The results showed that the highest pressure occurred at the sacrum in the supine position and at the hip in the right lateral position. Caregivers reported significantly higher satisfaction with the system than patients, and 88% of patients did not develop pressure ulcers after the 4-hour session. Therefore, this study demonstrates that the prototype device is effective in accurately measuring and redistributing pressure to reduce the risk of pressure ulcer formation. It also enhances patient care convenience and provides a promising direction for the development of AI-based medical devices for preventive healthcare applications.

Keywords: pressure ulcer, Artificial Intelligence (AI), pressure sensor, pressure-reducing device

1. บทนำ

พ.ศ. 2573 ประเทศไทยจะมีประชากรสูงวัยมากกว่าร้อยละ 20 ของจำนวนประชากรทั้งหมดในประเทศ ประชากรสูงวัยมีความเสี่ยงสูงที่จะมีโรคต่าง ๆ หรือเกิดอุบัติเหตุหกล้มที่ทำให้มีโอกาสเป็นผู้ป่วยติดบ้าน-ติดเตียงสูง ดังนั้น การมีประชากรสูงวัยจำนวนมาก ต้องมีการเตรียมพร้อมสำหรับค่าใช้จ่ายด้านการรักษาพยาบาล การดูแลสุขภาพ โดยเฉพาะการดูแลผู้สูงวัยที่ป่วยติดบ้าน-ติดเตียงที่ไม่มีครอบครัว หรือครอบครัวดูแลไม่ได้ ซึ่งประชากรกลุ่มนี้มีอัตราเพิ่มมากขึ้นทุกปี และเป็นกลุ่มที่เสี่ยงต่อการถูกทอดทิ้ง ไม่ได้รับการช่วยเหลือดูแลอย่างเหมาะสม ในงานสมัชชาเฉพาะประเด็นว่าด้วยนโยบายรองรับสังคมสูงวัย จัดโดยสำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ (สช.) และภาคีเครือข่าย เมื่อต้นเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 มีการศึกษาและนำเสนอนโยบายในหลายเรื่องหลายมิติ หนึ่งในนั้นคือ มิติสุขภาพ ซึ่งมีสาระสำคัญ 2 ประเด็น ได้แก่ การดูแลระยะยาว และการเท่าทันหรือความรอบรู้ด้านสุขภาพ ซึ่งทั้ง 2 ประเด็นมีความสัมพันธ์กันอย่างแนบชิด ในงานศึกษาดังกล่าวยังได้นำเสนอเกี่ยวกับการคำนวณตัวเลขงบประมาณในการจัดบริการดูแลระยะยาวในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 1) ภาครัฐดูแลทั้งหมด 2) การดูแลแบบผสมผสาน

โดยกรณีที่ภาครัฐจะจัดสรรงบประมาณในการดูแล พบว่า

การใช้งบประมาณน้อย กรณีต้องการผลักดันให้ผู้ป่วยติดเตียงได้รับการดูแลขั้นพื้นฐานจะต้องใช้งบประมาณ 1,080 ล้านบาทต่อปี เพื่อจ้างผู้ดูแลมืออาชีพ 1 คนให้ดูแลผู้ป่วยประมาณ 25 คน โดยให้ค่าตอบแทนผู้ดูแลคนละ 6,000 บาทต่อเดือน

การใช้งบประมาณปานกลาง กรณีต้องการให้ดูแลที่ทำให้ผู้ป่วยติดเตียงมีคุณภาพเพิ่มขึ้น ต้องใช้งบประมาณ 8,640 ล้านบาทต่อปี เพื่อจ้างผู้ดูแล 1 คนให้ดูแลผู้ป่วยประมาณ 6 คน โดยให้ค่าตอบแทนผู้ดูแลคนละ 12,000 บาทต่อเดือน

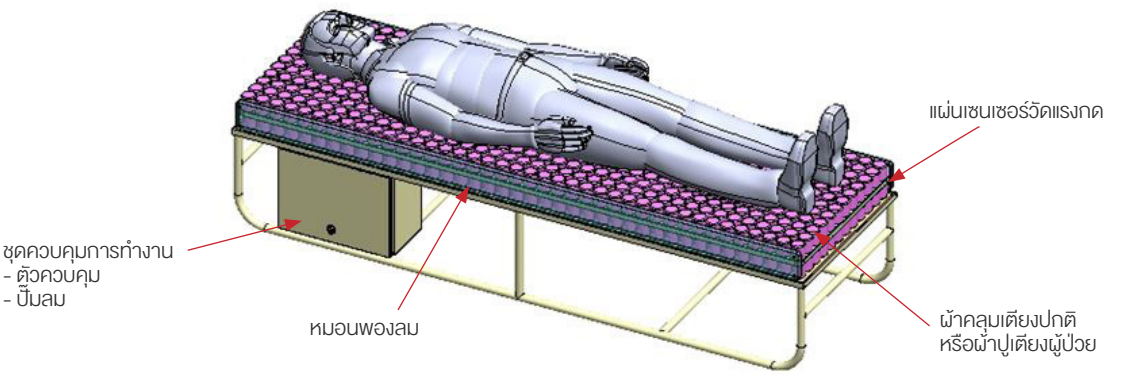
การใช้งบประมาณสูง กรณีต้องการให้มีการดูแลอย่างเต็มที่ มีทั้งผู้ดูแลมืออาชีพและค่าวัสดุอุปกรณ์จำเป็นต่าง ๆ จะต้องใช้ต้นทุนสูงถึง 30,000 ล้านบาทต่อปี สำหรับผู้ดูแลผู้ป่วยติดเตียงราว 372,000 คน โดยจ้างผู้ดูแลมืออาชีพ 1 คน ดูแลผู้ป่วย 3 คนโดยให้ค่าตอบแทนผู้ดูแลคนละ 21,150 บาทต่อเดือน

ในกรณีการดูแลแบบผสมผสาน คือมีทั้งการดูแลที่บ้าน ที่ชุมชน รวมถึงการดูแลแบบเข้าไปอยู่ในบ้านพักคนชรา (nursing home) หรือสถานที่ดูแลผู้สูงอายุตอนกลางวัน (day care) มีการประเมินงบประมาณอยู่ที่ประมาณ 30,000 ล้านบาทต่อปีเช่นกัน

