

การวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อผิดพลาดและการปนเปื้อนในการเตรียมยาเคมีบำบัดระหว่างระบบหุ่นยนต์และการเตรียมยาด้วยมือ: การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์ห่อภิมาณ

พริณี แก้วบุตร¹ ญัฐพล สัมประสิทธิ์² สโรชา แซ่ญ³ เอมอุษา อาสุ⁴ พิชญุตม์ รัตนธัญพัทธ์¹

¹สาขาวิชาการบริหารทางเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

²แผนกเภสัชกรรม โรงพยาบาลบางปะกอก 8

³งานบริหารเภสัชกรรมผู้ป่วยนอก คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

⁴แผนกปฏิบัติการทางคลินิก บริษัท เครือข่ายวิจัยทางการแพทย์เพื่อสังคม จำกัด

Received: July 15, 2025

Revised: August 9, 2025

Accepted: August 11, 2025

บทคัดย่อ

ผู้ป่วยมะเร็งในประเทศไทยมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความต้องการในการจัดเตรียมยาเคมีบำบัดโดยเภสัชกรเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจุบันมีการนำหุ่นยนต์สำหรับเตรียมยาใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศและเริ่มนำเข้ามาใช้ในประเทศไทย การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ และการวิเคราะห์ห่อภิมาณในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความผิดพลาด และการปนเปื้อนของการเตรียมยาเคมีบำบัดชนิดฉีดระหว่างระบบหุ่นยนต์และการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกร โดยรวบรวมงานวิจัยจากฐานข้อมูลต่างๆ ได้แก่ PubMed, ScienceDirect, Cochrane reviews และอื่นๆ ตั้งแต่เริ่มมีฐานข้อมูลจนถึงวันที่ 16 เมษายน 2568 พบงานวิจัยที่ถูกคัดเลือกเข้าจำนวน 11 เรื่อง จากทั้งสิ้น 2,197 เรื่อง ผลการประเมินคุณภาพงานวิจัยด้วยเครื่องมือ ROBIN-I พบงานวิจัย 7 เรื่อง มีความเสี่ยงต่อการเกิดอคติในภาพรวมระดับปานกลาง และอีก 4 เรื่องมีความเสี่ยงต่อการเกิดอคติในระดับสูงที่ต้องพิจารณา ผลการวิเคราะห์ห่อภิมาณ พบว่า การเตรียมยาเคมีบำบัดระบบหุ่นยนต์มีความคลาดเคลื่อนของขนาดยา ($MD=-0.04$, 95%CI -0.40, 0.33, $I^2=99.7\%$ model with random effect model) การปนเปื้อนจากภายนอก ($OR=0.49$, 95%CI 0.10, 2.40, $I^2=71.4\%$ model with random effect model) และความล้มเหลวของการเตรียมยา ($OR=0.45$, 95%CI 0.09, 2.17, $I^2=84.1\%$ model with random effect model) น้อยกว่าการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกร แต่การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมพบได้มากกว่า ($OR=1.61$, 95%CI 0.72, 3.63, $I^2=54.3\%$ model with random effect model) ดังนั้น จึงสรุปผลได้ว่า สามารถนำหุ่นยนต์เตรียมยาเคมีบำบัดมาใช้ทดแทนการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดภาระงานของเภสัชกรได้ แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยียังมีราคาแพงจำเป็นต้องพิจารณาความเหมาะสมในบริบทของแต่ละโรงพยาบาล

คำสำคัญ: หุ่นยนต์เตรียมยา; ยาเคมีบำบัด; การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ; วิเคราะห์ห่อภิมาณ

ผู้สนับสนุนประสานงาน:

พิชญุตม์ รัตนธัญพัทธ์

สาขาวิชาการบริหารทางเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

อีเมล: pitchayut.ra@up.ac.th

Comparative analysis of preparation errors and contamination in robotic and manual chemotherapy compounding: A systematic review and meta-analysis

