

ประสิทธิภาพของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติเพื่อลดอาการเจ็บปวดและบวมในผู้ป่วย หลังผ่าตัดกระดูกสะโพกและกระดูกต้นขา ระยะที่ 1

ณัฐกานต์ คุณธร

รับบทความ: 27 กันยายน 2565; ส่งแก้ไข: 16 มกราคม 2566; ตอบรับ: 18 มกราคม 2566

บทคัดย่อ

บทนำ: การพยาบาลเพื่อลดอาการเจ็บปวดและบวมในผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกและข้อ รวมทั้งผู้ป่วยหลังผ่าตัดอื่น ๆ พบว่า เครื่องมือไม่มีความทันสมัย ยังใช้การประคบเย็นโดยการใช้เจลเย็นที่ต้องแช่ในตู้เย็น ทำให้การพยาบาลไม่ต่อเนื่อง และพบข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ การรักษาระดับความเย็นไม่ต่อเนื่อง มีปริมาณไม่เพียงพอ การนำมาใช้ซ้ำต้องใช้เวลาในการทำให้น้ำเย็น ผู้วิจัยจึงพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นนี้เพื่อใช้ในการดูแลผู้ป่วยหลังผ่าตัด

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของนวัตกรรมเครื่องประคบเย็นแบบอัตโนมัติเพื่อลดอาการเจ็บปวดและบวมในผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกสะโพกและกระดูกต้นขาในส่วน ระยะที่ 1 คือ ระบบทำความเย็นและระบบควบคุมการจ่ายน้ำเย็น

วิธีการดำเนินการวิจัย: พัฒนานวัตกรรมประคบเย็นแบบอัตโนมัติมี 2 ระยะ ครั้งนี้เป็นการทดสอบระยะที่ 1 ของระบบทำความเย็นและระบบควบคุมการจ่ายน้ำเย็น โดยตรวจสอบระยะเวลาทำความเย็นและวัดอุณหภูมิความเย็นหลังจากออกจากหน้าแผ่นประคบเย็นเทียบกับอุณหภูมิเครื่องผลิตความเย็นและเทียบกับอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ จากนั้นหาค่าร้อยละความต่างระหว่างอุณหภูมิที่ตั้งค่าในถังน้ำเย็นและหน้าแผ่นประคบเย็น และหาค่า paired samples t-test ของอุณหภูมิ ทดสอบจับเวลาการทำงาน

ผลการศึกษา: ระยะเวลาในการทำความเย็นของนวัตกรรมเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ แปรผันกับอุณหภูมิน้ำดังนี้ $Y = 0.0009x^2 - 0.2506x + 28.002$, ค่า $\bar{D}$ ของอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์กับอุณหภูมิในถังน้ำเย็นเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส และความสามารถผลิตความเย็นตรงตามที่ต้องการเฉลี่ย 100%, ค่า correlation = 0, ค่า $\bar{x}$ ของสูญเสียความเย็น 3.92 องศาเซลเซียส, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28, ค่า p-value = 0.00 ระบบทำตามคำสั่ง 20 นาที พัก 20 นาทีจริง

สรุป: อุณหภูมิของน้ำเย็นในถังและค่าอุณหภูมิที่ตั้งค่ามีความต่างไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส และระบบควบคุมอัตโนมัติการจ่ายน้ำของนวัตกรรมเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ สามารถทำงานตามคำสั่ง 20 นาที พัก 20 นาทีได้จริง

คำสำคัญ: เครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ, ลดอาการเจ็บปวดและบวม, ผ่าตัดกระดูกสะโพกและกระดูกต้นขา.

The Effectiveness of innovative automatic cooling device compression on pain and swelling in patients who underwent hip and femoral surgery : Phase I

Nuttakarn Koonporn

Received: September 27, 2022; Received in revision: January 16, 2023; Accepted: January 18, 2023

Abstract

Background: The nursing care tool to reduce pain and swelling in patients after orthopedic surgery and other Procedures is often out of date. Using the cool gel for cold compression must be stored in the refrigerator. This causes the nursing care to be intermittent and there are several limitations, namely, continuous cooling, not enough time to cool. The researcher, therefore, developed this device to use in the care of patients after surgery.

Objective: To study the effectiveness of an innovative automatic cooling device compression for reducing pain and swelling. Phase 1 study of this device is to develop a cooling system and a cold water supply control system.

Material and methods: We developed an innovative automatic cooling device compression and tested the first phase of the cooling system and the cold water supply control system. We also checked the cooling time and measuring the cooling temperature after leaving the surface of the cold compression against the temperature of the chiller and compared with the set temperature at the compressor. The percentage difference between the temperature set in the cold water tank and the surface of the cold pack was performed and tested by paired samples t-test of temperature and the working time.

Result: The cooling time of the automatic cooling device compression innovation varied with the water temperature with the formula $Y = 0.0009x^2 - 0.2506x + 28.002$, $\bar{D}$ value of the set temperature at the compressor with the temperature in the cold water tank was 0 Celsius and the ability to produce cooling exactly as needed on average 100%, The value of correlation = 0, $\bar{x}$ value of cooling loss 3.92°C, p -value = 0.00. The system followed orders for 20 minutes and took a 20-minute break.

Conclusion: The temperature of the cold water in the took and the set temperature was not different more than 5 degrees Celsius. The automatic control system of the water supply of the automatic cold compress innovation are able to work as instructed for 20 minutes, and take a 20-minute break.

Keywords: automatic cooling device compression, reducing pain and swelling, hip and femoral surgery