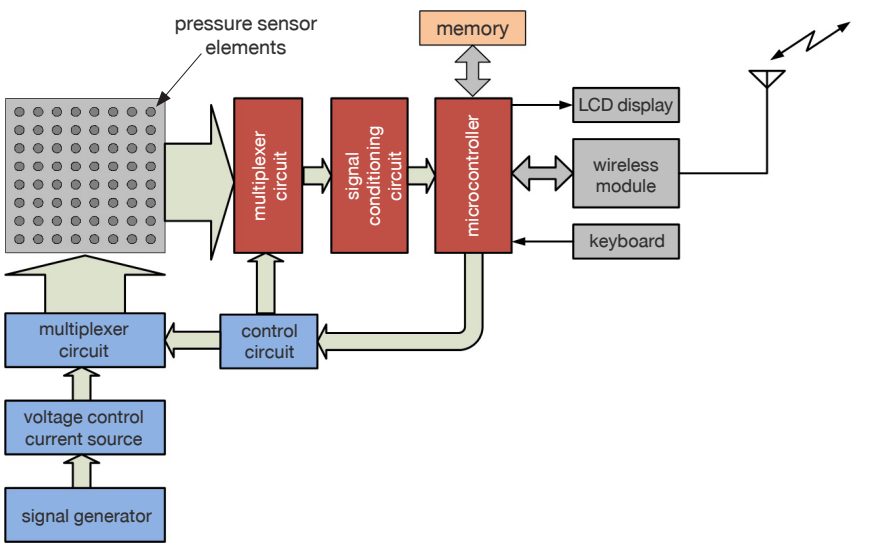
แผลกดทับ (pressure ulcer) เป็นปัญหาสำคัญที่รบกวนผู้ป่วยและผู้ดูแล รวมถึงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาเป็นจำนวนมาก วิธีป้องกันการเกิดแผลกดทับที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง คือ การจัดท่าทางและการเปลี่ยนท่าทางของผู้ป่วยอย่างสม่ำเสมอ ถึงแม้จะมีอุปกรณ์ช่วยพลิกตัวสำหรับช่วยป้องกันแผลกดทับแบบอัตโนมัติ แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลา หากผู้ป่วยนอนนาน แรงกดยังคงสะสมที่ปุ่มกระดูกของผู้ป่วยตำแหน่งเดิมต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับวัดแรงกดแบบไร้สายบนที่นอนร่วมกับการลดแรงกดอัตโนมัติโดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนท่าทาง ขณะนี้เครื่องต้นแบบได้พัฒนาจนถึงขั้นตอนประเมินผลการใช้งานกับอาสาสมัครที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผลกดทับ ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นวัดแรงกดของร่างกายที่ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ หรือเอไอ (Artificial Intelligence: AI) ในการป้องกันแผลกดทับท่านอนหงายและนอนตะแคงขวา

การศึกษาวิจัยที่เสนอมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับสาธารณสุขสาธารณะเนื่องจากแผลกดทับเป็นปัญหาสำคัญที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยและผู้ดูแลทางการแพทย์ในสถานพยาบาล ปัจจุบันสถานพยาบาลใหญ่ของภาครัฐและเอกชนใช้เครื่อง XSENSOR เพื่อใช้ในการตรวจสอบระบุจุดที่เกิดแรงกดทับได้อย่างละเอียดและแม่นยำ แต่เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูงจึงไม่เพียงพอต่อผู้ป่วย ซึ่งการรักษาแผลกดทับต้องใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายสูง หากอุปกรณ์ปัญญาประดิษฐ์แผ่นวัดแรงกดของร่างกายได้รับการประเมินว่ามีประสิทธิภาพสูง ก็จะสามารถนำไปใช้ป้องกันการเกิดแผลกดทับ และลดค่าใช้จ่ายในการรักษา ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยและครอบครัวต่อไป จากการศึกษาพบว่า ตำแหน่งที่ปุ่มกระดูกที่เกิดแรงกดทับได้บ่อยในท่านอนหงาย ได้แก่ บริเวณกระดูกก้นกบ ส้นเท้า ข้อศอก กระดูกสันหลัง สะบัก และท้ายทอย ส่วนท่านอนตะแคง ได้แก่ บริเวณกระดูกสะโพก ตาตุ่ม เข่า ไหล่ และหู

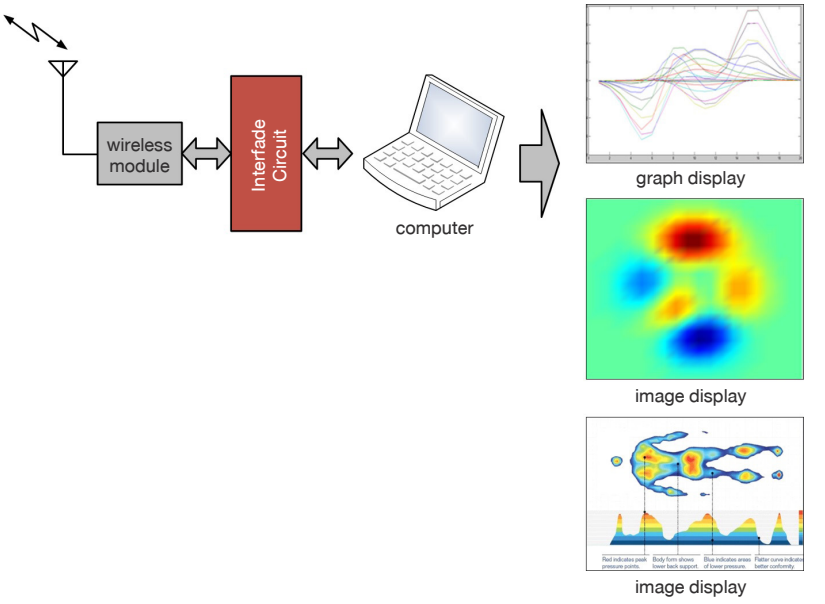
โครงสร้างการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์แผ่นเซนเซอร์วัดแรงกดของร่างกายเพื่อป้องกันแผลกดทับ เมื่อแผ่นเซนเซอร์วัดแรงกด (pressure sensor) ตรวจพบแรงกด ข้อมูลจะถูกส่งไปประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึม (algorithm) ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นและส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานที่ถุงลมเพื่อเพิ่มและลดแรงกด ณ ตำแหน่งที่ก่อให้เกิดแผลกดทับนั้นได้ ดังภาพที่ 1 ถึงภาพที่ 3 ตามลำดับ ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการทำงานของระบบตามที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น นอกจากนี้ระบบยังได้ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายแบบเรียลไทม์ (real-time) เพื่อแสดงผลให้ผู้ดูแลได้ตลอดเวลา