Piranee Kaewbut¹, Nathapol Samprasit², Sarocha Saepoo³, Aimusa Arsu⁴, Pitchayut Rattanatanyapat¹

¹Department of Pharmaceutical Care, School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao

²Department of Pharmacy, Bangpakok 8 Hospital

³Ambulatory Care, School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao

⁴Department of Clinical Operation, Medical Research Network for Social Co., Ltd. (MedResNet)

Abstract

The number of cancer patients in Thailand has been steadily increasing, leading to a significant rise in the demand for chemotherapy compounding by manual pharmacists. Currently, robotic systems are widely employed in several countries and have begun to be introduced in Thailand. This systematic review and meta-analysis aim to evaluate the preparation errors and contamination rates associated with intravenous chemotherapy compounding, comparing robotic systems with manual preparation by clinical oncology pharmacists. A total of 2,197 studies were initially identified from various databases, including PubMed, ScienceDirect, Cochrane reviews, and others, covering publications from database inception through April 16, 2025. Of these, 11 studies were selected for inclusion. The quality of the included studies was assessed using the ROBINS-I tool, revealing that 7 studies had a moderate risk of bias, while 4 studies had a serious risk of bias. The meta-analysis demonstrated that robotic chemotherapy compounding was not significantly associated with lower rates of absolute dose errors (MD=-0.04, 95%CI -0.40, 0.33, $I^2=99.7\%$ model with random effect model), external contamination (OR=0.49, 95%CI 0.10, 2.40, $I^2=71.4\%$ model with random effect model) and with a reduction in failure rates or rejected dose (OR=0.45, 95%CI 0.09, 2.17, $I^2=84.1\%$ model with random effect model). Additionally, environmental contamination (OR=1.61, 95%CI 0.72, 3.63, $I^2=54.3\%$ model with random effect model) was more frequently observed in the robotic compounding group, although this difference was not statistically significant. In conclusion, robotic chemotherapy compounding represents an effective alternative to manual preparation by pharmacists. However, its high cost should be considered, and implementation must align with each hospital's specific needs and financial capabilities.

Keywords: robotic compounding; chemotherapy; systematic review; meta-analysis

Corresponding Author:

Pitchayut Rattanatanyapat

Department of Pharmaceutical Care, School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao

19 Village No.2, Mae-ka Sub-district, Mueang District, Phayao 56000, Thailand

E-mail: pitchayut.ra@up.ac.th

บทนำ

โรคมะเร็งถือเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตสูงสุดในประชากรไทย ปัจจุบันยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ข้อมูลจากกองยุทธศาสตร์ และแผนงาน สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข รายงานอัตราการเสียชีวิตในปี พ.ศ. 2566 ของโรคมะเร็งในทุกชนิดเท่ากับ 129.2 คนต่อประชากร 100,000 คน โดยพบการเสียชีวิตในมะเร็งตับมากที่สุด รองลงมา คือ มะเร็งปอด มะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukemia) มะเร็งเต้านม และมะเร็งปากมดลูก ตามลำดับ¹ ส่งผลให้ภาระงานในการเตรียมยาเคมีบำบัดโดยบุคลากรทางการแพทย์เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ยาเคมีบำบัดจัดเป็นยาที่มีความเป็นพิษ (Hazardous drugs) และยาความเสี่ยงสูง (High alert drugs) ตามมาตรฐานของ Institute for Safety Medication Practice (ISMP)² ยาบางชนิดจัดเป็นยา จ.2 ในบัญชียาหลักแห่งชาติที่ถือว่าเป็นยาที่มีราคาแพง มีระบบกำกับกับอนุมัติการสั่งใช้ยา เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถเข้าถึงยาได้อย่างเสมอภาค และเท่าเทียมกัน มาตรฐานวิชาชีพเภสัชกรรมโรงพยาบาล และมาตรฐานโรงพยาบาล และบริการสุขภาพ (Healthcare accreditation) ได้กำหนดให้การผสมเตรียมยาเคมีบำบัดเป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของเภสัชกร เภสัชกรจึงต้องมีความรู้ตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมยาเคมีบำบัด และความรู้ที่เกี่ยวข้องกับยาเคมีบำบัดนั้นๆ เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับยาอย่างถูกต้องครบถ้วน เหมาะสม ผู้ป่วยมะเร็งแต่ละคนจำเป็นต้องได้ยาในปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของมะเร็ง น้ำหนัก ส่วนสูง ตลอดจนระยะของโรค และคุณสมบัติของยาแต่ละชนิดที่จะส่งผลต่อความสามารถในการทำลาย และลดการลุกลามของเซลล์ อีกทั้งการเตรียมยาเคมีบำบัดจะต้องมีความถูกต้อง และแม่นยำสูง เพื่อประสิทธิภาพในการรักษา และให้ผู้ป่วยมีความปลอดภัย ปราศจากการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ และต้องไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของยาเคมีบำบัดสู่สิ่งแวดล้อมด้วย^{3,4}

