

การพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอจฉริยะ*

เสาวภา วิจิตรการโกศล¹, พูลทรัพย์ ทรัพย์สกุล¹, กรกมล ศิริวัฒน์¹, ธีรรัตน์ แก้วเขียว¹,
พนธกร เหลี่ยมเคลือบ², ยุทธพงษ์ ตาระปิน², ณัฐพล ชัยหาญ^{1**}

รับบทความ: 27 สิงหาคม 2568; ส่งแก้ไข: 17 ตุลาคม 2568 ; ตอบรับ: 27 ตุลาคม 2568

บทคัดย่อ

บทนำ : การระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองแบบดั้งเดิมยังไม่สามารถควบคุมและเฝ้าติดตามปริมาณการระบายได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้ผู้ป่วยมีความเสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนจากการระบายมากหรือน้อยเกินไป อีกทั้งขาดระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อเกิดความผิดปกติ ทำให้บุคลากรทางการแพทย์ต้องอาศัยการสังเกตและประเมินด้วยตนเอง ซึ่งมีข้อจำกัดด้านความถูกต้องและความต่อเนื่อง

วัตถุประสงค์ : เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอจฉริยะ

วิธีดำเนินการวิจัย : การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอจฉริยะ เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของการใช้งานต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอจฉริยะ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการพัฒนา Smart EVD และ 2) แบบประเมินความเป็นไปได้ในการนำ Smart EVD ไปใช้งาน การวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วยการนำเสนอขั้นตอนการพัฒนาต้นแบบเชิงพรรณนา และการวิเคราะห์ผลการประเมินความเป็นไปได้โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย : ผลการวิจัยพบว่าสามารถพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอจฉริยะที่ประกอบด้วย 4 ระบบหลัก ได้แก่ (1) ระบบวัดมุมศีรษะ (2) ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง (3) ระบบตั้งจุดอ้างอิง และ (4) ระบบสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ ผลการประเมินความเป็นไปได้จากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน พบว่า Smart EVD มีความเป็นไปได้ในการใช้งานอยู่ในระดับสูง (ค่าเฉลี่ยรวม = 45.80, SD = 4.87)

สรุป : ต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังอจฉริยะที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการช่วยดูแลผู้ป่วยภาวะน้ำคั่งในโพรงสมอง ลดความคลาดเคลื่อนในการระบายและเพิ่มความปลอดภัย อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการศึกษาประเมินความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของระบบในห้องปฏิบัติการก่อนทดสอบในผู้ป่วยจริงตามมาตรฐานอุปกรณ์การแพทย์

คำสำคัญ : เครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอจฉริยะ ระบบวัดมุมศีรษะ ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง ระบบตั้งจุดอ้างอิง เซนเซอร์ดิจิทัล

*งานนวัตกรรมนี้เป็นลิขสิทธิ์ร่วมระหว่างผู้วิจัยและคณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยรัตนบัณฑิต

¹ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยรัตนบัณฑิต จังหวัดปทุมธานี 12160

² วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

** อีเมล: nuttapol.chaihan@gmail.com

Development of a Prototype Smart External Ventricular Drainage System^{*}

Saovapa Wikitkankoson¹, Poonsap Sapsakul¹, Kornkamol Siriwat¹,
Theerarat Kaewkheaw¹, Phontakorn Liam-Kloub², Yuthapong Tarapin²,
Nuttapol Chaihan^{1**}

Received: August 28, 2025; Received revision: October 17, 2025; Accepted: October 27, 2025

Abstract

Background: Traditional cerebrospinal fluid (CSF) drainage systems lack precise control and continuous monitoring of drainage volume, increasing the risk of complications from overdrainage or underdrainage. Furthermore, the lack of an automatic alert system for abnormalities forces medical personnel to rely on manual observation and assessment, resulting in limited accuracy and continuity.

Objective: The goal is to develop a prototype of a smart external ventricular drainage system.

Material and methods: This study entailed the creation of a prototype smart external ventricular drainage (Smart EVD) system to evaluate its viability for clinical implementation. The research instruments consisted of (1) materials and components used in the development of the Smart EVD and (2) a feasibility assessment form for evaluating its potential use. Data analysis included a descriptive presentation of the prototype development process and an analysis of the feasibility assessment results using descriptive statistics, namely the mean and standard deviation.

Result: The study successfully created a prototype smart external ventricular drainage system with four main parts: (1) measuring the angle of the head, (2) keeping track of the volume of cerebrospinal fluid, (3) setting a reference point, and (4) an alert system for abnormalities. Five experts evaluated the Smart EVD and found that it was very likely to work in real life (overall mean = 45.80, SD = 4.87).

Conclusion: The developed prototype smart cerebrospinal fluid drainage system demonstrates potential for assisting in the management of patients with hydrocephalus by reducing drainage errors and enhancing patient safety. However, further studies are required to evaluate the system's accuracy and reliability in laboratory settings before proceeding to clinical testing in accordance with medical device evaluation standards.

Keywords: Smart external ventricular drainage, head angle measurement, cerebrospinal fluid volume monitoring, zero-point calibration, digital sensor

^{*}This innovation is a co-owned copyright of the researcher and the Faculty of Nursing, Rattana Bundit University.

¹Faculty of Nursing, Rattana Bundit University, Pathum Thani, 12160, Thailand.

²College of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand.

^{**}Corresponding author Email: nuttapol.chaihan@gmail.com

บทนำ

การระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมอง (External Ventricular Drainage: EVD) เป็นหัตถการที่สำคัญในการดูแลผู้ป่วยที่มีภาวะความดันในกะโหลกศีรษะสูง เช่น ผู้ป่วยที่มีเลือดออกในโพรงสมอง ติดเชื้อในระบบประสาทส่วนกลาง หรือมีภาวะไฮโดรเซฟาลัส (hydrocephalus)^[1] ข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับการใส่ EVD ในระดับโลกยังค่อนข้างจำกัด อย่างไรก็ตาม มีการประมาณการว่าตลาดอุปกรณ์ EVD ทั่วโลกมีมูลค่า 6.54 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี ค.ศ. 2022 และคาดว่าจะเติบโตในอัตราเฉลี่ยต่อปี (CAGR) ร้อยละ 5.9 จากปี ค.ศ. 2023 ถึง ค.ศ. 2030 ซึ่งบ่งชี้ถึงความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับการใส่ EVD ในการรักษาผู้ป่วยที่มีภาวะความดันในกะโหลกศีรษะสูง เช่น การบาดเจ็บที่สมองจากอุบัติเหตุหรือโรคหลอดเลือดสมอง^[2] ในประเทศไทย มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ EVD ในโรงพยาบาล ซึ่งพบว่ามี การติดตามอัตราการติดเชื้อที่เกี่ยวข้องกับ EVD ในโรงพยาบาลถึงร้อยละ 69 อัตราการติดเชื้อที่เกี่ยวข้องกับ EVD อยู่ที่อัตรา 19.4 รายต่อ 1,000 วันของการใช้ EVD อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับจำนวนผู้ป่วยที่ได้รับการใส่ EVD ต่อปีในประเทศไทยยังไม่มีรายงานอย่างเป็นทางการ^[3] ความสำคัญนี้สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นของการใช้เครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมอง

การระบายน้ำไขสันหลังอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยหลักการสำคัญ 4 ประการ ได้แก่ การควบคุมมุนศีรษะ การตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง การตั้งจุดอ้างอิง และความมั่นคงของข้อต่อพร้อมระบบแจ้งเตือน ประการแรก การจัดทำศีรษะของผู้ป่วย โดยเฉพาะการยกศีรษะประมาณ 30 องศา มี