ภาพที่ 1 เครื่องวัดแรงกดและลดแรงกดอัตโนมัติ



ภาพที่ 2 เซนเซอร์วัดแรงกดต่อเข้าวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย



ภาพที่ 3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์และการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายและชุดประมวลผล

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาแผ่นตรวจวัดแรงกดทับร่างกายด้วยปัญญาประดิษฐ์เพื่อป้องกันแผลกดทับ

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน โดยประเมินจากค่าแรงกดบนปุ่มกระดูกต่าง ๆ ของร่างกาย การเกิดแผลกดทับ รวมถึงความพึงพอใจของผู้ป่วยและผู้ดูแล

3. วิธีการศึกษา

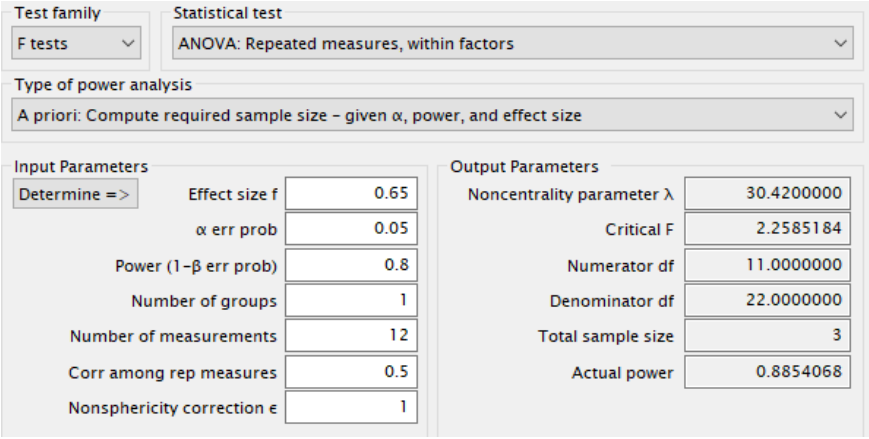
3.1 ประเภทและรูปแบบการวิจัย

รูปแบบการวิจัยของการศึกษานี้เป็นแบบการตัดขวาง (cross sectional study design) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบตรวจวัดแรงกดเพื่อป้องกันแผลกดทับ (proof of validation)

3.2 ประชากรที่ศึกษา

3.2.1 แหล่งที่มาของตัวอย่างหรือผู้ป่วย ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาที่หอผู้ป่วยฟื้นฟู โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ณ วันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2567

3.2.2 การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างอ้างอิงจากการศึกษาของ Uttarachon et al. (2019) ซึ่งเป็นการศึกษาที่พัฒนาอุปกรณ์ช่วยพลิกตัวอัตโนมัติ โดยคำนวณด้วยโปรแกรม G*Power 3.1.9.4 โดยใช้สถิติ F-tests (ANOVA: Repeated measures, within factors) และกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้: A priori: Compute required sample size, ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05, อำนาจการทดสอบ (Power) = 0.8 และขนาดอิทธิพล (Effect size) = 0.65 (ดังแสดงในภาพที่ 4) จากผลการคำนวณพบว่าต้องใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 คน อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็น 8 คน เพื่อให้มีกำลังการทดสอบเพียงพอ



ภาพที่ 4 การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง

3.2.3 เกณฑ์การคัดเลือก ผู้ป่วยที่ถูกคัดเลือกให้เข้าร่วมงานวิจัยต้องได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟูภายในระยะเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมงก่อนเข้าร่วมวิจัย เกี่ยวกับระดับการบาดเจ็บไขสันหลังและระดับความรุนแรง รวมถึงต้องได้รับการประเมินว่าไม่มีแผลกดทับและไม่มีภาวะหลอดเลือดดำอุดตัน

เกณฑ์คัดเข้า

1) ผู้ป่วยอัมพาตแบบ Tetraplegia ระดับ C3, C4, และ C5 ที่จัดอยู่ในระดับ ASIA group A, B หรือ C (motor useless)

2) อายุ 20 ปีขึ้นไป

3) ไม่สามารถพลิกตะแคงตัวเองได้

4) ทำตามสั่งและนอนนิ่ง ๆ ได้

5) ปัสสาวะทางสาย urine catheter with bag

เกณฑ์คัดออก (exclusion criteria)

1) มีแผลกดทับ

2) มีภาวะหลอดเลือดดำอุดตัน

3) นอนหงายและนอนตะแคงหัวราบได้น้อยกว่า 2 ชั่วโมง

3.3 เกณฑ์ถอนผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยออกจากการวิจัย

ผู้ป่วยไม่ได้รับความสุขสบายขณะนอนทดสอบ

3.4 ระยะเวลาที่ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยหรือผู้ป่วยต้องอยู่ในโครงการวิจัย

คนละ 4 ชั่วโมง

3.5 ผลิตภัณฑ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

เครื่องต้นแบบที่ได้รับแนวคิดมาจากชุดอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกดฝ่าเท้าและสมดุลร่างกายของ ผศ. ดร.ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์ (ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์, 2559) ประกอบด้วย 1) ส่วนทางกล (mechanical) เป็นการออกแบบวิเคราะห์ และสร้างอุปกรณ์แผ่นรองรับน้ำหนัก ด้านบนสำหรับวางเท้าเป็นแผ่นอะคริลิก ขนาด 60x60 เซนติเมตร หนา 2.5 เซนติเมตร แผ่นปิดด้านล่างหนา 0.5 เซนติเมตร ใช้อะลูมิเนียมโพรไฟล์ทำเป็นกรอบ ยึดติดกับ Bracket ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้รับน้ำหนักเมื่อมีการเหยียบลงบนอุปกรณ์ ทำด้วยสเตนเลส 304 ซึ่งแข็งแรงทนทานไม่เป็นสนิม ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร โดยออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักได้ถึง 120 กิโลกรัม และใช้ load cell สำเร็จรูปขนาด 15x4 เซนติเมตร วัสดุเป็นอะลูมิเนียม เป็นชนิดที่วัดน้ำหนักที่จุดเดียวที่ส่วนปลายและเป็นแบบคาน ซึ่งในขณะรับน้ำหนักคานจะขยับเปลี่ยนตามน้ำหนักที่มากระทำ 2) ส่วนทางไฟฟ้า (electrical) เป็นการออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณเอาต์พุต (instrument amplifier) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter) มีการคำนวณค่าตัวต้านทาน และค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสม และ3) ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน (interface) เป็นการออกแบบโปรแกรมเพื่อรับค่าสัญญาณ บันทึกข้อมูล และแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ โดยมีรายละเอียดของการใช้งานดังนี้