ปัจจุบันเริ่มมีการนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์เตรียมยาเคมีบำบัดอัตโนมัติเข้ามาใช้ในฝ่ายเภสัชกรรม

โรงพยาบาลในประเทศไทย การศึกษาประสิทธิภาพของระบบหุ่นยนต์เตรียมยาเคมีบำบัด ด้านความถูกต้อง ความแม่นยำ และเวลาที่ใช้ในการทำงานในโรงพยาบาลมะเร็งอุดรธานี พบว่า หุ่นยนต์สามารถเตรียมยาได้อย่างถูกต้อง มีความแม่นยำ โดยรายงานค่ามัธยฐานร้อยละความคลาดเคลื่อนของยาเคมีบำบัดทุกชนิดไม่เกินร้อยละ 5 (min=-2.49, max=4.06) และมีระยะเวลาการเตรียมยาเคมีบำบัดเฉลี่ย 15.1±6.9 นาที (ช่วงระหว่าง 11-35 นาทีต่อการเตรียมยาหนึ่งขนาน) โดยเวลาที่ใช้ในการเตรียมยาด้วยหุ่นยนต์จะแปรผันตามชนิดของยา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำหุ่นยนต์เตรียมยาเคมีบำบัดมาใช้งานได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็วทดแทนการปฏิบัติงานโดยเภสัชกรเพื่อลดการสัมผัสของยาเคมีบำบัด⁵ การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของการเตรียมยาฉีดที่ให้ทางหลอดเลือดดำ (Intravenous admixture หรือ IV admixture) โดยเปรียบเทียบการใช้หุ่นยนต์กับการเตรียมยาดด้วยมือ พบว่า หุ่นยนต์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ช่วยลดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ และสิ่งแวดล้อม ช่วยลดต้นทุนของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้⁶ การวิเคราะห์โอกาสของการใช้ หุ่นยนต์เตรียมยาเคมีบำบัด เปรียบเทียบกับการเตรียมยาดด้วยมือ พบว่า การเตรียมยาเคมีบำบัดโดยเภสัชกรมีแนวโน้มที่จะเกิดการปนเปื้อน (Contamination of the compounding area) น้อยกว่าหุ่นยนต์ (OR=4.251, 95%CI=0.439-51.772) แต่ในส่วนของการปนเปื้อนของถุงยา (Contamination of infusion bags) พบว่า หุ่นยนต์มีการปนเปื้อนที่น้อยกว่า (OR=0.176, 95%CI=0.084-0.365) อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 ผลลัพธ์นี้ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁷ ปัจจุบันยังไม่พบหลักฐานสนับสนุนที่เปรียบเทียบความผิดพลาดของการเตรียมยาเคมีบำบัดโดยตรง ผลลัพธ์ที่ศึกษาล้วนมาจากการศึกษาที่มีความแตกต่างของระเบียบวิธีวิจัย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ และวิเคราะห์โอกาสของการใช้หุ่นยนต์ช่วยเตรียมยาเคมีบำบัดเปรียบเทียบกับ การเตรียมยาดด้วยมือ