ความสำคัญต่อการส่งเสริมการระบายและลดความดันในกะโหลกศีรษะ^[4] อย่างไรก็ตาม การรักษามุนศีรษะให้อยู่ในระดับคงที่และตรวจสอบได้อย่างต่อเนื่องเป็นเรื่องที่ท้าทาย หากศีรษะเอียงสูงหรือต่ำเกินไป อาจทำให้การระบายผิดปกติและเกิดอันตรายต่อสมอง^[1] ประการที่สอง การตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง (drain output) ในแต่ละช่วงเวลาถือเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่สะท้อนสถานะภายในกะโหลกศีรษะ หากมีการระบายมากผิดปกติ อาจบ่งชี้ถึงการรั่วของน้ำไขสันหลัง หรือหากไม่มีการระบายหรือมีการระบายน้อยเกินไป อาจสะท้อนถึงการอุดตันของสายระบายหรือความดันในสมองยังคงสูง การเฝ้าสังเกตอย่างแม่นยำและต่อเนื่องจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการวินิจฉัยและตัดสินใจทางการแพทย์^[5] ประการที่สาม การตั้งจุดอ้างอิง (zero point) ซึ่งกำหนดแรงดันของการระบาย หากจุดนี้เปลี่ยนแปลงโดยไม่ตั้งใจ เช่น การปรับระดับเตียงโดยไม่ได้ปรับจุดอ้างอิง จะส่งผลให้แรงดันผิดพลาด เกิดการดูดกลับหรือการไหลมากเกินไป^[6] และประการสุดท้าย การหลุดของข้อต่อถือเป็นภาวะฉุกเฉินที่ทำให้การระบายหยุดชะงักทันที เพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อและภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาท การมีระบบแจ้งเตือนเมื่อเกิดการหลุดของข้อต่อจึงมีความสำคัญต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยอย่างต่อเนื่อง^[7]

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติการควบคุมระดับของระบบ EVD ยังคงอาศัยการประเมินด้วยสายตาและการปรับตั้งค่าด้วยมือของพยาบาล โดยต้องตรวจสอบตำแหน่งศีรษะของผู้ป่วย วัดระดับของระบบจากจุดอ้างอิง (zero point) และเฝ้าระวังการหลุดของข้อต่ออย่างต่อเนื่อง^[8] กระบวนการดังกล่าวเป็นภาระงานที่ซับซ้อนและเสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยของมนุษย์ ความผิดพลาดในการวางระดับหรือการจัดท่าศีรษะอาจส่งผลให้ปริมาณ

น้ำไขสันหลังที่ระบายออกผิดพลาด ซึ่งตามหลักการฟิสิกส์ของแรงดันน้ำ (hydrostatic pressure) หากระดับถึงระบายน้ำต่ำกว่าจุดอ้างอิงมากเกินไป อาจเกิดการระบายเกินความจำเป็น (over drainage) ทำให้ความดันในกะโหลกศีรษะลดลงอย่างรวดเร็วจนเกิดสมองแฟบ (brain collapse) หรือหากสูงเกินไป อาจทำให้การระบายไม่เพียงพอและความดันในสมองยังคงสูง^[7] นอกจากนี้ การหยุดชะงักของการไหลเนื่องจากข้อต่อหลุดหรืออุดตัน เพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะน้ำคั่งในสมองและการติดเชื้อ ข้อจำกัดเหล่านี้สะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาระบบ EVD ที่สามารถตรวจวัดและปรับระดับแบบเรียลไทม์ พร้อมสัญญาณเตือนอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิผลในการดูแลผู้ป่วย^[5-6]

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาแนวปฏิบัติและอุปกรณ์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความแม่นยำในการดูแลผู้ป่วยที่ใส่สายระบายน้ำไขสันหลังจากโพรงสมอง ทั้งในด้านการป้องกันภาวะความดันในกะโหลกศีรษะสูง การตั้งระดับจุดหยุดน้ำไขสันหลัง การป้องกันการเลื่อนหลุดของสาย และการเฝ้าระวังแรงดันโดยใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์เฉพาะฟังก์ชัน เช่น แนวปฏิบัติการพยาบาลเพื่อลดความเสี่ยงภาวะความดันในกะโหลกศีรษะสูง^[8] อุปกรณ์ SMART POINT EVD^[9] เครื่องมือตั้งระดับจุดหยุดหลังผ่าตัดสมอง^[5] นวัตกรรม Phichit Level EVD^[10] อุปกรณ์แม่เหล็กเชื่อมต่อสาย EVD^[11] และระบบระบายน้ำอัตโนมัติ LiquoGuard®7^[12] อย่างไรก็ตามงานวิจัยเหล่านี้ยังมุ่งเน้นเฉพาะฟังก์ชันบางส่วนของ EVD และยังไม่มีอุปกรณ์ใดที่รวมฟังก์ชันสำคัญหลายประการไว้ในอุปกรณ์เดียว รวมถึงยังไม่มีการประยุกต์ใช้ระบบเซนเซอร์ดิจิทัลแบบบูรณาการเพื่อแสดงผลแบบเรียลไทม์และแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ อีกทั้งยังไม่มี

การศึกษาในประเทศไทยที่ออกแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังอัจฉริยะ ซึ่งสามารถวัดมุมศีรษะ ตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง ตั้งจุดหยุด และแจ้งเตือนการเลื่อนหลุดของสายด้วยระบบดิจิทัลแบบทันที

จากปัญหาดังกล่าว การพัฒนาเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัจฉริยะ ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันสำคัญ ได้แก่ ระบบวัดมุมศีรษะ ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง ระบบตั้งจุดอ้างอิง และระบบสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติด้วยเซนเซอร์ดิจิทัล จึงเป็นแนวทางใหม่ที่สามารถเพิ่มความแม่นยำ ลดความผิดพลาด และเสริมความปลอดภัยในการดูแลผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ บทความวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการทบทวนวรรณกรรมและการพัฒนาต้นแบบ (Prototype Smart EVD)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัจฉริยะ
2. เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้งานของเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัจฉริยะ

กรอบแนวคิดการวิจัย

ผู้วิจัยประยุกต์ใช้แนวคิดการจากทบทวนวรรณกรรมและหลักฐานเชิงประจักษ์เกี่ยวกับมาตรฐานการดูแลผู้ป่วยที่ได้รับการระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมอง^[3] ครอบคลุมทั้ง 4 องค์ประกอบหลัก ดังนี้ 1) ระบบวัดมุมศีรษะ บูรณาการแนวคิด ICP Management Framework ซึ่งยึดหลักการควบคุมความดันในกะโหลกศีรษะอย่างเหมาะสม โดยการวางศีรษะในมุมประมาณ 30 องศาจะช่วยส่งเสริมการระบายน้ำไขสันหลังและลดความดันในกะโหลกศีรษะได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง เชื่อมโยงกับ

แนวคิด Clinical Monitoring and Feedback System ที่เน้นการเก็บข้อมูลสภาวะผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องและแม่นยำ เพื่อการตัดสินใจทางคลินิกที่รวดเร็วและถูกต้อง 3) ระบบตั้งจุดอ้างอิงด้วย Laser ฟังก์ชันนี้นำหลักการ Pressure Gradient Control มาใช้เพื่อให้ระดับแรงดันของการระบายสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างศีรษะผู้ป่วยกับท่อ EVD การวัดระยะห่างนี้ช่วยให้ระบบสามารถปรับค่าการระบายได้อย่างเหมาะสมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหรือระดับเตียง ลดความเสี่ยงของแรงดันผิดปกติที่อาจก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อน และ 4) สัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติด้วยเซนเซอร์ดิจิทัล พัฒนาระบบพื้นฐานแนวคิด Patient Safety and Risk Management ซึ่งเน้นการลดความเสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนจากการเลื่อนหลุดของท่อ EVD ที่อาจทำให้การระบายหยุดชะงักและเพิ่มโอกาสติดเชื้อ ระบบแจ้งเตือนนี้จะช่วยให้พยาบาลตรวจพบเมื่อมีการหลุดของสายได้อย่างรวดเร็ว ลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อและยังช่วยแจ้งเตือนเมื่อ CSF ไหลออกมากหรือน้อยเกินไปได้อีกด้วย

วิธีการดำเนินวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมอง

ตารางที่ 1 วัสดุและอุปกรณ์ระบบอิเล็กทรอนิกส์

ลำดับ	รายการวัสดุ/อุปกรณ์	จำนวนที่ใช้
1	ชุดเซนเซอร์วัดน้ำหนัก พร้อมโมดูลขยายสัญญาณ HX711 (Load Cell with HX711 Signal Amplifier Module)	1 ชิ้น
2	ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า (Power Supply Unit)	1 ชิ้น
3	จอแสดงผล LCD (LCD Display)	1 ชิ้น
4	อุปกรณ์ส่งเสียงเตือน (Buzzer)	1 ชุด
5	จอแสดงผลแบบ Human Machine Interface (Human Machine Interface - HMI Display)	-

อัจฉริยะ ประเมินผลความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน

ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งาน

เนื่องจากการศึกษามุ่งเน้นไปที่การพัฒนาต้นแบบและประเมินผลความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งาน ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญด้านการพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ จำนวน 4 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ 1 ท่าน

ผู้ทรงคุณวุฒิทดสอบความแม่นยำและความปลอดภัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินความแม่นยำและปลอดภัยดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย วิศวกรรมชีวการแพทย์ จำนวน 2 ท่าน แพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการดูแลผู้ป่วยวิกฤตจำนวน 1 ท่าน และหัวหน้าพยาบาลหอผู้ป่วยวิกฤตจำนวน 2 ท่าน

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัจฉริยะ (Smart EVD) มีดังนี้

ลำดับ	รายการวัสดุ/อุปกรณ์	จำนวนที่ใช้
6	โมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 พร้อมซ็อกเก็ต (ESP32 Microcontroller Module with Socket)	1 บอร์ด
7	แผ่นสเกลวัดระดับ (Scale Board)	1 ชุด
8	ปากกาเลเซอร์ (Laser Pointer)	1 ด้าม
9	เครื่องวัดมุมดิจิทัล พร้อมเซนเซอร์ตรวจจับมุมเอียง MEMS (Digital Inclinator with MEMS Tilt Sensor)	1 ชุด
10	ตู้และอุปกรณ์ติดตั้งภายใน (Cabinet with Internal Installation Accessories)	1 กล่อง
11	ชุดยึดหนีบ (Clamp Set)	2 ชุด
12	สาย USB / อะแดปเตอร์ (USB Cable / Adapter)	1 ชุด
13	คอมพิวเตอร์ + Arduino IDE (Computer with Arduino IDE)	1 เครื่อง
14	สาย IV (IV Tube)	1 เส้น
15	ถุง Drainage (Drainage Bag)	1 ถุง
16	เสาน้ำเกลือ (IV Pole)	1 เส้า

เครื่องมือที่ใช้ดำเนินการวิจัย

ส่วนที่ 1 เครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัมมฤยะ ประกอบด้วย 4 ฟังก์ชันหลักที่ทำงานประสานกันอย่างเป็นระบบ ดังนี้

1. ระบบวัดมุมศีรษะ หมายถึง ระบบที่ทำหน้าที่ตรวจวัดมุมเอียงของศีรษะของผู้ป่วย เพื่อให้ศีรษะอยู่ในมุมที่เหมาะสม (ประมาณ 30 องศา) เพื่อส่งเสริมการระบายของน้ำไขสันหลังและควบคุมความดันในกะโหลกศีรษะ (Intracranial Pressure: ICP) โดยใช้เซนเซอร์แบบไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Micro-Electro-Mechanical System: MEMS) ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับความเอียงและการหมุนของวัตถุได้อย่างแม่นยำ พร้อมแสดงค่ามุมบนหน้าจอ LED เพื่อช่วยให้พยาบาลสามารถปรับท่าศีรษะผู้ป่วยได้อย่างถูกต้อง

2. ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง หมายถึง ระบบที่ใช้ Load Cell เพื่อตรวจวัด

น้ำหนักหรือระดับของเหลวในถุงระบาย ข้อมูลที่ได้จะถูกแสดงผลบนหน้าจอ HMI แบบ Real-time หากค่าที่วัดได้เกิน 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง หรือไม่มีการไหลเลยเป็นเวลานาน ระบบจะแจ้งเตือนโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยบุคลากรทางการแพทย์สามารถเข้าตรวจสอบและแก้ไขสถานการณ์ได้อย่างรวดเร็ว

3. ระบบตั้งจุดอ้างอิง หมายถึง ระบบที่ออกแบบมาเพื่อตั้งจุดอ้างอิงได้อย่างแม่นยำโดยใช้ลำแสงที่มีความเข้มสูง (laser) และช่วยแก้ปัญหาการตั้งจุดหยุดที่ไม่ตรงกับตำแหน่งมาตรฐานของ Foramen of Monro ซึ่งอาจทำให้การควบคุมแรงดันผิดพลาดและเสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อน อีกทั้งยังช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดด้วยสายตาหรือไม้บรรทัดแบบดั้งเดิม

4. สัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติด้วยเซนเซอร์ดิจิทัล หมายถึง ระบบที่แจ้งเตือน

เมื่อเกิดความผิดปกติ ได้แก่ การหลุดของข้อต่อ CSF ไหลออกมากกว่า 30 ml/hr. หรือน้อยกว่า 5 ml/hr. ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อหรือมีภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาท เซนเซอร์ที่ใช้ คือ Load cell จะทำหน้าที่ตรวจวัดน้ำหนักของถุงแบบต่อเนื่อง หากข้อต่อของสายระบายน้ำไขสันหลังหลุด CSF ไหลออกมากกว่า 30 ml/hr. หรือน้อยกว่า 5 ml/hr. น้ำหนักที่วัดได้จะเปลี่ยนไปอย่างฉับพลัน เมื่อระบบตรวจพบการเปลี่ยนแปลง น้ำหนักที่ผิดปกติ จะสั่งให้ Buzzer ส่งเสียงเตือน และแสดงสถานะผิดปกติบน หน้าจอ HMI ที่ติดอยู่บนเสาน้ำเกลือ เพื่อให้บุคลากรทางการแพทย์ทราบและสามารถเข้ามาตรวจสอบหรือแก้ไขได้ทันที

ส่วนที่ 2 แบบประเมินความเป็นไปได้ในการนำ Smart EVD ไปใช้งาน ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบสอบถามฉบับนี้ขึ้นเองตามมาตรฐานการดูแลผู้ป่วยที่ได้รับการระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมอง ร่วมกับบูรณาการแนวคิด ICP Management Framework เพื่อวัดระดับความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยี Smart EVD โดยมุ่งเน้นการประเมินความเป็นไปได้เชิงปฏิบัติ ครอบคลุมทั้ง 4 ฟังก์ชันหลักของ Smart EVD ที่ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ ได้แก่ ระบบวัดมุมศีรษะ ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง ระบบตั้งจุดอ้างอิง และสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติด้วยเซนเซอร์ดิจิทัล ประกอบด้วย 10 ข้อคำถาม เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ดังนี้ 5 = เป็นไปได้มากที่สุด 4 = เป็นไปได้มาก 3 = ปานกลาง 2 = เป็นไปได้น้อย และ 1 = ไม่เป็นไปได้อย่างแน่นอน คะแนนที่เป็นไปได้ต่ำสุด คือ 10 คะแนน คะแนนที่เป็นไปได้สูงสุด คือ 50 คะแนน