3.5.1 ชุดแผ่นวัดแรงกดของร่างกายจะถูกวางไว้บนฟูก เมื่อตรวจจับตำแหน่งที่เสี่ยงต่อการเกิดแผลกดทับจะส่งข้อมูลตำแหน่งนั้นไปที่ชุดอุปกรณ์ลดแรงกด

3.5.2 ชุดอุปกรณ์ลดแรงกด มีลักษณะเป็นที่นอนลมที่ใช้งานทั่วไป วางไว้ใต้ชุดแผ่นวัดแรงกดของร่างกาย เมื่อชุดอุปกรณ์ลดแรงกดทำงานถุงลมจะปรับแรงดันลมเฉพาะตำแหน่งที่ตรวจพบแรงกดสูง

3.5.3 ชุดควบคุม ทำหน้าที่รักษาสมดุลแรงกดขณะนอนเพื่อป้องกันการเกิดแผลกดทับ ชุดควบคุมนี้จะทำงานอัตโนมัติตลอดเวลา การทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดไม่ต้องใช้แรงงานคน และไม่ต้องทำอะไรเพิ่มเติมขณะนอนอยู่บนเตียง

3.6 วิธีศึกษาวิจัย

3.6.1 อาสาสมัครลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

3.6.2 บันทึกข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร ได้แก่ น้ำหนักตัว อายุ ส่วนสูง เพศ และข้อมูลการวินิจฉัยโรค

3.6.3 ให้อาสาสมัครนอนบนเตียงที่ติดตั้งแผ่นตรวจวัดแรงกดทับของร่างกายด้วยปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งมีการบันทึกผลแรงกดตลอด

3.6.4 จัดท่าทางให้อาสาสมัครอยู่ในท่านอนหงายและนอนตะแคงขวา ดังภาพที่ 5 ท่าละ 2 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง

3.6.5 เมื่อสิ้นสุดการทดลองอาสาสมัครจะได้รับการประเมินการเกิดแผลกดทับโดยนักกายภาพบำบัดที่มีประสบการณ์มากกว่า 20 ปี เนื่องจากการศึกษานี้คัดเลือกผู้ป่วยที่ยังไม่มีแผลกดทับ การประเมินจึงเป็นเพียงการสังเกตผิวหนังที่สมบูรณ์รอบ ๆ เพื่อดูรอยแดง (redness) ความอบอุ่น (warmth) ความชุ่มชื้น (moisture) หรือความแข็ง (hardness) ในบริเวณปุ่มกระดูกของส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

3.6.6 อาสาสมัครและผู้ดูแลให้คะแนนความพึงพอใจ

ภาพที่ 5 การประเมินแรงกดทับในท่านอนหงายและนอนตะแคง

3.7 วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

3.7.1 ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร และค่าแรงกดทับบนปุ่มกระดูกของส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ขณะนอนหงายและนอนตะแคงขวา วิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา

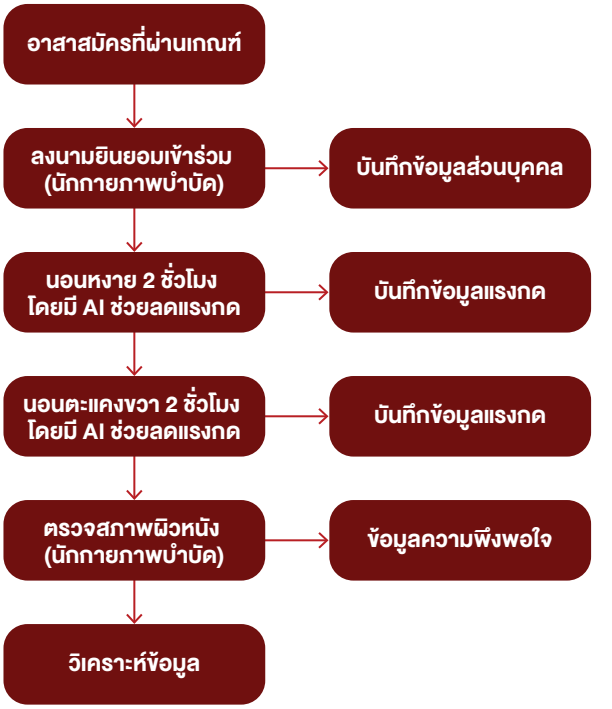
3.7.2 คะแนนความพึงพอใจของผู้ป่วยและผู้ดูแล วิเคราะห์โดยใช้สถิติ independent t-test เพื่อเปรียบเทียบคะแนนความพึงพอใจระหว่างผู้ป่วยและผู้ดูแล

3.7.3 ผลการเกิดแผลกดทับหลังสิ้นสุดการทดลอง 4 ชั่วโมง วิเคราะห์โดยใช้สถิติ chi-square test

3.7.4 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติคือ 0.05

3.8 แผนภาพการดำเนินงาน (flowchart)

แผนภาพแสดงภาพรวมการแบ่งกลุ่ม วิธีวิจัย และตัวแปรที่ต้องการเก็บในการวิเคราะห์ตอบวัตถุประสงค์ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ภาพรวมการแบ่งกลุ่ม วิธีวิจัย และค่าตัวแปรที่ต้องการเก็บ

4. การทบทวนวรรณกรรม

แผลกดทับเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อผู้ป่วยและผู้ดูแล การศึกษาวิเคราะห์อภิมาน (meta-analysis study) พบว่า ความชุกของแผลกดทับทั่วโลกอยู่ที่ร้อยละ 12.8 หรือมากกว่า 1 ใน 10 คน โดยมีอุบัติการณ์การบาดเจ็บจากแรงกดทับที่เกิดขึ้นในโรงพยาบาล (Hospital-Acquired Pressure Injury: HAPI) อยู่ที่ร้อยละ 8.4 (Afzali Borojeny et al., 2020; Li et al., 2020) ในสหรัฐอเมริกา พบว่า มีผู้ป่วยเกิดแผลกดทับ 2.5 ล้านคน ใช้งบประมาณในการรักษาแผลกดทับในโรงพยาบาล 26.8 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งใช้งบประมาณเฉลี่ยในการรักษาต่อคนประมาณ 10,708 ดอลลาร์สหรัฐ (Padula & Delarmente, 2019) สำหรับหอผู้ป่วยฟื้นฟูสภาพ ณ โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ ผู้ป่วยส่วนใหญ่มีแผลกดทับที่กระเบนเหน็บ (sacrum) และก้นกบ ซึ่งเกิดจากท่านอนหงาย และค่ารักษาแผลกดทับกรณีผ่าตัดต่อแผลประมาณ 55,261 บาท ใช้การรักษาเฉลี่ย 35 วัน และสามารถเบิกจากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.) ได้ร้อยละ 88.5 (Kammuang-lue & Kovindha, 2012) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแผลกดทับเป็นปัญหาจำเป็นที่ต้องได้รับการป้องกันและดูแลรักษาอย่างจริงจัง