บทนำ

ความเจ็บปวดเป็นส่วนหนึ่งของความทุกข์ทรมาน International Association for the Study of Pain นิยาม “ความเจ็บปวด” ว่าเป็น “ประสบการณ์ทางประสาทสัมผัสและอารมณ์อันไม่พึงประสงค์ที่อาจเกี่ยวกับความเสียหายของเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นจริงหรือสามารถอธิบายความเกี่ยวข้องได้”^[1] ดังนั้น ความปวดเป็นสิ่งที่ทำให้ผู้คนกลัวมากที่สุดรองมาจากความตาย^[2] ความเจ็บปวดแบบเฉียบพลัน คือ ผลจากการที่ร่างกายได้รับการบาดเจ็บ การผ่าตัดหรือถูกสิ่งอื่นที่ลักษณะใกล้เคียงกัน กระทำจนเกิดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อทันทีทันใดหลังจากนั้นความปวดจะหายไปเองโดยธรรมชาติหรือได้รับการรักษาจนความปวดนั้นสิ้นสุดลงในระยะเวลา 6 เดือน หรือน้อยกว่านั้น^[3] ซึ่งความเจ็บปวดแบบเฉียบพลันนี้จะพบมากในผู้ป่วยหลังผ่าตัดทุกราย^[4] ความเจ็บปวดหลังผ่าตัดจะพบความรุนแรงมากในช่วงเวลา 6 - 72 ชั่วโมงหลังผ่าตัด^[5] ซึ่งการเคลื่อนไหวหรือการทากิจวัตรประจำวันหลังผ่าตัดเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความเจ็บปวดเพิ่มขึ้นในผู้ป่วยศัลยกรรมกระดูกและข้อที่ได้รับการรักษาด้วยการผ่าตัด พบว่า ^[6] ความเจ็บปวดหลังการผ่าตัดกระดูกนั้นจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของกระดูกที่ถูกตัดออก เช่น การทำ Total Hip Arthroplasty (THA) และ Total Knee Arthroplasty (TKA) ซึ่งหากมีการตัดกระดูกออกมาก จะมีความเจ็บปวดได้มากหลังการผ่าตัด^[7] อาการปวดเป็นกลไกสำคัญที่ร่างกายรับรู้ถึงความเสียหาย ณ ตำแหน่งนั้นทำให้เราสามารถถอนตัวเพื่อไม่ให้เกิดการบาดเจ็บมากขึ้น ต่อมาจะเกิดการอักเสบที่ยาวนานจะช่วยให้ร่างกายระงับพื้นที่ส่วนนั้น เพื่อให้ร่างกายซ่อมแซมส่วนที่เสียหายให้กลับมาทำงานได้ปกติ^[8] หากเราสามารถลดความเจ็บปวดเหล่านี้ จะทำให้ผู้ป่วย ปลอดภัย

ฟื้นตัวได้เร็วหลังการผ่าตัด มีความสุขสบาย และพอใจกับผลการรักษา^[6]

ความปวดเกิดจากกลไกการปิด-เปิด ประตุมิติความเกี่ยวข้องกับการส่งผ่านกระแสประสาทของความเจ็บปวด (pain impulses) ยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ว่าการรับส่งสัญญาณจะมีการผ่านประตู และประตูสามารถเปิดและปิดได้ ถ้าประตูปิดคือจะทำให้ไม่รู้สึถึงถึงความเจ็บปวด แต่ถ้าประตูเปิดจะมีการส่งสัญญาณพลังประสาทในระดับไขสันหลังไปยังสมองทำให้รู้สึกปวด แต่ถ้าประตูเปิดบางส่วน แสดงว่ามีความปวดเล็กน้อย ซึ่งความปวดจะส่งผลให้ผู้ป่วยแสดงพฤติกรรมสีหน้าท่าทาง หน้าคิ้วขมวด กระวนกระวาย กระสับกระส่าย หายใจเร็วและแรง นอนไม่หลับ โดยทฤษฎีนี้ เมลแซคและวอลล์กล่าวไว้^[9]

การผ่าตัดมีผลต่อการเกิด ความเจ็บปวดและบวมอักเสบได้ ซึ่งการบวมอักเสบ (inflammation) เป็นกระบวนการที่ร่างกายตอบสนองต่อการบาดเจ็บ การติดเชื้อ การตายของเซลล์ที่มีสาเหตุจากการขาดเลือดหรือขาดออกซิเจน โดยมีการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือด ร่วมกับเซลล์เม็ดเลือดขาวเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะเกิดการขยายตัวของหลอดเลือด (vasodilate) ส่งผลให้เกิดการรั่วของสารน้ำและโปรตีนออกมาสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ เรียกว่า ภาวะบวมน้ำ (edema)^[10] การอักเสบเฉียบพลันจะเกิดขึ้นรวดเร็ว ภายในระยะเวลาเป็นวินาทีหรือเป็นนาทีหลังจากได้รับสิ่งกระตุ้น และคงอยู่ประมาณ 2 ถึง 3 วัน แต่มักไม่เกิน 1 สัปดาห์^[10]

ปัจจุบันมีจำนวนผู้ป่วยสูงอายุมารับการผ่าตัดกระดูกและข้อเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากอายุเฉลี่ยของคนสูงขึ้น โดยประชากรกลุ่มนี้ ร้อยละ 60 มักมีโรคประจำตัวอย่างน้อย 1-2 โรค⁷ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีภาวะแทรกซ้อนและอัตรา

ตายสูงกว่าผู้ป่วยอายุน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ป่วยสูงอายุที่มีกระดูกสะโพกหัก^[7] ซึ่งความปวดจะส่งผลให้การฟื้นตัวช้าลงหากไม่จัดการความเจ็บปวดโดยเร็ว ดังนั้น เป้าหมายการพยาบาลที่สำคัญในการดูแลผู้ป่วยสูงอายุที่มารับการผ่าตัดคือ ช่วยให้ผู้ป่วยมีการฟื้นตัวอย่างรวดเร็ว และหลีกเลี่ยงการสูญเสียหน้าที่ของอวัยวะในร่างกาย เพื่อให้ผู้ป่วยกลับไปใช้ชีวิตได้ตามปกติ โดยมีภาวะแทรกซ้อนน้อยและเคลื่อนไหวได้⁷ ดังนั้น การดูแลผู้ป่วยหลังการผ่าตัดในกลุ่มผู้ป่วยสูงอายุจึงต้องการ การดูแลมากเป็นพิเศษทั้งเรื่องการฟื้นตัวหลังผ่าตัดอย่างรวดเร็วและผิวหนังของผู้สูงอายุนั้นบอบบางมาก การดูแลช่วงระหว่างการผ่าตัดนั้นจึงสำคัญมากหากมีอุปกรณ์ในการเข้ามาช่วยร่วมรักษา

เนื่องจากการพยาบาลผู้ป่วยวิกฤตวิสัยทัศน์ ที่โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ เป็นหอผู้ป่วยที่มีหน้าที่รับดูแลให้การพยาบาลผู้ป่วยที่ผ่าตัดกระดูกและข้อ, สูติกรรมและนรีเวชกรรม, หู ตา คอ จมูก และทันตกรรม ส่วนใหญ่ รับผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกและข้อ เนื่องจากมีการผ่าตัดเป็นจำนวนมาก

จากสถิติข้อมูลการรับผู้ป่วยหลังการผ่าตัดกระดูกและข้อของหน่วยงาน งานการพยาบาลผู้ป่วยวิกฤตวิสัยทัศน์ โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ พบว่า ในปีงบประมาณ 2563 และ 2564 จำนวนผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดจำนวน 287 ราย และ 153 ราย ตามลำดับและจำแนกเป็นผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกสะโพกจำนวน 108 และ 94 รายตามลำดับ ผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกต้นขาจำนวน 107 และ 34 ราย ตามลำดับ ซึ่ง ผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดกระดูกสะโพกและต้นขาในโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติส่วนใหญ่ ร้อยละ 80 เป็นผู้ป่วยสูงอายุ อายุ 65