คะแนนที่ได้มาก แสดงถึงระดับความเป็นไปได้ในการนำ Smart EVD ไปใช้จริงในทางปฏิบัติได้สูง การจัดระดับคะแนน แบ่งออกเป็น 3 ระดับ^[13] ดังนี้ 41-50 คะแนน หมายถึง ระดับสูง 31-40 คะแนน หมายถึง ระดับปานกลาง และ 10-30 คะแนน หมายถึง ระดับต่ำ แบบสอบถามได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ได้ค่าความตรงเชิงเนื้อหาเท่ากับ 0.80

การทดสอบความแม่นยำและความปลอดภัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลการทดสอบต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัจฉริยะ แสดงให้เห็นว่าต้นแบบสามารถทำงานตามฟังก์ชันหลักทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ระบบวัดมุมศีรษะ ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง ระบบตั้งจุดอ้างอิง และระบบสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติด้วยเซนเซอร์ดิจิทัล ได้อย่างแม่นยำและสอดคล้องกับข้อกำหนดที่วางไว้นอกจากนี้ การพัฒนา Prototype ได้ให้ความสำคัญกับการตรวจสอบความปลอดภัยของอุปกรณ์อย่างเข้มงวด โดยเฉพาะฟังก์ชันการทำงานหลัก เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยก่อนนำไปใช้กับผู้ป่วยจริง การประเมินความปลอดภัยดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย วิศวกรระบบชีวการแพทย์จำนวน 2 ท่าน แพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการดูแลผู้ป่วยวิกฤตจำนวน 1 ท่าน และหัวหน้าพยาบาลหอผู้ป่วยวิกฤตจำนวน 2 ท่าน ซึ่งทำหน้าที่ตรวจสอบความแม่นยำของการทำงาน ระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้น และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุง Prototype ให้มีความปลอดภัยและเหมาะสมต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมทางคลินิก การทดสอบดำเนินการในหอผู้ป่วยวิกฤตโดยใช้หุ่นจำลองเพื่อเลียนแบบสถานการณ์การดูแลผู้ป่วยจริง ผลการประเมินพบว่า Smart EVD สามารถ

ทำงานได้ตามมาตรฐานความปลอดภัยและความถูกต้องที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งลดความเสี่ยงจากความคลาดเคลื่อนของมนุษย์และเพิ่มความมั่นใจในการใช้งานจริงในอนาคต

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัมมัยยะ ดำเนินการอย่างเป็นระบบโดยผ่านกระบวนการบูรณาการทั้งด้านวิศวกรรมการแพทย์และการพยาบาลในการดูแลผู้ป่วยที่ได้รับการใส่ EVD เริ่มต้นจากการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ให้สามารถติดตั้งเซนเซอร์และระบบควบคุมได้อย่างเหมาะสม โดยใช้โปรแกรมออกแบบสามมิติเพื่อกำหนดตำแหน่งของส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ หน้าจอ HMI, load cell, เลเซอร์ตั้งจุดอ้างอิง (zero point) และแผ่นสเกลวัด จากนั้นมีการจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ที่มีคุณภาพและเหมาะสมต่อการใช้งานทางการแพทย์ อาทิ เสาน้ำเกลือพร้อมฐาน แผ่นสเกลวัดระดับแผ่นปรับระดับ เซนเซอร์ MEMS ไมโครคอนโทรลเลอร์ หน้าจอ HMI/LCD วงจรเสียงเตือน (Buzzer) และอุปกรณ์ประกอบโครงสร้างอื่น ๆ

ขั้นตอนต่อมาคือการติดตั้งเลเซอร์ตั้ง zero point บนแผ่นสเกลวัดระดับ เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงตำแหน่ง Foramen of Monro จากนั้นทำการประกอบระบบสายสัญญาณและวงจรไฟฟ้า โดยเชื่อมต่อเซนเซอร์ MEMS, load cell และ เล เซอร์ เข้า กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมติดตั้งวงจรเสียงเตือน (buzzer) และยึด load cell เข้ากับเสาน้ำเกลือในตำแหน่งระดับสายตาของบุคลากรเพื่อให้เป็นฐานสำหรับชุดเซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุม ต่อมาได้ทำการติดตั้งหน้าจอ HMI เข้ากับเสาน้ำเกลือในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อการใช้งาน โดยเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่ง

รับข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้งหมด หลังจากประกอบอุปกรณ์เสร็จสิ้น ได้มีการทดสอบระบบรวม (integration test) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานทั้งในด้านการวัดมุมศีรษะ การตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง การกำหนดระยะจุดหยุดจาก zero point และการทำงานของสัญญาณเตือน การทดสอบนี้ใช้ชุด EVD มาติดตั้งกับเครื่องต้นแบบเพื่อประเมินความสามารถในการทำงานจริงในสภาวะใกล้เคียงทางคลินิก ขั้นสุดท้าย มีการประเมินความเป็นไปได้ ความแม่นยำ และความปลอดภัยของต้นแบบโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

ขั้นตอนการนำต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัมมัยยะไปใช้งานในอนาคต

1. จัดทำนอนผู้ป่วยนอนหงายศีรษะหนุนหมอน โดยศีรษะผู้ป่วยและหมอนอยู่ชิดขอบที่นอนหัวเตียง
2. ปรับหัวเตียงผู้ป่วยศีรษะสูง 30 องศา โดยใช้ระบบวัดมุมศีรษะตรวจสอบความถูกต้องของมุมเอียง โดยวางอุปกรณ์วัดมุมในตำแหน่งระนาบเดียวกับศีรษะผู้ป่วย เมื่อหน้าจอแสดงค่ามุม 30 องศา จะถือว่าทำการปรับได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้ อุปกรณ์มีความคลาดเคลื่อน (Error) ± 0.2 องศา ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานการวัดเชิงคลินิก
3. ติดตั้ง load cell แผ่นสเกลวัดระดับและแผ่นปรับระดับบนเสาน้ำเกลือ
4. ต่อสาย Set ระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองกับ Drainage bag แขนงไว้ที่แผ่นปรับระดับที่ยึดติดกับ load cell เพื่อใช้ตรวจวัดน้ำหนักของน้ำไขสันหลังแบบเรียลไทม์
5. ติดตั้ง Set IV โดยให้ตำแหน่งจุดหยุดอยู่ที่ระดับตามคำสั่งการรักษาของแพทย์ เช่น 10 15 หรือ 20 cm ตามแผ่นสเกลที่ได้ติดตั้งไว้

6. เชื่อมต่อจอแสดงผล (Human Machine Interface: HMI) จากนั้นกดปุ่ม Set บนหน้าจอ เพื่อเริ่มต้นการทำงาน เมื่อปลดล็อกสายเชื่อมต่อทั้งหมด ระบบจะเริ่มอ่านค่าปริมาณน้ำไขสันหลัง (Cerebrospinal Fluid: CSF) ที่ระบายออกจากโพรงสมองแบบต่อเนื่อง หากตรวจพบค่าผิดปกติ ระบบจะแจ้งเตือนผ่านหน้าจอและส่งสัญญาณเตือนด้วยเสียง (Alarm) โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้ 1) ปริมาณน้ำ CSF มากกว่า 30 cc/hr. 2) ปริมาณน้ำ CSF น้อยกว่า 5 cc/hr. หรือหยุดไหล และ 3) เมื่อข้อต่อสายระบายหลุด

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) โดยใช้ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) เพื่อสรุปความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน ที่ประเมินความเป็นไปได้ของต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัจฉริยะ

จริยธรรมการวิจัย

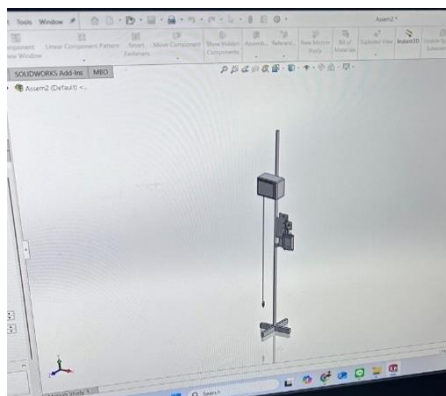
โครงการวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาและได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยรัตนบัณฑิต เลขที่รับรองโครงการ RBAC-EC-NUS-0-005/68 วันที่รับรอง 14 สิงหาคม พ.ศ. 2568