การเกิดแผลกดทับขึ้นอยู่กับแรงกดและระยะเวลาที่ได้รับแรงกดอย่างต่อเนื่อง แรงกดทับ 35 มิลลิเมตรปรอท เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง สามารถจะทำให้เกิดแผลกดทับได้ (Reswick & Rogers, 1976) นอกจากนี้ ถ้าแรงกดมีค่ามากกว่าความดันหัวใจขณะคลายตัว (diastolic pressure) อาจเกิดแผลกดทับได้ภายใน 6 ชั่วโมง หากแรงกดทับสูงกว่าแรงดันขณะหัวใจบีบตัว 4 เท่า อาจเกิดแผลกดทับได้ภายใน 1 ชั่วโมง (Aronovitch, 2007) ในทางคลินิก การศึกษาก่อนหน้าได้รายงานว่า ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดในท่านอนหงายบนแผ่นโฟมหนา 2 นิ้ว เกิน 3 ชั่วโมง มีความเสี่ยงที่จะเกิดแผลกดทับ (Schoonhoven et al., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในราชอาณาจักรเนเธอร์แลนด์ที่พบการเกิดแผลกดทับร้อยละ 21 ของผู้ป่วยที่นอนหงายผ่าตัดบนแผ่นเจลหนา 2 เซนติเมตร หากผ่าตัดเกิน 4 ชั่วโมง (Defloor, 2000) ดังนั้น การป้องกันการเกิดแผลกดทับที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งคือ การจัดท่าทางและการเปลี่ยนท่าทางของผู้ป่วยอย่างสม่ำเสมอ การช่วยให้ผู้ป่วยเลี่ยงแรงกดทับจากการนอนหรือนั่งไปที่อวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งเป็นเวลานานที่ใช้แพร่หลายคือ ปรับเปลี่ยนท่าทางขณะนั่งบนรถเข็นทุก ๆ 15 นาที และการเปลี่ยนท่านอนหงาย นอนตะแคงซ้าย และนอนตะแคงขวา โดยแนะนำให้จัดท่านอนตะแคงทำมุม 30 องศา เพื่อลดแรงกดทับบริเวณปุ่มกระดูกโคนขาใหญ่ (greater trochanter) ซึ่งช่วยให้ออกซิเจนมาเลี้ยงบริเวณดังกล่าวได้ดีกว่านอนตะแคง 60 องศา และ 90 องศา (Xakellis et al., 1995) แนะนำให้พลิกตัวผู้ป่วยทุก ๆ 2 ชั่วโมง ซึ่งการพลิกตัวแต่ละครั้งต้องใช้แรงผู้ช่วยเหลือ 1-2 คน และใช้เวลาต่อครั้งประมาณ 3.5 นาที ต่อผู้ป่วย 1 คน ซึ่งต้องทำทุก ๆ 2 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลาที่ผู้ป่วยนอนโรงพยาบาล

(Sawattikanon et al., 2018b) สำหรับแนวปฏิบัติสำหรับการพลิกตะแคงตัวผู้ป่วยในโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ มีรายละเอียดดังนี้ 1) ผู้ป่วยทั่วไปที่พลิกตัวเองได้ ไม่ใช้แรงงานคนเปลี่ยนท่าให้ 2) ผู้ป่วยที่พลิกตัวเองไม่ได้ เปลี่ยนท่านอนทุก ๆ 2 ชั่วโมง และ 3) ผู้ป่วยโควิด-19 ในหอผู้ป่วยเฉพาะกิจ (cohort ward) พลิกตัวทุก ๆ 2-4 ชั่วโมง ตามมาตรการการเว้นระยะห่างทางสังคม (physical distancing) (Sawattikanon et al., 2018a) การปรับเปลี่ยนท่าทางของผู้ป่วยเพื่อป้องกันแผลกดทับจึงเป็นภาระงานที่หนักและใช้ความพยายามอย่างสูงสำหรับบุคลากรและผู้ดูแลผู้ป่วย