ปีขึ้นไป และจากการประเมินความเจ็บปวดโดยใช้เครื่องมือประเมินความเจ็บปวด VAS พบว่าระดับความปวดอยู่ที่ระดับ 7-8 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80 ของผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกสะโพกและต้นขา

จากการสำรวจของผู้วิจัย พบว่า ผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกสะโพกและต้นขาทุกรายได้รับการประคบเย็นด้วยเจลเย็นสำเร็จรูป เพื่อลดอาการเจ็บปวดและบวมในการร่วมรักษาเพื่อลดอาการเจ็บปวด บวม ร้อน บริเวณตำแหน่งที่ผ่าตัด

การนำบทบาทอิสระทางการพยาบาลมาใช้ ร่วมกับการใช้ยาระงับปวดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการจัดการความเจ็บปวดและการบวม ด้วยการประคบด้วยความเย็นบริเวณที่บาดเจ็บสามารถช่วยลดการบวมและอักเสบของแผลผ่าตัดได้อีกทั้งยังกระตุ้นไยประสาทขนาดใหญ่ ส่งผลทำให้รบกวนการส่งกระแสประสาทของใยประสาทขนาดเล็ก ที่นำความเจ็บปวดเข้ามาสู่ไขสันหลัง ส่งผลให้ไม่มีสัญญาณความเจ็บปวดจากใยประสาทขนาดเล็ก ส่งไปยังสมองและทำให้สมองไม่รับรู้ความเจ็บปวด^[9]

ในผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกและข้อทุกรายมีความเจ็บปวดและมีการบาดเจ็บบริเวณที่ผ่าตัดเป็นอันมาก ก่อให้เกิดการบวมอักเสบตามมา ทางกายภาพจะใช้หลักการดูแลเพื่อลดความเจ็บปวดและบวม โดยใช้ความเย็นเข้ามารักษา ร่วม การที่จะใช้ความเย็นที่มีประสิทธิภาพได้ดีจะต้องมีความเย็นที่คงที่และได้รับการประคบเย็นอย่างต่อเนื่อง

ปัจจุบันในโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ยังใช้เจลเย็นประคบสำเร็จรูปซึ่งเจลเย็นประคบสำเร็จรูป จากการสังเกต การแช่เย็นเจลเย็นเพื่อให้เกิดความเย็นนั้นจะต้องใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง หลังนำมาใช้ พบว่า

เจลเย็นประคบสำเร็จรูปไม่สามารถอยู่ได้นาน ทำให้ผู้ป่วยไม่ได้รับการประคบเย็นต่อเนื่อง และด้วยข้อจำกัดอื่น ๆ ได้แก่ ในกลุ่มผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกและข้อที่มีระบบการไหลเวียนไม่คงที่ (hemodynamic instability) หรือ ผู้ป่วยที่ต้องการ การผ่าตัดสังเกตการหายใจอย่างใกล้ชิด อาจทำให้ผู้ป่วยรายนั้นไม่ได้รับการประคบเย็นอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง เหตุนี้นำมาสู่ที่มาของการคิดค้นนวัตกรรมที่ช่วยให้ผู้ป่วยได้รับการประคบเย็นอย่างต่อเนื่อง มีความเย็นคงที่ ได้มาตรฐาน และลดความเจ็บปวดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการวิจัย^[11] เชงทดลองแบบสุ่มโดยใช้ผ้าพันแผลแบบประคบเย็นต่อความเจ็บปวด บวม และอุณหภูมิของผิวหนัง 24 ชั่วโมงแรกหลังการผ่าตัดข้อไหล่แบบอยู่กับที่ และเปรียบเทียบกับ การรักษาด้วยความเย็นโดยใช้เพียง เจลเย็นประคบสำเร็จรูป ผลการศึกษา พบว่า ความเจ็บปวดระหว่างทำกิจกรรมลดลงอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่สวมผ้าพันแผลประคบเย็นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ประคบเย็นด้วย เจลเย็นประคบสำเร็จรูปอย่างเดียว ($p\text{-value} = 0.026$)^[11]

จากผลการจัดการความเจ็บปวดด้วยการให้ข้อมูลความรู้และเทคนิคจัดการความเจ็บปวดรวมกับการประคบเย็นในผู้ป่วยหลังผ่าตัดยึดตรึงกระดูกขา^[12] ผลการศึกษา พบว่า คะแนนความเจ็บปวดเฉลี่ยของกลุ่มทดลองมีคะแนนน้อยกว่ากลุ่มควบคุม โดยทั้งสองกลุ่มมีความเจ็บปวดเริ่มลดลงต่อเนื่องในชั่วโมงที่ 16 เมื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยความเจ็บปวดของกลุ่มทดลองต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.01$) ความถี่ของการได้รับยาลดความเจ็บปวดกลุ่มทดลองเฉลี่ย 1.58 ครั้ง และกลุ่มควบคุมเฉลี่ย 2.50 ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.016$) ระยะเวลาที่สามารถจัดการความเจ็บปวดกลุ่มทดลอง 3.54 ชั่วโมง และกลุ่มควบคุม 11.50 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.01$)^[12]

จะเห็นได้ว่า การประคบเย็นลดความเจ็บปวด มีประสิทธิภาพที่ได้ผลได้ชัดเจนจริง ดังนั้น ผู้วิจัยคิดค้นนวัตกรรมประคบเย็นแบบอัตโนมัติต่อการลดความเจ็บปวดและบวม ร่วมกับการจัดการความเจ็บปวดในผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกสะโพกและผู้ป่วยหลังผ่าตัดต้นขาที่ โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ เพื่อให้สามารถจัดการอาการบวม และความเจ็บปวดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำให้ความเจ็บปวดและบวมบริเวณแผลผ่าตัดลดลง และอีกทั้งนวัตกรรมที่ผู้วิจัยคิดสามารถ นำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ (reuse) ในผู้ป่วยหลายราย ตามนโยบายของโรงพยาบาล TUH 4.0 เพื่อประชาชน สามารถสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ป่วย เครื่องนวัตกรรมประคบเย็นอัตโนมัติ ในการสร้างนวัตกรรมขึ้นนี้ หลักการสำคัญ คือ ตัวเครื่องนวัตกรรมประคบเย็นอัตโนมัติสามารถปรับอุณหภูมิได้ตรงตามกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์ และตัวเครื่องสามารถคงความเย็นได้จริงและอยู่ในระดับความพร้อมของเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรมที่ระดับ 6 (Technology Readiness Level 6)