ผลการศึกษา

1. การพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัจฉริยะ

ขั้นตอนการพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมอง มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ให้สามารถติดตั้งเซนเซอร์และระบบควบคุมได้อย่างเหมาะสม โดยใช้โปรแกรมออกแบบสามมิติ (SolidWorks) เพื่อกำหนดตำแหน่งของส่วนประกอบ เช่น หน้าจอ HMI load cell เลเซอร์ตั้งจุดอ้างอิง (zero point) และแผ่นวัดระดับ



ภาพที่ 1 โปรแกรมออกแบบสามมิติ (SolidWorks)

ขั้นตอนที่ 2 จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการสร้าง Smart EVD โดยเลือกที่มีคุณภาพ เหมาะกับการใช้งานทางการแพทย์ และติดตั้งได้กับเสาน้ำเกลือ ประกอบด้วย เสาน้ำเกลือพร้อมฐาน แผ่นสเกลวัดระดับ แผ่นปรับระดับ load cell เซนเซอร์ MEMS เลเซอร์ตั้ง zero point ไมโครคอนโทรลเลอร์ หน้าจอ HMI/LCD วงจรเสียงเตือน (buzzer) สายไฟและแบตเตอรี่สำรอง รวมถึงอุปกรณ์ยึดและวัสดุประกอบโครงสร้างอื่น ๆ



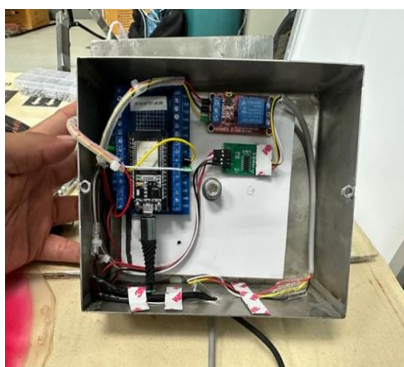
ภาพที่ 2 วัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการสร้าง Smart EVD โดย

ขั้นตอนที่ 3 ติดตั้งเลเซอร์ตั้ง zero point บนแผ่นสเกลวัดระดับ เพื่อใช้กำหนดจุดอ้างอิงตำแหน่ง Foramen of Monro



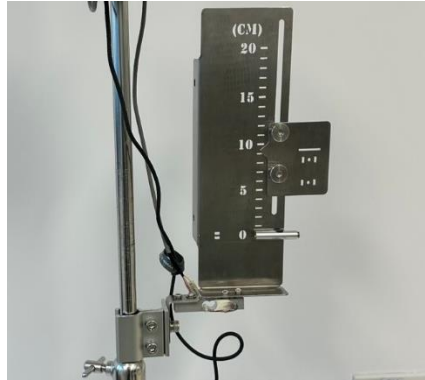
ภาพที่ 3 เลเซอร์ตั้ง zero point บนแผ่นสเกลวัดระดับ

ขั้นตอนที่ 4 ประกอบชุดสายสัญญาณและระบบไฟฟ้า โดยเชื่อมต่อเซนเซอร์ MEMS load cell และเลเซอร์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมติดตั้งวงจรเสียงเตือน (buzzer)



ภาพที่ 4 ประกอบชุดสายสัญญาณและระบบไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 5 ยึด load cell บนเสาน้ำเกลือพร้อมติดตั้งแผ่นสเกลวัดระดับและแผ่นปรับระดับ ในตำแหน่งระดับสายตาของบุคลากร เพื่อเป็นฐานสำหรับติดตั้งชุดเซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุม



ภาพที่ 5 ยึด load cell บนเสาน้ำเกลือ

ขั้นตอนที่ 6 เชื่อมต่อจอแสดงผล (HMI) เข้ากับเสาน้ำเกลือในตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการมองเห็นและใช้งาน โดยเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งรับข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้งหมด

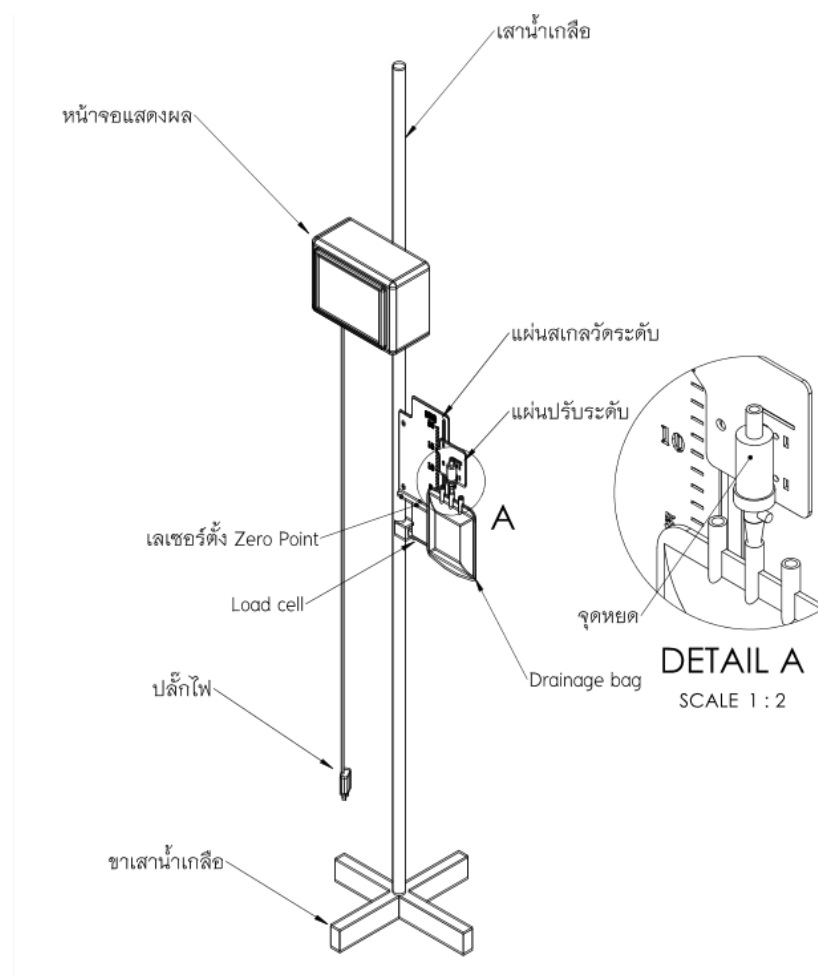


ภาพที่ 6 เชื่อมต่อจอแสดงผล (HMI) เข้ากับเสาน้ำเกลือ

ขั้นตอนที่ 7 ทำการทดสอบระบบรวม (integration test) เพื่อยืนยันความถูกต้องของการวัดมูมิสรีระ ปริมาณน้ำไหลหลัง ระยะหยุดหยดจากการตั้งจุดอ้างอิง และสัญญาณเตือน ก่อนนำไปใช้งานจริงในหอผู้ป่วย โดยนำ Set EVD ที่ติดมากับผู้ป่วยจากห้องผ่าตัดมาติดตั้งกับเครื่องเพื่อใช้ในการทดสอบระบบการทำงาน



ภาพที่ 7 ภาพการทดสอบระบบรวม



ภาพที่ 8 นวัตกรรมต้นแบบในภาพรวม

2. ผลการตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้งานของเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโรง สมองอัจฉริยะ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

การวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโรงสมองอัจฉริยะ (Smart EVD) ที่ประกอบด้วย 4 ระบบหลัก ได้แก่ ระบบวัดมุมศีรษะ ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง ระบบตั้งจุดอ้างอิง และระบบสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ โดยผลการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน พบว่า Smart EVD มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงในระดับสูง (ค่าเฉลี่ยรวม = 45.80, SD = 4.87) โดยเฉพาะด้านความแม่นยำของการวัด การบูรณาการระบบที่ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ และความสะดวกในการเรียนรู้และใช้งาน รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้งานของเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโรงสมองอัจฉริยะ

ข้อที่	รายการข้อคำถามตรวจสอบความเป็นไปได้	ผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 5 ท่าน					Mean (SD)
		1	2	3	4	5	
1	ระบบวัดมุมศีรษะสามารถวัดมุมศีรษะได้อย่างแม่นยำในระดับที่ต้องการ	5	5	5	4	5	4.80 (0.45)
2	ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง สามารถวัดปริมาณน้ำไขสันหลังได้แม่นยำเมื่อเทียบกับการตรวจหรือซัง	5	4	5	4	5	4.60 (0.55)
3	ระบบตั้งจุดอ้างอิง สามารถกำหนดจุดอ้างอิงได้แม่นยำตรงตามความต้องการ	5	5	5	5	4	4.80 (0.45)
4	ระบบสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติด้วยเซนเซอร์ดิจิทัล มีศักยภาพเพียงพอในการช่วยแจ้งเตือนอย่างเหมาะสมเมื่อเกิดการเคลื่อนหลุด	4	4	4	5	5	4.40 (0.55)
5	การรวมกันของระบบทั้ง 4 สามารถทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ	5	5	5	5	4	4.80 (0.45)
6	เทคโนโลยี Smart EVD มีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่นๆ ในหน่วยงานได้	5	4	4	4	4	4.20 (0.45)
7	ท่านสามารถเรียนรู้และฝึกใช้ระบบ Smart EVD ได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม	5	5	5	4	4	4.60 (0.55)
8	ความเป็นไปได้ในการดูแลและบำรุงรักษาระบบ Smart EVD โดยทีมสุขภาพ	5	5	5	5	4	4.80 (0.45)
9	มีความเป็นไปได้ในการพัฒนา Smart EVD ให้เหมาะสมกับบริบทการใช้งานที่แตกต่างกันในโรงพยาบาลแต่ละแห่ง	4	4	5	4	4	4.20 (0.45)
10	โดยภาพรวม เทคโนโลยี Smart EVD มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้จริงในบริบทการพยาบาลทางคลินิก	5	5	5	4	4	4.60 (0.55)
คะแนนรวม		Mean = 45.80, SD = 4.87					มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ระดับสูง

สรุปและอภิปรายผล

การพัฒนาต้นแบบเครื่องระบายน้ำไขสันหลังในโพรงสมองอัจฉริยะ (Smart EVD) ที่มีระบบวัดมุมศีรษะ ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง ระบบตั้งจุดอ้างอิง และระบบสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติด้วยเซนเซอร์ดิจิทัล เป็นการตอบโจทยปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในการดูแลผู้ป่วยโรคทางระบบประสาทที่ต้องได้รับการระบายน้ำไขสันหลังผ่านท่อ EVD แบบดั้งเดิม ซึ่งที่ผ่านมาอาศัยการตั้งระดับด้วยสายตา การเฝ้าระวังการไหลของของเหลวโดยบุคลากรทางการแพทย์ และการประเมินด้วยวิธี manual ที่อาจมีความผิดพลาดและใช้ทรัพยากรบุคคลจำนวนมาก^[14] การสร้างต้นแบบที่บูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับการทำงานแบบเรียลไทม์ จึงถือเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการดูแลผู้ป่วย ทั้งด้านความแม่นยำ ความปลอดภัย และการลดภาระงานพยาบาล^[15]

ประเด็นแรก คือ ระบบวัดมุมศีรษะ ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์มั่นใจได้ว่าผู้ป่วยอยู่ในท่าที่เหมาะสมต่อการระบายน้ำไขสันหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุมศีรษะประมาณ 30 องศา หลักฐานเชิงประจักษ์ยืนยันแล้วว่าท่านี้สามารถช่วยลดความดันในกะโหลกศีรษะ (Intracranial Pressure: ICP) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะเดียวกันยังคงรักษาความดันการไหลเวียนเลือดสมอง (Cerebral Perfusion Pressure: CPP) ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย งานวิจัยระบุว่า การยกศีรษะผู้ป่วยที่ใส่สายระบายน้ำไขสันหลังขึ้น 15–30 องศา ถือเป็นแนวทางมาตรฐานของการดูแลผู้ป่วยในหอผู้ป่วยหนัก เพื่อให้การระบายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงจากภาวะแทรกซ้อน^[16-17] ในการพัฒนาต้นแบบนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ MEMS sensor ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความ

แม่นยำในการตรวจวัดมุมเอียง โดยสามารถให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.2 องศา การแสดงผลแบบเรียลไทม์บนหน้าจอช่วยให้บุคลากรสามารถตรวจสอบและปรับท่าผู้ป่วยได้อย่างทันที ลดความเสี่ยงจากการกะด้วยสายตาซึ่งอาจคลาดเคลื่อนและก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาระงาน นอกจากนี้ งานวิจัยด้านการวัดท่าศีรษะด้วย MEMS sensor เช่น รายงานใน Sensors^[18] ยังยืนยันว่าอุปกรณ์ประเภทนี้ใช้งานง่าย มีความเสถียรสูง และสามารถใช้งานในคลินิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าระบบต้นแบบนี้จะมีศักยภาพสูง แต่ก็ยังมีข้อท้าทายที่ควรคำนึงถึงในการนำไปใช้จริง เช่น ปัญหาการ drift ของสัญญาณเมื่อเพียงมีการขยับหรือเกิดแรงสั่นสะเทือน รวมทั้งตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์ที่ต้องสะท้อนระนาบศีรษะผู้ป่วยจริง มิฉะนั้นอาจเกิด systematic bias ได้ ดังนั้นการเพิ่มฟังก์ชันการ calibrate ศูนย์ใหม่ทุกครั้งหลังเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และการประมวลผลสัญญาณด้วยตัวกรอง เช่น moving average หรือ Kalman filter จึงเป็นแนวทางที่ช่วยลด noise และทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งแนวทางนี้สอดคล้องกับรายงานของ Yoon และคณะ^[19] ที่เสนอการปรับเทคนิคประมวลผลสัญญาณเพื่อแก้ drift ของ MEMS sensor ในงานวิศวกรรมทางการแพทย์^[19]

ประเด็นที่สอง คือ ระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำไขสันหลัง โดยใช้ load cell เพื่อตรวจจับน้ำหนักของถุงระบายและแปลงค่าเป็นปริมาตรของ CSF ที่ไหลออกมาแบบ real-time ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงผลผ่านจอ HMI และจัดเก็บเป็นแนวโน้ม (trend) รายชั่วโมงหรือรายวันได้อย่างเป็นระบบ เมื่อเทียบกับวิธีการบันทึกแบบดั้งเดิมที่อาศัยการอ่านค่าด้วยสายตาและการจดลงกระดาษ ระบบนี้ช่วยลดความผิดพลาดจากมนุษย์ (human error)