อุปกรณ์ช่วยพลิกตัวสำหรับช่วยป้องกันแผลกดทับแบบอัตโนมัติ (ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์, 2559; Sawattikanon et al., 2018a; Uttarachon et al., 2019) มีหลักการควบคุมการเปลี่ยนท่านอนได้ 3 ท่า คือ ท่านอนหงาย ท่านอนตะแคงซ้าย ท่านอนตะแคงขวา 30 องศา โดยใช้ชุดถุงลมวางไว้ใต้ที่นอน ตั้งเวลาแต่ละท่าได้ไม่เกิน 120 นาที เมื่อนำมาทดสอบกับผู้ป่วยอัมพาตบาดเจ็บไขสันหลังส่วนคอที่ไม่สามารถพลิกตัวเองได้ จำนวน 6 ราย โดยให้นอนหงายนาน 24 ชั่วโมง พบว่า อุปกรณ์ดังกล่าวช่วยพลิกตัวแทนแรงงานคนได้และผู้ป่วยมีความพึงพอใจในการพลิกตัว อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาและตำแหน่งของปุ่มกระดูกของผู้ป่วยที่หากนอนนาน ๆ หากปุ่มกระดูกเหล่านี้ยังมีแรงกดทับอยู่จะทำให้เกิดแผลกดทับตามมาได้เช่นกัน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับวัดแรงกดแบบไร้สายสำหรับที่นอนร่วมกับการลดแรงกดอัตโนมัติโดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนท่าทาง เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการระบุตำแหน่งและปรับผู้ป่วยที่นอนเป็นเวลานาน ๆ ให้หลีกเลี่ยงแรงกดทับที่อวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายโดยอัตโนมัติ เครื่องต้นแบบนี้ได้รับแนวคิดมาจากชุดอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกดฝ่าเท้าและสมดุลร่างกายของ ผศ. ดร.ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์ (Medical Advisory Secretariat, 2009) และแนวคิดใหม่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศที่มุ่งเป้าไปที่การเพิ่มขีดความสามารถของผู้คนโดยใช้สภาพแวดล้อมดิจิทัลที่มีความอ่อนไหว ปรับตัวได้ และตอบสนองต่อความต้องการ นิสัย ท่าทาง และอารมณ์ของมนุษย์ ในอนาคตของสภาพแวดล้อมในชีวิตประจำวันนี้จะทำให้เกิดการโต้ตอบระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักรที่สร้างสรรค์ซึ่งมีลักษณะการสื่อสารที่แพร่หลาย โดยวิธีการปัญญาประดิษฐ์ที่ทันสมัยใช้สำหรับการพัฒนาระบบเพื่อการดูแลสุขภาพ (Acampora et al., 2013) โดยในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาพบเทคโนโลยีช่วยเหลือผู้สูงอายุได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วเนื่องจากสังคมผู้สูงอายุมีจำนวนผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น ประชากรผู้สูงอายุ ค่าใช้จ่ายด้านการดูแลสุขภาพที่เพิ่มขึ้น และภาระของผู้ดูแล ล้วนเป็นแรงผลักดันให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีช่วยเหลือผู้สูงอายุที่สร้างสรรค์เพื่อความปลอดภัยและความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นสำหรับผู้สูงอายุ โดยมีแนวความคิดใช้ปัญญาประดิษฐ์ และรวมถึงพิจารณาถึงความท้าทายในปัจจุบันและอนาคต (Rashidi & Mihailidis, 2013)

5. ผลการศึกษา

การศึกษานี้มีผู้เข้าร่วมการศึกษาทั้งหมด 8 คน เป็นผู้ป่วยที่ไขสันหลังได้รับบาดเจ็บอัมพาตประเภท tetraplegia ระดับกระดูกสันหลังคอที่ขยับร่างกายได้ลำบาก เป็นเพศหญิง 1 คน และเพศชาย 7 คน อายุระหว่าง 26-78 ปี น้ำหนักระหว่าง 38-75 กิโลกรัม และส่วนสูงระหว่าง 158-180 เซนติเมตร คุณลักษณะของผู้เข้าร่วมการศึกษาแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงคุณลักษณะของผู้เข้าร่วมการศึกษาจำนวน 8 คน

คุณลักษณะของผู้เข้าร่วมการศึกษา	จำนวนคน (ร้อยละ) / ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เพศ หญิง : ชาย	1 (12.5) : 7 (87.5)
ประเภท C3A : C4A : C4C : C5A : C5C	1 (12.5) : 2 (25.0) : 2 (25.0) : 2 (25.0) : 1 (12.5)
อายุ (ปี)	46.75±16.64
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	57.38±14.43
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	167±7.45

ค่าแรงกดทับบนปุ่มกระดูกของส่วนต่างๆ ของร่างกายขณะนอนหงายและนอนตะแคงแสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ในท่านอนหงาย (ตารางที่ 2) พบว่า บริเวณที่เกิดแรงกดทับเฉลี่ยสูงสุดคือกระดูกกระเบนเหน็บ โดยมีค่าแรงกดทับสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 126.88 ± 64.99 มิลลิเมตรปรอท รองลงมาคือกระดูกสะบักข้างขวาและซ้าย (77.50 ± 20.30 และ 77.13 ± 10.26 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ) ตามมาด้วยส้นเท้าข้างซ้าย (62.88 ± 17.15 มิลลิเมตรปรอท), ปุ่มกระดูกท้ายทอย (occiput) (53.88 ± 15.25 มิลลิเมตรปรอท) และส้นเท้าข้างขวา (53.38 ± 25.87 มิลลิเมตรปรอท)

ตารางที่ 2 แรงกดทับที่วัดได้จากเตียงปรับแรงอัตโนมัติในท่านอนหงาย

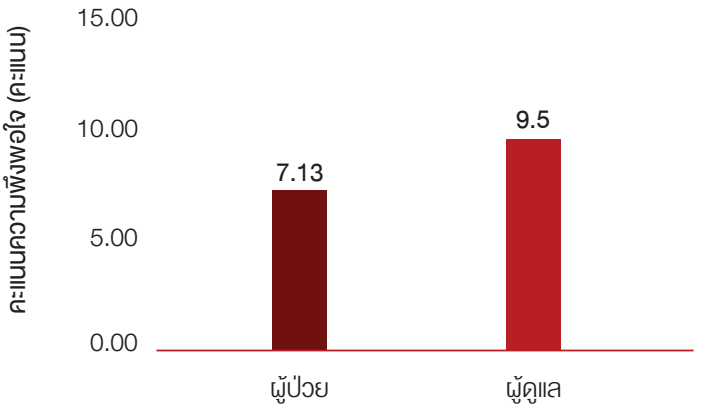
ตำแหน่งปุ่มกระดูก	แรงกดทับ (มิลลิเมตรปรอท)		
	ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยสูงสุด
ท้ายทอย (occiput)	0	15.89±9.17	53.88±15.25
สะบักขวา (Rt spine of scapular)	30.50±15.77	50.90±12.84	77.50±20.30
สะบักซ้าย (Lt spine of scapular)	40.13±10.62	56.47±6.56	77.13±10.26
กระเบนเหน็บ (sacrum)	31.75±13.36	65.10±24.10	126.88±64.99
ส้นเท้าขวา (Rt heel)	4.25±8.03	14.03±15.58	53.38±25.87
ส้นเท้าซ้าย (Lt heel)	6.88±12.73	31.12±16.62	62.88±17.15

ในขณะนอนตะแคงขวา (ตารางที่ 3) พบว่า บริเวณที่เกิดแรงกดทับเฉลี่ยสูงสุดคือปุ่มกระดูกสะโพก โดยมีค่าแรงกดทับสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 123.00 ± 46.60 มิลลิเมตรปรอท รองลงมาคือหัวไหล่ (73.50 ± 19.32 มิลลิเมตรปรอท) ลำดับถัดมาคือหู (58.38 ± 22.19 มิลลิเมตรปรอท) ตาตุ่ม (45.00 ± 26.27 มิลลิเมตรปรอท) ปุ่มกระดูกหน้าแข้ง (42.13 ± 21.16 มิลลิเมตรปรอท) และกระดูกขมับ (40.00 ± 16.13 มิลลิเมตรปรอท)