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพนวัตกรรมประคบเย็นแบบอัตโนมัติเพื่อการลดความเจ็บปวดและบวม ระยะที่ 1 ในส่วนของระบบทำความเย็นและระบบควบคุมการจ่ายน้ำเย็น

ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้ ศึกษาประสิทธิภาพในส่วน of ระบบทำความเย็นและระบบควบคุมการจ่ายน้ำเย็น

สมมุติฐาน

1. เครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนของระบบทำความเย็นและระบบควบคุมการจ่ายน้ำเย็น ค่าอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์และในถังทำความเย็นที่ผลิตได้มีความต่างไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส

2. ระบบควบคุมอัตโนมัติการจ่ายน้ำจะสามารถทำงานตามคำสั่ง 20 นาที พัก 20 นาที ตรงตามโปรแกรมควบคุมที่ตั้งไว้ได้ ร้อยละ 100

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทบทวนข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการสร้างนวัตกรรม โดยการศึกษาผ่านทางผู้เชี่ยวชาญ วิศวกรและการออกแบบ ศึกษาวัสดุที่ให้ความคงทนต่อการใช้งาน

2. ออกแบบและสร้างต้นแบบนวัตกรรม

3. ร่างแบบที่ต้องการ

4. ติดต่ออาจารย์วิศวกรและทีมวิศวกรของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต สร้างเครื่องนวัตกรรมนี้

5. การเลือกวัสดุอุปกรณ์ ในการสร้างเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติหลัก ได้แก่ เครื่องทำความเย็น คอยล์เย็น สายยาง ป้อนน้ำ แผงควบคุมเวลา แผงวงจรไฟฟ้า หน้าจอแสดงผล LED แผ่นประคบเย็นอัตโนมัติ สายไฟ เครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ เป็นต้น โดยเน้นวัสดุคงทนต่อการใช้งาน สามารถทำอุณหภูมิได้ตามที่กำหนดไว้ซึ่งจัดหา โดยทีมวิศวกร

6. สร้างนวัตกรรมเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนระบบทำน้ำเย็นและจ่ายน้ำเย็น

7. ทดสอบนวัตกรรมและแก้ไขปรับปรุงนวัตกรรม

7.1 ทดสอบระยะเวลาในการทำ ความเย็นและวัดอุณหภูมิความเย็นหลังจากออกจาก

หน้าแผ่นประคบเย็นเทียบกับอุณหภูมิในถังน้ำเย็นผลิตความเย็นได้จริงและเทียบกับอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ โดยการเปิดเครื่องปรับความเย็นตามที่ต้องการ หลังจากนั้นใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer) วัดอุณหภูมิความเย็นในถังน้ำเย็นที่เครื่องส่งมายังคอยล์ทำความเย็น เทียบกับ หน้าแผ่นทำความเย็น โดยทดลองทดสอบเทียบกัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. หาค่าเฉลี่ยความต่างระหว่างอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์และอุณหภูมิในถังน้ำเย็นผลิตได้จริงและหาค่าร้อยละความสามารถในการทำ ความเย็น หาค่าเฉลี่ยความต่างระหว่างอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์และอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น หาค่าเฉลี่ยความต่างระหว่างอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้จริงกับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น และหาค่าสถิตินี้สำคัญระหว่างอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์และอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น และทำการหาค่า Paired Samples T-Test ของอุณหภูมิ

2. ทดสอบการทำงานของเครื่องว่าสามารถทำงานประคบเย็นได้ตามที่ตั้งค่ากำหนดไว้ได้หรือไม่โดยการจับเวลาการทำงานด้วยนาฬิกาจับเวลาเพื่อลดการเกิดภาวะแทรกซ้อนในการประคบเย็น ได้แก่ หลอดเลือดหดตัว (vasoconstrict) จนบริเวณส่วนนั้นม่วงคล้ำได้^[10] ดังนั้น ผู้วิจัยจึง

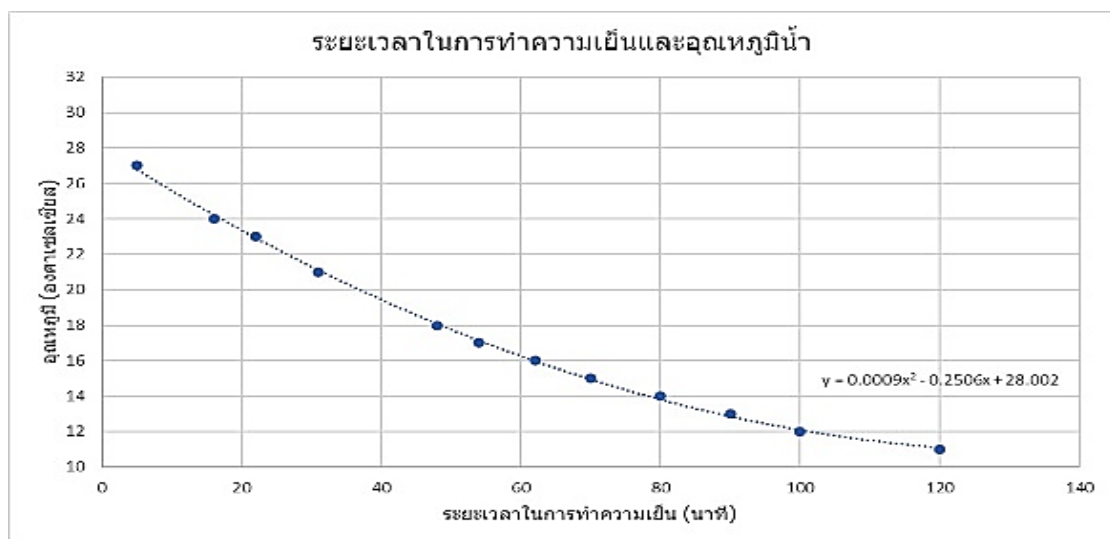
ทำการใส่คำสั่ง การพักขึ้นมา จากการทดลองเครื่องสามารถทำการจ่ายน้ำ 20 นาที พัก 20 นาที ได้ตามที่กำหนด โดยใช้ทฤษฎีควบคุมวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่ใช้ในการจับเวลา ซึ่งวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่ใช้ในการจับเวลา จะเป็นการใช้เครื่องตั้งเวลาดิจิทัล หรือ Digital Timer ซึ่งเป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่สามารถสร้างสัญญาณคาบ (periodic signals) โดยเครื่องตั้งเวลาดิจิทัลจะมีความแม่นยำกว่าเครื่องตั้งเวลาแบบปกติ โดยมีขนาดเล็กและสามารถส่งสัญญาณได้เมื่อถึงเวลาที่กำหนด^[17]