และลดปัญหาการตกหล่นของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่พบว่าการใช้ระบบอัตโนมัติในการวัดและบันทึกปริมาตรของ CSF สามารถลดความไม่สม่ำเสมอของข้อมูลและเพิ่มความถูกต้องในการเฝ้าระวังผู้ป่วยได้^[20] อีกจุดเด่นที่สำคัญของระบบนี้คือความสามารถในการตั้งค่า alarm เพื่อเตือนเมื่อพบความผิดปกติ เช่น ปริมาณ CSF มากกว่า 30 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีความเสี่ยงต่อ over-drain และการเกิด subdural hematoma หรือปริมาณต่ำกว่า 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง หรือหยุดไหล ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงการอุดตันของสายระบายหรือความผิดปกติของระบบไหลเวียน CSF หลักฐานจากการศึกษาของ Meng และคณะ^[21] รายงานว่า over-drain และการอุดตันเป็นภาวะแทรกซ้อนหลักที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยที่ใช้ EVD และการมีระบบเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องสามารถช่วยลดอุบัติการณ์เหล่านี้ได้^[21] อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่อาจพบได้จริงในระบบนี้คือ motion artifact จากการเคลื่อนย้ายเสาน้ำเกลือหรือการเปลี่ยนถุง Drainage bag ซึ่งอาจทำให้ค่าที่แสดงคลาดเคลื่อนไปชั่วขณะ ดังนั้นการออกแบบฟังก์ชัน tare mode สำหรับรีเซ็ตค่าหลังการเปลี่ยนถุง และการใช้เทคนิค signal filtering เช่น moving average หรือ Kalman filter จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความเสถียรในการอ่านค่า ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Chakra และคณะ^[22] ที่ศึกษาเทคนิคกรองสัญญาณเพื่อปรับปรุงความถูกต้องของ load cell และระบบตรวจวัดน้ำหนักในสภาพแวดล้อมจริง^[22]

ประเด็นที่สาม คือ ระบบตั้งจุดอ้างอิง (zero point) ซึ่งถือเป็นหัวใจของการควบคุมการระบาย CSF ผ่าน EVD โดยทั่วไปตำแหน่งมาตรฐานคือ Foramen of Monroe ซึ่งมักใช้ tragus ของผู้ป่วยเป็นจุดอ้างอิงหลัก การใช้ไม

บรรทัดหรือการประเมินด้วยสายตาเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่มีความเสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะในสถานการณ์จริงที่มีบุคลากรหลายเวอร์และมีความแตกต่างด้านประสบการณ์ การนำ เลเซอร์ (laser-based alignment) มาใช้ในต้นแบบ Smart EVD ทำให้การตั้งค่ามีความแม่นยำ สม่ำเสมอ และตรวจสอบได้ง่ายขึ้นทุกครั้งที่เปลี่ยนเวรพยาบาล สอดคล้องกับรายงานของ Olson และคณะ^[23] ที่ระบุว่าความผิดพลาดในการตั้งระดับ EVD เป็นสาเหตุสำคัญของภาวะแทรกซ้อนจากการ over-drain หรือ under-drain และแนะนำให้มีการพัฒนาวิธีการตั้งค่าที่ลดความอาศัยทักษะส่วนบุคคล^[23] จุดแข็งของระบบนี้คือสามารถ ล็อกค่า offset หลังจากตั้งระดับ ทำให้ค่าที่ได้ต่อเนื่องเชื่อถือได้มากขึ้นและลดความจำเป็นในการปรับซ้ำบ่อยครั้ง นอกจากนี้ยังช่วยสร้างความโปร่งใสในกระบวนการปฏิบัติ เนื่องจากบุคลากรทุกคนสามารถยืนยันค่าที่อ้างอิงจากจุดเลเซอร์เดียวกันได้ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับข้อเสนอของ Le Roux และคณะ^[24] ที่ชี้ให้เห็นว่าการมาตรฐานขั้นตอนการจัดระดับและการตรวจสอบตำแหน่งอย่างสม่ำเสมอมีส่วนช่วยลดความแปรปรวนในการดูแลผู้ป่วยที่ใช้ EVD^[24] อย่างไรก็ตาม ระบบยังคงมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากยังต้องอาศัยการตีความตำแหน่งทางกายวิภาค เช่น tragus ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนในกรณีที่ผู้ป่วยมีการบวม หรือมีการพันศีรษะที่บดบังจุดสังเกต การพัฒนาต่อยอดจึงควรมุ่งไปที่การใช้ sensor วัดระยะอัตโนมัติ เช่น ultrasonic sensor หรือ ToF (time-of-flight) sensor เพื่อลดการพึ่งพาการประเมินด้วยสายตา และสามารถแปลงค่าความสูงไปเป็น แรงดัน cmH₂O ได้โดยตรง ซึ่งจะช่วยให้ระบบมีความแม่นยำและเป็นมิตรต่อการใช้งานในทางคลินิกมากขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับ

แนวโน้มการประยุกต์ใช้ digital and automated CSF drainage systems ที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน

ประเด็นที่สี่ คือ ระบบสัญญาณเตือนความผิดปกติ ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญในการยกระดับความปลอดภัยของผู้ป่วยที่ใช้ EVD เพราะช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถรับรู้ความผิดปกติได้แบบเรียลไทม์ ต้นแบบ Smart EVD ที่พัฒนาขึ้นได้ใช้ load cell เพื่อตรวจวัดน้ำหนักของถุง CSF และแปลผลเป็นการไหลที่ต่อเนื่อง หากเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ เช่น ปริมาตรไหลมากเกินไป (over-drain) ปริมาตรไหลน้อยผิดปกติ (under-drain) การอุดตัน หรือการหลุดของสาย ระบบจะส่งสัญญาณเตือนทั้งทางหน้าจอ HMI และเสียง buzzer ซึ่งช่วยให้ทีมรักษาสามารถเข้าตรวจสอบและแก้ไขได้ทันที ผลการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิยืนยันว่าระบบนี้มีศักยภาพสูงในการลดความเสี่ยงจากการเฝ้าระวังที่อาจผิดพลาดหรือล่าช้า ทั้งนี้สอดคล้องกับรายงานที่พบว่าระบบ drainage ที่มีการแจ้งเตือนอัตโนมัติช่วยลดอัตราภาวะแทรกซ้อนที่เกิดจาก human error ได้^[14] อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดที่พบคือระบบไม่สามารถแยกสาเหตุของการหยุดการไหลได้อย่างชัดเจน เช่น สายหลุดกับท่ออุดตันให้ผลการวัดที่คล้ายกันคือ การไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในถุง CSF ทำให้บุคลากรยังต้องเข้ามาตรวจสอบซ้ำด้วยตนเอง ข้อจำกัดลักษณะนี้เคยถูกกล่าวถึงในการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้โดยชี้ให้เห็นว่าแม้ระบบดิจิทัลสามารถตรวจจับความผิดปกติของการไหลได้อย่างแม่นยำ แต่ยังคงพึ่งการยืนยันเชิงคลินิกเพื่อระบุสาเหตุที่แท้จริง แนวทางแก้ไขในอนาคตคือการติดตั้ง เซนเซอร์เสริม เช่น สวิตช์แม่เหล็กที่ข้อต่อ (magnetic switch) เพื่อยืนยันการหลุด หรือเซนเซอร์แรงดันภายในท่อ (pressure transducer) เพื่อ

ระบุภาวะอุดตัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความจำเพาะ (specificity) ของระบบสัญญาณเตือนมากขึ้น [25]

โดยสรุป ต้นแบบ Smart EVD ที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นการรวมฟังก์ชันหลักทั้งสี่เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ ทำให้กระบวนการดูแลผู้ป่วยมีความแม่นยำ สม่าเสมอ และปลอดภัยมากขึ้นกว่าการใช้งาน EVD แบบเดิม ทั้งยังช่วยลดภาระงานพยาบาลและเพิ่มประสิทธิภาพในการเฝ้าระวัง ผลการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิยืนยันถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายด้านการปรับแต่งอัลกอริทึมลดการเตือนลวง และเพิ่มระบบอัตโนมัติให้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นทิศทางการพัฒนาในระยะต่อไปเพื่อให้สามารถนำไปใช้จริงในหอผู้ป่วยได้อย่างเต็มศักยภาพ

ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ยังคงมีข้อจำกัดบางประการที่ควรได้รับการพิจารณาในการพัฒนา งานวิจัยในอนาคต กล่าวคือ การวิจัยยังอยู่ในระยะของการพัฒนาต้นแบบ โดยใช้การประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิกลุ่มขนาดเล็ก และยังไม่มีการทดสอบเชิงคลินิกจริง ทำให้ไม่สามารถยืนยันประสิทธิภาพและความปลอดภัยของต้นแบบในผู้ป่วยได้อย่างชัดเจน

ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติการ

ควรมีการทดสอบ Smart EVD ในห้องปฏิบัติการหรือห้องจำลองสถานการณ์อย่างต่อเนื่องเพื่อประเมินความแม่นยำของการวัดมุมศีรษะ ปริมาตรน้ำไขสันหลัง และการตั้งจุดอ้างอิง ก่อนที่จะนำไปทดลองในผู้ป่วยจริง ภายใต้การควบคุมของทีมผู้เชี่ยวชาญด้านระบบประสาทและวิศวกรรมชีวการแพทย์

ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ

ควรมีการวิเคราะห์ความปลอดภัยของอุปกรณ์ในระยะยาว และศึกษาผลกระทบต่อการฟื้นตัวและภาวะแทรกซ้อนของผู้ป่วย เพื่อ

ยืนยันความปลอดภัยและประสิทธิภาพเชิง
คลินิก

เอกสารอ้างอิง

1. Bertuccio A, Marasco S, Longhitano Y, Romenskaya T, Elia A, Mezzini G, et al. Barbanera A. External Ventricular Drainage: A Practical Guide for Neuro-Anesthesiologists. Clin Pract. 2023;13(1):219-29.
2. Grand View Research. External Ventricular Drain Market Size & Share Report, 2030 [Internet]. San Francisco (CA): Grand View Research; 2023 [cited 2025 Oct 9]. Available from: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/external-ventricular-drain-market>
3. Alunpipatthanachai B, Thirapattaraphan P, Fried H, Vavilala MS, Lele AV. External Ventricular Drain Management Practices in Thailand: Results of the EPRACT Study. World Neurosurg. 2019; 126:e743-e752.
4. Palasz J, D'Antona L, Farrell S, Elborady MA, Watkins LD, Toma AK. External ventricular drain management in subarachnoid haemorrhage: a systematic review and meta-analysis. Neurosurg Rev. 2022;45(1):365-73.
5. อรุณี หล่อนิล. การพัฒนาเครื่องมือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูแลผู้ป่วยหลังผ่าตัดสมองที่ใช้ External Ventricular Drainage โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์และนวัตกรรมในหอผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง โรงพยาบาลอุทัยธานี. วารสารวิชาการแพทย์และสาธารณสุข เขตสุขภาพที่ 3, 2566;20(4): 234-42.
6. Sakamoto VTM, Vieira TW, Viegas K, Blatt CR, Caregnato RCA. Nursing assistance in patient care with external ventricular drain: a scoping review. Rev Bras Enferm. 2021;74(2):e20190796.
7. Ofoma H, Cheaney B 2nd, Brown NJ, Lien BV, Himstead AS, Choi EH, et al. Updates on techniques and technology to optimize external ventricular drain placement: A review of the literature. Clin Neurol Neurosurg. 2022; 213:107126.
8. ดารานี นงเยาว์, พิรลักษ์ณ์ ลาภหลาย, และ มารศรี ปิ่นสุวรรณ. การพัฒนาแนวปฏิบัติการพยาบาลเพื่อป้องกันภาวะความดันในกะโหลกศีรษะสูงในผู้ป่วยที่มีการระบายน้ำไขสันหลังจากโพรงสมองโรงพยาบาลพระนครศรีอยุธยา. วารสารการพยาบาล. 2566;25(2):27-39.
9. พรจิตร จันทรเสถียร, รวิภา บุญชูช่วย. นวัตกรรมอุปกรณ์ตั้งระดับจุดหยดน้ำไขสันหลัง “SMART POINT EVD”. วารสารทางการแพทย์ของกองทัพอากาศไทย. 2561;64(3):43-8.
10. ศุภลักษณ์ ทับทิม, จารุตา คำภีระ, จันทิมา นวมะวัฒน์. ประสิทธิภาพของนวัตกรรม “Phichit Level EVD” ในผู้ป่วยอุบัติเหตุจราจรหลังผ่าตัด ventriculostomy. วารสารโรงพยาบาลพิจิตร. 2566;38(2):23-34.
11. Yan R, Ye J, Wang J, Wang M. Design and analysis of a magnetic connection device for external ventricular drain. IET Science, Measurement & Technology. 2023;17(2):84-92.
12. Arts S, van Bilsen M, van Lindert EJ, Bartels RH, Aquarius R, Boogaarts HD. Implementation of an automated cerebrospinal fluid drainage system for early mobilization in neurosurgical patients. Brain Sciences. 2021;11(6):683.
13. Likert R. A technique for the measurement of attitudes. Archives of Psychology. 1932;140:1-55.

14. Patil V, Gupta R, San José Estépar R, Lacson R, Cheung A, Wong JM, Popp AJ, Golby A, Ogilvy C, Vosburgh KG. Smart stylet: the development and use of a bedside external ventricular drain image-guidance system. *Stereotact Funct Neurosurg.* 2015;93(1):50-8.
15. Ofoma H, Cheaney II B, Brown NJ, Lien BV, Himstead AS, Choi EH, Cohn S, Campos JK, Oh MY. Updates on techniques and technology to optimize external ventricular drain placement: A review of the literature. *Clin Neurol Neurosurg.* 2022;213:107126.
16. Rosner MJ, Coley IB. Cerebral perfusion pressure, intracranial pressure, and head elevation. *J Neurosurg.* 1986;65(5):636-41.
17. Sakamoto VT, Vieira TW, Viegas K, Blatt CR, Caregnato RC. Nursing assistance in patient care with external ventricular drain: a scoping review. *Rev Bras Enferm.* 2021;74(2):e20190796.
18. Qiu X, Wang Z, Pan L, Shen T, Deng D, Chen Q, et al. Use of a Microelectromechanical Systems Sensor for Objective Measurements of Abnormal Head Posture in Congenital Superior Oblique Palsy Patients. *Transl Vis Sci Technol.* 2024;13(10):30.
19. Luczak S, Zams M, Dabrowski B, Kusznierewicz Z. Tilt sensor with recalibration feature based on MEMS accelerometer. *Sensors.* 2022;22(4):1504.
20. McHugo VS, Nolke L, Delassus P, McCarthy E, McMahon CJ, Morris L. The impact of compliance on Stage 2 uni-ventricular heart circulation: An experimental assessment of the Bidirectional Glenn. *Med Eng Phys.* 2020 ;84:184-92.
21. Meng M, Klingensmith NJ, Coopersmith CM. New insights into the gut as the driver of critical illness and organ failure. *Curr Opin Crit Care.* 2017;23(2):143-8.
22. Chakra CA, Gascoin S, Somma J, Fanise P, Drapeau L. Monitoring the snowpack volume in a sinkhole on Mount Lebanon using time lapse photogrammetry. *Sensors.* 2019;19(18):3890.
23. Olson DM, Zomorodi M, Britz GW, Zomorodi AR, Amato A, Graffagnino C. Continuous cerebral spinal fluid drainage associated with complications in patients admitted with subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg.* 2013;119(4):974-80.
24. Le Roux P, Menon DK, Citerio G, Vespa P, Bader MK, Brophy GM, et al. Consensus summary statement of the international multidisciplinary consensus conference on multimodality monitoring in neurocritical care: a statement for healthcare professionals from the Neurocritical Care Society and the European Society of Intensive Care Medicine. *Neurocrit Care.* 2014;21:1-26.
25. de Boer M, van Doormaal JA, Köllen MH, Bartels LW, Robe PA, van Doormaal TP. Fully automatic anatomical landmark localization and trajectory planning for navigated external ventricular drain placement. *Neurosurg Focus.* 2025;59(1):E14.