ตารางที่ 3 แรงกดทับที่วัดได้จากเตียงปรับแรงอัตโนมัติในท่านอนตะแคงขวา

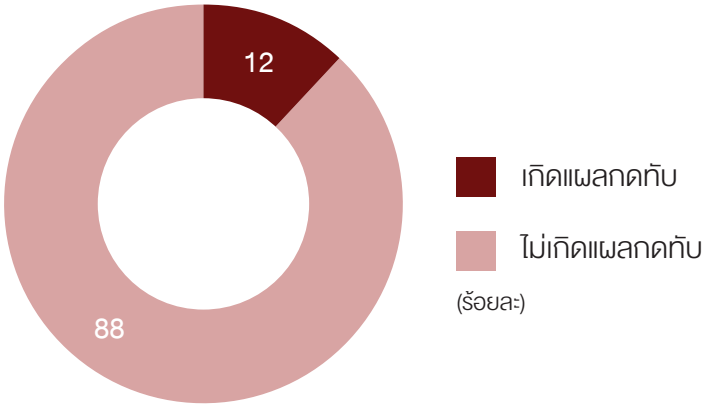
ตำแหน่งปุ่มกระดูก	แรงกดทับ (มิลลิเมตรปรอท)		
	ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยสูงสุด
กระดูกขมับ (temporal)	0	14.24±8.12	40.00±16.13
หูข้างขวา (Rt ear)	13.25±14.61	30.20±15.49	58.38±22.19
หัวไหล่ขวา (Rt acromion)	23.25±9.95	47.29±7.37	73.50±19.32
ปุ่มกระดูกสะโพกขวา (Rt greater trochanter)	23.50±12.44	54.12±5.39	123.00±46.60
ปุ่มกระดูกหน้าแข้งขวา (Rt fibular)	2.88±8.13	16.24±13.82	42.13±21.16
ตาตุ่มขวา (Rt malleolus)	0	15.59±12.74	45.00±26.27

คะแนนความพึงพอใจต่อการใช้งานอุปกรณ์ของผู้ป่วยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.13±1.13 คะแนน และผู้ดูแลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.5±1.07 คะแนน ดังภาพที่ 7 ได้มีการทดสอบ normal distribution โดยใช้ Shapiro-wilk test พบว่า มีค่า $p>0.05$ จึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยสถิติ independent t-test พบว่า ผู้ดูแลมีความพึงพอใจมากกว่าผู้ป่วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$)



ภาพที่ 7 คะแนนความพึงพอใจของผู้ป่วยและผู้ดูแลที่เข้าร่วมการศึกษา

หลังจากสิ้นสุดการทดลอง 4 ชั่วโมง จากผู้เข้าร่วมการศึกษาทั้งหมด 8 คน มีผู้เข้าร่วมการศึกษา 1 คน เกิดรอยแดงซึ่งเป็นอาการเริ่มต้นของแผลกดทับที่บริเวณปุ่มกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ ดังภาพที่ 8 จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Chi-square test พบว่า สัดส่วนผู้เข้าร่วมศึกษาที่ไม่เกิดแผลกดทับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.034)



ภาพที่ 8 ผลการเกิดแผลกดทับหลังจากนอนหงายและตะแคงขวาเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

6. การอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบอุปกรณ์ปัญญาประดิษฐ์แผ่นวัดแรงกดของร่างกายในท่านอนหงายและนอนตะแคงสำหรับป้องกันแผลกดทับ แรงกดทับที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าตั้งแต่ 0-272 มิลลิเมตรปรอท ในท่านอนหงาย โดยมีค่ามากที่สุดที่ปุ่มกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (10-272 มิลลิเมตรปรอท) และ 0-219 มิลลิเมตรปรอท ในท่านอนตะแคงขวา โดยมีค่ามากที่สุดที่ปุ่มกระดูกข้อสะโพก (10-219 มิลลิเมตรปรอท) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้าที่พบบริเวณที่ทำให้เกิดแผลกดทับได้บ่อยที่สุดคือบริเวณปุ่มกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บและข้อสะโพกเช่นกัน (Medical Advisory Secretariat, 2009; Uttarachon et al., 2019) ดังนั้น เครื่องต้นแบบอุปกรณ์ปัญญาประดิษฐ์แผ่นวัดแรงกดของร่างกายสามารถวัดแรงกดทับได้ตามการศึกษาก่อนหน้า แต่อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยแรงกดทับของการศึกษานี้ยังคงมีค่ามากกว่า 35 มิลลิเมตรปรอท (Reswick & Rogers, 1976) ดังนั้น อาจจะต้องมีการปรับการตั้งค่าแรงกดให้ได้ค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 35 มิลลิเมตรปรอท

แผลกดทับเกิดขึ้นเนื่องจากแรงกดและระยะเวลาที่รับแรงกดอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์ต้นแบบในการศึกษานี้มีกลไกในการประเมินแรงกดทับของผู้เข้าร่วมการศึกษาตลอดเวลา จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงกดตลอดเวลา ส่งผลให้มีแรงกดบนปุ่มกระดูกไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้มีโอกาสเกิดแผลกดทับน้อยลง ดังผลการศึกษาที่พบว่าจากผู้เข้าร่วมการศึกษา 8 คน มีเพียงผู้เข้าร่วมการศึกษา 1 คน (ร้อยละ 12) ที่เกิดรอยแผลกดทับหลังจากนอนหงาย

และนอนตะแคงเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยเกิดรอยแดงที่บริเวณปุ่มกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ อาจจะเป็นความผิดพลาดของเครื่องก็ได้ เพราะหากดูจากน้ำหนักตัวก็อยู่ในเกณฑ์ที่น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวของกลุ่มอาสาสมัครที่เข้าร่วมการศึกษาครั้งนี้ (น้ำหนักตัวของอาสาสมัครเท่ากับ 52 กิโลกรัม น้ำหนักเฉลี่ยของกลุ่ม 57.38±14.43 กิโลกรัม) ดังนั้น การศึกษาในครั้งต่อไปต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือ (calibration) ต่อไป