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนของการทำน้ำเย็นอัตโนมัตินี้ มีการทดสอบประสิทธิภาพในการทำน้ำเย็น โดยกำหนดอุณหภูมิที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ จากน้ำอุณหภูมิห้องปกติ 30 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้อง 32 องศาเซลเซียส และวัดระยะเวลาในการทำน้ำเย็นตามกำหนด พบว่า ระยะเวลาในการทำน้ำเย็นจะแปรผันกับอุณหภูมิห้อง และสามารถคิดแปรผันได้ตามสูตร $y = 0.0009x^2 - 0.2506x + 28.002$ นี้ (ตารางที่ 1 และกราฟที่ 1)

ตารางที่ 1 การหาระยะเวลาในการทำน้ำเย็นตามที่กำหนดอุณหภูมิที่เครื่องคอมเพรสเซอร์โดยตั้งต้นอุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบ	อุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ (°C)												
	9	11	12	13	14	15	16	17	18	21	23	24	27
ระยะเวลาที่ได้ (นาที)	150	120	100	90	80	70	62	52	48	30	22	16	5



กราฟที่ 1 แสดงการแปรผันของระยะเวลาในการทำน้ำเย็นและอุณหภูมิห้อง

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนของการทำน้ำเย็นอัตโนมัตินี้ เป็นการทดลองความสามารถในการทำน้ำเย็น โดยวัดค่าอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่เครื่องผลิตได้จริง เทียบกับอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ พบว่า อุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์

กับ อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่เครื่องผลิตได้ มีค่าอุณหภูมิความต่างระหว่างอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ กับ อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่เครื่องผลิตได้จริงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00 คือไม่ต่างกัน และความสามารถในการผลิตน้ำเย็นได้ตรงตามที่ต้องการเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ

100 (ดังตารางที่ 2) และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนของการทำน้ำเย็นอัตโนมัตินี้มีการทดลองความสามารถในการทำควมเย็น โดยวัดค่าอุณหภูมิที่หน้าแผ่นประคบเย็นเทียบกับอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์ พบว่า

อุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็นเพิ่มขึ้น มากกว่าอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์อยู่ที่ 4, 3, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียควมเย็นอยู่ที่ 3.92 องศาเซลเซียสส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 (ดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 การหาค่าเฉลี่ยความต่างระหว่าง อุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์และอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้และหาค่าร้อยละความสามารถในการทำควมเย็น

รายการที่ทดลอง	อุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์ (°C)												
	9	11	12	13	14	15	16	17	18	21	23	24	27
อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้จริง (°C)	9	11	12	13	14	15	16	17	18	21	23	24	27
ค่าความต่าง (°C)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ค่าเฉลี่ยความต่าง(°C)	0.00												
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00												
ความสามารถในการผลิตคิดเป็นร้อยละ	100												

หมายเหตุ: การทดสอบข้อมูลอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์, อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้จริงและข้อมูลอุณหภูมิที่หน้าแผ่นประคบเย็น เป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากการทดสอบด้วยสถิติ shaprio-wilk ได้ค่า p-value เท่ากับ 0.790, 0.790 และ 0.797 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 การหาค่าเฉลี่ยความต่างระหว่างอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์และอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น

รายการที่ทดลอง	อุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์ (°C)												
	9	11	12	13	14	15	16	17	18	21	23	24	27
อุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น(°C)	13	14	16	17	18	19	20	21	22	25	27	28	31
ค่าความเย็นที่สูญเสีย(°C)	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ค่าเฉลี่ยรวมของความเย็นที่สูญเสีย (°C)	3.92												
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.28												

หมายเหตุ: การทดสอบข้อมูลอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์, อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้จริงและข้อมูลอุณหภูมิที่หน้าแผ่นประคบเย็น เป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากการทดสอบด้วยสถิติ shaprio-wilk ได้ค่า p-value เท่ากับ 0.790, 0.790 และ 0.797 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 การหาค่าเฉลี่ยความต่างระหว่างอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่พัฒนาขึ้นจริงกับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น

รายการที่ทดลอง	อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้จริง (°C)												
	9	11	12	13	14	15	16	17	18	21	23	24	27
อุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น(°C)	13	14	16	17	18	19	20	21	22	25	27	28	31
ค่าความต่าง (°C)	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ค่าเฉลี่ยรวมของความเย็นที่สูญเสีย(°C)	3.92												
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.28												

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนของการทำน้ำเย็นอัตโนมัตินี้ มีการทดลองความสามารถในการทำความเย็น โดยวัดค่าอุณหภูมิที่หน้าแผ่นประคบเย็นเทียบกับอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่เครื่องผลิตออกมา พบว่า หลังจากอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น มากกว่าอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่เครื่องผลิตออกมาอยู่ที่ 4, 3, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับการทดลอง จึงได้ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียความเย็นอยู่ที่ 3.92 องศาเซลเซียส ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 ดังตารางที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์กับอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิต พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากันที่ 16.92 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 5.45 ส่วนอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น มีค่าเฉลี่ย 20.85 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 5.55 ดังตารางที่ 5

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยความต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่หน้าแผ่นประคบเย็นที่อุณหภูมิ 3.92 องศาเซลเซียสส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 จากจำนวนอุณหภูมิ 13 ค่า ดังตารางที่ 6 และจากการทดสอบวัดอุณหภูมิจากเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้กับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น และอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์กับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็นตามสมมติฐาน พบว่า

H0: การวัดอุณหภูมิในน้ำเย็นที่พื้นที่สัมผัสแตกต่างกันมีผลต่อค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไม่แตกต่างกัน

H1: การวัดอุณหภูมิในน้ำเย็นที่พื้นที่สัมผัสแตกต่างกันมีผลต่อค่าอุณหภูมิที่วัดได้แตกต่างกัน

ค่า $p\text{-value} = 0$ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.001 แสดงว่า การวัดอุณหภูมิที่พื้นที่สัมผัสของน้ำเย็นแตกต่างกันจะมีผลต่อค่าอุณหภูมิที่วัดได้แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิกำหนดที่คอมเพรสเซอร์กับอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้และอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็นด้วย paired samples t-test

การเปรียบเทียบอุณหภูมิ	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	p-value	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกำหนดที่คอมเพรสเซอร์กับอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้						
อุณหภูมิกำหนดที่คอมเพรสเซอร์	13	16.92	5.45	1.51	-	-
อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้	13	16.92	5.45	1.51		
เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกำหนดที่คอมเพรสเซอร์กับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น						
อุณหภูมิกำหนดที่คอมเพรสเซอร์	13	16.92	5.45	1.51	0.00	0.99
อุณหภูมิน้ำแผ่นประคบเย็น	13	20.85	5.55	1.54		
เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้กับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น						
อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้	13	16.92	5.45	1.51	0.00	0.99
อุณหภูมิน้ำแผ่นประคบเย็น	13	20.85	5.55	1.54		

จากการผลการเปรียบเทียบค่าความต่างของอุณหภูมิของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ พบว่า $p\text{-value} < 0.0001$ แสดงว่า การวัดอุณหภูมิในน้ำเย็นที่พื้นที่สัมผัส แตกต่างจุดกันมีผลต่อค่าอุณหภูมิที่วัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.00 ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบค่าความต่างของอุณหภูมิของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติกับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น ด้วย paired samples t-test

เปรียบเทียบค่าความต่างของอุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	p-value
อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้จริงกับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น	3.92	0.28	0.00
อุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์กับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น	3.92	0.28	0.00

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนของการควบคุมการจ่ายน้ำอัตโนมัติ โดยจับเวลาในการทำงานและการพักจ่ายน้ำ พบว่า เครื่องสามารถทำงานได้ตรงตามคำสั่งดังแสดงในตารางที่ 7 ดังนั้น คิดความสามารถในการจ่ายน้ำอัตโนมัติและพักจ่ายน้ำ คิดเป็น 100% และเครื่องประคบเย็นอัตโนมัตินี้ทางผู้วิจัยได้ทำการใส่ชุดคำสั่งในการประคบเย็นอัตโนมัติ โดยประคบ 20 นาที พัก 20 นาที สรุปได้ว่า เครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนระบบทำความเย็นสามารถทำงานได้ตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ ค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นในถังและค่าอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็นมีความต่างไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 6 และระบบควบคุมอัตโนมัติการจ่ายน้ำจะสามารถทำงานตามคำสั่ง 20 นาที พัก 20 นาที ตามโปรแกรมควบคุมที่ตั้งไว้ได้จริง ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนของการควบคุมการจ่ายน้ำอัตโนมัติ โดยจับเวลาในการทำงานและการพักจ่ายน้ำ

รายการที่	ช่วงเวลาจับเวลา (นาที)						
	0	10	10.01	20	20.01	30	30.01
ทดลอง							
ช่วงทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	หยุด	หยุด	หยุด
ช่วงพัก	หยุด	หยุด	หยุด	หยุด	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน

รายการที่	ช่วงเวลาจับเวลา (นาที)					
	40	40.01	50	50.01	60	60.01
ทดลอง						
ช่วงทำงาน	หยุด	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	หยุด
ช่วงพัก	ทำงาน	หยุด	หยุด	หยุด	หยุด	ทำงาน



ภาพที่ 1 ระบบภายในของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ

อภิปรายผล

จากความรู้ด้านความเจ็บปวดและอาการบวมที่เกิดภายหลังการผ่าตัด ทำให้เราทราบว่าการจัดการความเจ็บปวดและการบวม นั้น หากเราสามารถลดได้ จะทำให้ผู้ป่วยปลอดภัยฟื้นตัวได้เร็วหลังการผ่าตัด มีความสุขสบาย และพอใจกับผลการรักษา^[6] ดังนั้น การสร้างเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ จึงเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้ผู้ป่วยได้รับการประคบเย็นอย่างต่อเนื่องและได้รับอุณหภูมิคงที่เหมาะสมหลังจากสร้างเครื่องประคบเย็นได้ในส่วนของระบบทำความเย็นและระบบจ่ายน้ำเย็น จะมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ โดยศึกษาประสิทธิภาพเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติเพื่อลดอาการเจ็บปวดและบวมในผู้ป่วยหลังผ่าตัดกระดูกสะโพกและกระดูกต้นขา ระยะที่ 1 ทำให้ทราบว่าระยะเวลาในการทำความเย็นของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติจะแปรผันกับอุณหภูมิ น้ำด้วย การแปรผันได้ตามสูตร

$$y = 0.0009x^2 - 0.2506x + 28.002$$

หลักการทำน้ำเย็นของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัตินี้ ใช้เป็นระบบอัดไอ โดยหลักการของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติการทำความเย็นโดยอุปกรณ์ในระบบอัดไอหลัก มี 5 ส่วน ได้แก่ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ ถังพักสารทำความเย็นเหลว เอกซ์แพนชันวาล์ว และอีแวปอเรเตอร์ เป็นต้น^[13] จะทำงานเป็นวัฏจักรวงจรเกิดเป็นความเย็นขึ้นมาตามหลักการ คือ การทำให้สารทำความเย็นเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอเพื่อต้องการดูดความร้อนบริเวณรอบนอกมาใช้เป็นความร้อนแฝงเข้าไปด้านในคอยล์ ทำให้บริเวณผิวภายนอกคอยล์อุณหภูมิลดลง หรือเกิดความเย็นขึ้นมา^[13] ต่อมาหลังจากทดสอบเครื่องระบบทำน้ำเย็นของเครื่องประคบเย็น

อัตโนมัติ พบว่า อุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ กับ อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่เครื่องผลิตได้ มีค่าอุณหภูมิความต่างระหว่างเฉลี่ยเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00 คือ ไม่ต่างกัน แสดงว่าความสามารถในการผลิตความเย็นได้ตรงตามที่ต้องการเฉลี่ยคิดเป็น 100% ดังนั้น ค่าอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์กับที่ผลิตได้จริงในถังมีความต่างไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส ตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ และการทดสอบข้อมูลอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์, อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้จริงและข้อมูลอุณหภูมิที่หน้าแผ่นประคบเย็น ว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากการทดสอบด้วยสถิติ shapiro-wilk ได้ค่า p -value เท่ากับ 0.790, 0.790 และ 0.797 ตามลำดับ แสดงว่าสามารถแจกแจงได้ปกติดังนั้น จึงใช้ paired samples t-test ในการหาเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตและอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น

การที่ความร้อนจากหน้าแผ่นประคบเย็นถ่ายเทมายังน้ำเย็น จะใช้หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนจากอุณหภูมิสูงกว่าคือ อุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็นจะมีการถ่ายโอนเข้าไปหาน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยมีตัวกลางเป็นน้ำ จึงทำให้เกิดความสมดุลขึ้นมาเรียกว่าการนำความร้อนและหากหน้าแผ่นประคบเย็นมีความเย็นคือ อุณหภูมิต่ำกว่าสิ่งแวดล้อม จะสามารถแผ่รังสีความเย็นไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอกได้^[14] จากผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วน of ระบบทำน้ำเย็นอัตโนมัตินี้มีการทดลองความสามารถในการทำความเย็น โดยวัดค่าอุณหภูมิที่หน้าแผ่นประคบเย็นเทียบกับอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ พบว่า อุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็นเพิ่มขึ้น มากกว่าอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะ

ได้ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียความเย็นอยู่ที่ 3.92 องศาเซลเซียส ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 ดังนั้น การที่จะใช้เครื่องนี้แล้วต้องการให้ผู้ป่วยได้รับอุณหภูมิที่ต้องการเราจะลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 4 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะอุณหภูมิที่ต้องการอย่างแท้จริง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการประคบเย็นนั้นอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียส ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติในส่วนของการทำน้ำเย็นอัตโนมัตินี้มีการทดลองความสามารถในการทำ ความเย็น โดยวัดค่าอุณหภูมิที่หน้าแผ่นประคบเย็นเทียบกับอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่เครื่องผลิตได้จริง พบว่า หลังจากอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น มากกว่าอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่เครื่องผลิตออกมาค่าเฉลี่ยของการสูญเสียความเย็นอยู่ที่ 3.92 องศาเซลเซียส ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 เช่นกัน

การเคลื่อนที่ของความร้อนพลังงานความร้อนจากแผ่นประคบเย็นสู่ระบบไหลเวียนของน้ำเย็นของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ นั้น ความร้อนจะวิ่งไปสู่สารทำความเย็นโดยทิศทาง การไหลแบบบังคับ เรียกว่า การพาแบบ คอนจูเกต^[15] จากการทดสอบวัดอุณหภูมิจากเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้กับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็น และอุณหภูมิกำหนดที่เครื่องคอมเพรสเซอร์กับอุณหภูมิหน้าแผ่นประคบเย็นตามสมมติฐาน พบว่า ค่า $p\text{-value} = 0$ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.001 แสดงว่า การวัดอุณหภูมิที่พื้นที่สัมผัสของน้ำเย็นแตกต่างกันจะมีผลต่อค่าอุณหภูมิที่วัดได้แตกต่างกัน

จากตารางที่ 6 จากการผลการเปรียบเทียบค่าความต่างของอุณหภูมิของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ พบว่า $p\text{-value} < 0.0001$ แสดงว่า การวัดอุณหภูมิที่พื้นที่สัมผัสของน้ำเย็น แตกต่างจุดกันมีผลต่อ

ค่าอุณหภูมิที่วัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.00

จากน้ำเย็นที่อยู่ในถังเก็บน้ำ ซึ่งเป็นถังสแตนเลสเก็บน้ำเย็น โดยน้ำเย็นที่ถูกนำมาหมุนเวียนเพื่อทำให้แผ่นประคบมีอุณหภูมิตามต้องการจะถูกส่งผ่านสายส่งน้ำไปยังแผ่นประคบโดยการใช้ปั๊มกระแสน้ำที่ถูกควบคุมการเปิด-ปิด ผ่านวงจรควบคุมเวลา โดยน้ำที่ไหลไปยังแผ่นประคบและกลับออกมาจากแผ่นประคบจะถูกส่งกลับมายังถังเก็บน้ำผ่านสายส่งน้ำ^[16] ส่วนระบบทำความเย็นของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ จะใช้ระบบควบคุมแบบปิด ในส่วนระบบทำความเย็น ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ การทำงานของปั๊มจ่ายน้ำเย็นเนื่องจาก มีการแสดงอุณหภูมิปัจจุบันและอุณหภูมิเป้าหมายได้

ระบบควบคุมอัตโนมัติการจ่ายน้ำจะสามารถทำงานตามคำสั่ง 20 นาที พัก 20 นาที ตามโปรแกรมควบคุมที่ตั้งไว้ได้จริงเพื่อลดการเกิดภาวะแทรกซ้อนในการประคบเย็น ได้แก่ หลอดเลือดหดตัว (vasoconstrict) จนบริเวณส่วนนั้นม่วงคล้ำได้^[10] ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการใส่คำสั่ง การพักขึ้นมา จากการทดลองเครื่องสามารถทำการจ่ายน้ำ 20 นาที พัก 20 นาที ได้ตามที่กำหนด โดยใช้ทฤษฎีควบคุมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการจับเวลา ซึ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการจับเวลา จะเป็นการใช้เครื่องตั้งเวลาดิจิตอล หรือ Digital Timer ซึ่งเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถสร้างสัญญาณคาบ (periodic signals) โดยเครื่องตั้งเวลาดิจิตอลจะมีความแม่นยำกว่าเครื่องตั้งเวลาแบบปกติ โดยมีขนาดเล็กและสามารถส่งสัญญาณได้เมื่อถึงเวลาที่กำหนด¹⁷ เครื่องประคบเย็นอัตโนมัตินี้จะมีข้อจำกัด คือสามารถประคบตามแผนขาตามลำตัวได้ แต่ไม่

สามารถประคบเย็นในส่วนของรอบใบหน้าและ
อวัยวะขนาดเล็กได้ เช่น นิ้วมือ เป็นต้น

ข้อจำกัดในเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ
นี้ คือ เวลาใช้เครื่องประคบเย็นอัตโนมัติจะต้อง
ใช้ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ ภายในห้อง
จะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อที่จะดึงอุณหภูมิในห้อง
ที่ตั้ง เครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ ได้อย่าง
รวดเร็วเพื่อลดภาวะความร้อนของเครื่อง
ประคบเย็นอัตโนมัติ^[15]

สรุปผล

จากการทดลองเครื่องระบบทำน้ำเย็น
ของเครื่องประคบเย็นอัตโนมัติ ค่าอุณหภูมิ
กำหนดที่เครื่องคอมพิวเตอร์กับที่ผลิตได้จริง
ในถังมีความต่างไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส
ระยะเวลาในการทำน้ำเย็นจะแปรผัน
กับอุณหภูมิในถัง ดังนั้น คิดแปรผันได้ตามสูตร

$$y = 0.0009x^2 - 0.2506x + 28.002$$

ค่าอุณหภูมิความต่างระหว่างอุณหภูมิกำหนดที่
เครื่องคอมพิวเตอร์กับอุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่
เครื่องผลิตได้จริงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 องศา
เซลเซียส ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00 และ
ความสามารถในการผลิตความเย็นได้ตรงตามที่
ต้องการเฉลี่ยคิดเป็น 100% ค่าสัมประสิทธิ์
สหสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ตั้งค่าที่เครื่องกับ
อุณหภูมิในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 0
ค่าเฉลี่ยรวมของการสูญเสียความเย็นอยู่ที่
3.92 องศาเซลเซียส ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.28 ค่า p -value = 0 ซึ่งน้อยกว่าระดับ
นัยสำคัญ 0.001, p -value < 0.0001 ระบบ
ควบคุมอัตโนมัติการจ่ายน้ำจะสามารถทำงาน
ตามคำสั่ง 20 นาที พัก 20 นาทีตาม
โปรแกรมควบคุมที่ตั้งไว้ได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ได้ด้วยดี
เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และคณะแพทยศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักร ขวนอาษา ผู้ช่วย
ศาสตราจารย์แพทย์หญิง ปรียาพรรณ อรุณากูร
รองศาสตราจารย์นายแพทย์บุญชนะ พงษ์
เจริญ และ นางเอมอร เอี่ยมสำอาง
เป็นที่ปรึกษางานวิจัย ขอขอบคุณนักศึกษา
ปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
นายอัศววัฒน์ เตชะมณีสถิตในการช่วย
ประกอบเครื่อง และขอขอบคุณผู้สนับสนุน
งานวิจัย คณะกรรมการวิจัยและคณะกรรมการ
ฝ่ายจริยธรรม ที่ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจน
ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอา
ใจใส่อย่างยิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริง
และความทุ่มเทของอาจารย์ในการขัดเกลางาน
จนสำเร็จ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่าง
สูงไว้ ณ ที่นี้