การใช้งานของอุปกรณ์ต้นแบบนี้ยังพบว่า ผู้ป่วยมีคะแนนความพึงพอใจน้อยกว่าผู้ดูแล ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากที่นอนที่มีลักษณะเป็นลอนกระเปาะเพื่อที่ใส่ลมสำหรับปรับแรงกด จึงทำให้ผู้ป่วยรู้สึกไม่ราบเรียบและนอนไม่สบาย ส่วนผู้ดูแลไม่ต้องช่วยเหลือในการพลิกตัวผู้ป่วย จึงคาดว่าน่าจะทำให้ผู้ดูแลมีความพึงพอใจมาก ถึงแม้ว่าจะมีคู่มือในการติดตั้งและจัดการอุปกรณ์ แต่การศึกษานี้ได้กำหนดให้นักกายภาพบำบัดเป็นผู้ดำเนินการทั้งหมด จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อโดยให้ผู้ดูแลเป็นผู้ใช้งานอุปกรณ์โดยตรง เพื่อประเมินความสะดวกในการใช้งานจริง

7. ข้อสรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ต้นแบบมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดและควบคุมแรงกดทับได้ อีกทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดแผลกดทับ ทำให้เพิ่มความสะดวกให้กับผู้ดูแล และเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์ แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังคงต้องพัฒนาต่อในเรื่องของการควบคุมแรงกดทับให้น้อยกว่า 35 มิลลิเมตรปรอท และความง่ายต่อการนำไปใช้ในผู้ดูแล การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้มีการขอจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ดังรหัสเอกสารที่แสดงดังต่อไปนี้ Study Code: NONE-2566-0243

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

การปรับการตั้งค่าแรงกดให้ได้ค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 35 มิลลิเมตรปรอท และการศึกษาในครั้งต่อไปต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือ เนื่องจากการศึกษานี้ได้กำหนดให้นักกายภาพบำบัดเป็นผู้ดำเนินการทั้งหมด จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อโดยให้ผู้ดูแลเป็นผู้ใช้งานอุปกรณ์โดยตรง

8.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับกิจการสื่อสารดิจิทัล

ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีแบ่งออกเป็น 9 ระดับ (TRL1-TRL9) ปัจจุบันโครงการวิจัยนี้อยู่ที่ TRL7 หากได้รับทุนสนับสนุนเพิ่มเติมเพื่อต่อยอดงานวิจัยให้สามารถพัฒนาไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐานสากล (TRL9) ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาแพงและผู้ป่วยที่มีรายได้น้อยที่มีจำนวนมากในประเทศสามารถเข้าถึงเครื่องมืออุปกรณ์นี้ได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (สำนักงาน กสทช.) ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนสถานที่ในการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณ กภ.ณรงค์รัตน์ สวัสติกานนท์ นักกายภาพบำบัด จากภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับการดำเนินงานการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างยิ่ง

รายการเอกสารอ้างอิง

ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์. (2559). *ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกดฝ่าเท้าและสมดุลร่างกาย.* สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=23830

Acampora, G., Cook, D. J., Rashidi, P., & Vasilakos, A. V. (2013). A survey on ambient intelligence in healthcare. *Proceedings of the IEEE, 101*(12), 2470-2494.https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2262913

Afzali Borojeny, L., Albatineh, A. N., Hasanpour Dehkordi, A., & Ghanei Gheshlagh, R. (2020). The incidence of pressure ulcers and its associations in different wards of the hospital: A systematic review and meta-analysis. *International journal of preventive medicine, 11*, 171. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_182_19

Aronovitch, S. A. (2007). Intraoperatively acquired pressure ulcers: are there common risk factors?. *Ostomy/Wound Management, 53*(2), 57-69. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17293630/

Defloor, T. (2000). The effect of position and mattress on interface pressure. *Applied Nursing Research, 13*(1), 2-11. https://doi.org/10.1016/s0897-1897(00)80013-0

Kammuang-lue, P., & Kovindha, A. (2012). 3-year retrospective study on total admission charge of spinal cord injured patients with pressure ulcer at Rehabilitation Ward, Maharaj Nakorn Chiang Mai Hospital. *The ASEAN Journal of Rehabilitation Medicine, 22*(2), 58-63. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/aseanjrm/article/view/42349

Li, Z., Lin, F., Thalib, L., & Chaboyer, W. (2020). Global prevalence and incidence of pressure injuries in hospitalised adult patients: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Nursing Studies, 105*, 103546. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2020.103546

Medical Advisory Secretariat. (2009). Management of chronic pressure ulcers: an evidence-based analysis. *Ontario Health Technology Assessment Series, 9*(3), 1-203. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23074533/

Padula, W. V., & Delarmente, B. A. (2019). The national cost of hospital-acquired pressure injuries in the United States. *International Wound Journal, 16*(3), 634-640. https://doi.org/10.1111/iwj.13071

Rashidi, P., & Mihailidis, A. (2013). A survey on ambient-assisted living tools for older adults. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 17*(3), 579-590 https://doi.org/10.1109/JBHI.2012.2234129

Reswick, J. B., & Rogers, J. E. (1976). Experience at Rancho Los Amigos Hospital with devices and techniques to prevent pressure sores. In R. M. Kenedi, & J. M. Cowden (Eds.), *Bed sore biomechanics Strathclyde bioengineering seminars* (pp. 301-310). Palgrave Macmillan. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-349-02492-6_38

Sawattikanon, N., Uttrarachon, K., & Kovindha, A. (2018a). Does a prototype of an automatic mattress turning device work with various types of hospital mattresses?. *The ASEAN Journal of Rehabilitation Medicine, 28*(3). 101-105. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/aseanjrm/article/view/143070

Sawattikanon, N., Uttrarachon, K., Pongvuthithum, R., Sucharitakul, T., & Rangsri, W. (2018b). A prototype of automatic mattress turning device for pressure ulcer prevention. *Journal of Associated Medical Sciences, 52*(1), 89-92. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/bulletinAMS/article/view/119291

Schoonhoven, L., Defloor, T., & Grypdonck, M. H. (2002). Incidence of pressure ulcers due to surgery. *Journal of Clinical Nursing, 11*(4), 479-487. https://doi.org/10.1046/j.1365-2702.2002.00621.x

Uttarachon, K., Sawattiganont, N., & Kovindha, A. (2019). A prototype of an automatic mattress turning device: a study of Interface pressure at bony prominences in normal subjects. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology, 24*(2), APST-24. https://doi.org/10.14456/apst.2019.11

Xakellis, G. C., Frantz, R., & Lewis, A. (1995). Cost of pressure ulcer prevention in long-term care. *Journal of the American Geriatrics Society, 43*(5), 496-501. https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1995.tb06095.x