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากแหล่ง
ทุนงบประมาณโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิม
พระเกียรติ ปี 2565 ครั้งที่ 2

เอกสารอ้างอิง

1. F. Michael Gloth, III, MD. Chapter 1
Introduction. In: F. Michael Gloth, III,
MD., editor. Handbook of pain Relief
in older Adults. 2nd ed. New York:
Humana Press; 2011.
2. Miller, K.M., & Perry, P.A. Relaxation
technique and postoperative pain in
patients undergoing cardiac surgery.
Heart Lung. 1990; 19(2):136-146.
3. The European Pain Federation EFIC.
What is the definition of pain?
[internet]. The European Pain
Federation EFIC: International
Association for the Study of Pain;
2022 [cited 2022 Dec 24]. Available

- from: <https://europeanPainfederation.eu/what-is-pain/>
4. สุพร พลยานันท์. การพยาบาลผู้ป่วยที่ได้รับความเจ็บปวด. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แม็ค; 2528.
 5. Chao Hao, Chao Li, Ruiqi Cao, Yike Dai, Chongyang Xu, Lifeng Ma, Ai Guo, Haomiao Yu. Effects of Perioperative Fascia Iliaca Compartment Block on Postoperative Pain and Hip Function in Elderly Patients with Hip Fracture. SAGE [internet]. 2022 [cited 2022 Dec 24]; 13:1-8. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.1177/21514593221092883>
 6. ราชวิทยาลัยวิสัญญีแพทย์แห่งประเทศไทย ร่วมกับสมาคมการศึกษาเรื่องความปวดแห่งประเทศไทย. บทนำ. ใน: สมบูรณ์ เทียนทอง, บรรณาธิการ. แนวทางการพัฒนาการระงับปวดเฉียบพลันหลังผ่าตัด. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ราชวิทยาลัยวิสัญญีแพทย์แห่งประเทศไทย; 2562.
 7. ภาวินี ปางทิพย์อำไพ, ทศนีย์ ใจเย็น. การระงับความรู้สึกลดการกระตุ้นกระดูกและข้อ. ใน: มานี รักษาเกียรติศักดิ์, เบญจรัตน์ หยกอุบล, กำแหง วัชรรักษะ, ขนิษฐา ไกรประสิทธิ์, ปาริชาติ อภิเดชกุล, บรรณาธิการ. ตำราวิสัญญีพื้นฐานและหน่วยงานปฏิบัติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ศิริราชพยาบาล คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล; 2560. 41-67.
 8. Martin Dunbar, BSc (Hons), PhD. Anatomy and physiology of pain. In: Michael Serpell, editor. Handbook of pain management. 1st ed. London: CMG; 2008.
 9. Ronald Melzack and Patrick D. WALL. Pain Mechanisms: A New Theory: A gate control system modulates sensory input from the skin before it evokes pain perception and response. Science 1965; 150(3699):971-979.
 10. พิรุณ ลิขิตไชยากุล. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาพยาธิวิทยาทั่วไป (405313) ปีการศึกษา 2554 เรื่อง Acute and Chronic Inflammation [อินเทอร์เน็ต]. คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร: ภาควิชาพยาธิวิทยาและนิติเวชศาสตร์; 2554 [เข้าถึงเมื่อ 13 มีนาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.med.nu.ac.th/pathology/405313/book54/Inflammation.pdf>
 11. Martin Alfuth, Marion Strietzel, Vogler Tim, Dieter Rosenbaum, Dennis Liem. Cold versus cold compression therapy after shoulder arthroscopy: A prospective randomized clinical trial. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2016;24(7):2209-2215.
 12. เย็นใจ พิมพ์บรรณ, อรทัย สุทธิอาจ, เกษสุดา วังขุนพรหม. ผลการจัดการความปวดร่วมกับการประคบเย็นในผู้ป่วยหลังผ่าตัดยึดตรึงกระดูกขาในหอผู้ป่วยออร์โธปิดิกส์. วารสารวิชาการสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม. 2564; 5(10):44-54.
 13. ไผ่พจน์ ศรีธัญ, ราชันย์ ภูระหงษ์. บทที่ 1 หลักการของเครื่องทำความเย็น. ใน: ไผ่พจน์ ศรีธัญ, ราชันย์ ภูระหงษ์, บรรณาธิการ. เครื่องทำความเย็น (Refrigeration). พิมพ์

- ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท วังอักษร จำกัด; 2562.
14. Dorfman, A.Sh. Chapter 10
Manufacturing Equipment Operation.
In: Afshin J. Ghajar, editor. Conjugate problems in convective heat transfer. 1st ed. New York: CPC press; c2010.
15. Young I. Cho, E.N. Ganic, James P. Hartnett, W.M. Rohsenow. Basic concepts of Heat Transfer. In: Warren M. Rohsenow, James P. Hartnett, Young I. Cho, editors. Handbook of Heat Transfer. 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 1998.
16. Naichangmashare. Pump [EP.2]: Centrifugal pump หรือ ปั๊มเหวี่ยง ฉาบพื้นฐาน [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: นายช่างมาแชร์; 2020 [เข้าถึงเมื่อ 15 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.naichangmashare.com/2020/02/16/pump-ep2-centrifugalpump/>
17. ElProCus. What is Digital Timer: Circuit Diagram and Its Working. [internet]. [ม.ป.ท.]: ElProCus; 2013 [เข้าถึงเมื่อ 15 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.elprocus.com/digital-timer-circuit-diagram-and-its-working/>
18. ประเมธ ประเสริฐยิ่ง. การออกแบบระบบน้ำเย็นพลังงาน [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ท.]: Brain Storm; 2563 [เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.parameth.info/post/การออกแบบระบบน้ำเย็นและพลังงาน>