โดยเภสัชกร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความผิดพลาด และการปนเปื้อนในการเตรียมยาเคมีบำบัด อันเป็นประโยชน์ในการลดภาระงาน ก่อให้เกิดความปลอดภัย ลดการสัมผัส หรือการปนเปื้อนของสารเคมีที่เป็นพิษต่อเซลล์ ทั้งต่อเภสัชกร และผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ และวิเคราะห้ภูมิาน (Systematic review and meta-analysis) โดยสืบค้นข้อมูลงานวิจัยจากฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ มีการรายงานผลการศึกษาดำเนินการตามแนวทางของ PRISMA statement⁸ และมีการลงทะเบียนโปรโตคอลของการศึกษาที่ PROSPERO มีรหัสการศึกษา คือ CRD420251035073

1. การสืบค้นและคัดเลือกงานวิจัย: ผู้วิจัยสืบค้นงานวิจัยจากฐานข้อมูลต่างประเทศ ได้แก่ PubMed, ScienceDirect, Cochrane reviews (CENTRAL) ฐานข้อมูลประเทศไทย ได้แก่ ThaiJO, Thai Library Integrated System (Thai LIS) และ

ฐานข้อมูลที่ไม่มีการเผยแพร่งานวิจัย (Grey literature) ได้แก่ OATD (Open access theses and dissertations), BASE (Bielefeld academic search engine) และ CORE (Connecting repositories) นอกจากนี้ได้ทำการสืบค้นงานวิจัยจากเอกสารอ้างอิงเพิ่มเติมด้วยการสืบค้นจะใช้คำค้น (Keywords) หรือคำค้นทางการแพทย์ (Medical subject headings; MeSH) โดยกำหนดกรอบ PICO framework ได้ดังตารางที่ 1 (Table 1) สืบค้นช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มมีฐานข้อมูลจนถึง 16 เมษายน พ.ศ. 2568 โดยจำกัดเฉพาะภาษาอังกฤษและภาษาไทย เกณฑ์คัดเลือกเข้าจะต้องเป็นการศึกษาที่มีรายงานผลลัพธ์ของการเตรียมยาเคมีบำบัดเปรียบเทียบระหว่างหุ่นยนต์กับการเตรียมยาด้วยมือโดยบุคลากรทางการแพทย์ หรือเภสัชกร ซึ่งจะไม่มีการจำกัดรูปแบบของการศึกษา การคัดเลือกงานวิจัยจะทำโดยผู้วิจัย 2 คนที่เป็นอิสระต่อกัน (NS และ PR) และหากมีงานวิจัยที่มีความเห็นไม่ตรงกัน ผู้วิจัยจะปรึกษาร่วมกัน หากไม่สามารถสรุปความคิดเห็นร่วมกันได้จะดำเนินการปรึกษาร่วมกับผู้วิจัยที่ 3 เพื่อหาข้อสรุป

Table 1 Keywords and MeSH terms defined according to the PICO framework

PICO framework	Keywords and MeSH term
Population (P)	Oncolytic; Anticancer; Antitumor; Chemotherapy; Hazardous drug; Cytostatic; Cytotoxic; Antineoplastic
Intervention (I)	Robotic; Automatic; Automation
Comparator (C)	Manual; Compounding; Preparation; Pharmacy; Pharmacist
Outcomes (O)	Absolute dose error; Dose accuracy; Dose precision; Contamination; Wipe sampling; Failure rate; Error

2. การสกัดข้อมูล และประเมินคุณภาพงานวิจัย: ผู้วิจัย 2 คน (PK กับ NS และ SS กับ NS) จะดำเนินการโดยเป็นอิสระต่อกัน โดยสกัดข้อมูลงานวิจัยที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อผู้วิจัย ปีที่เผยแพร่ ประเทศที่ทำการศึกษา หุ่นยนต์ บุคลากรที่เตรียมยา จำนวนตัวอย่าง สูตรยาเคมีบำบัด การวัดผลลัพธ์ และการรายงานผลลัพธ์ สำหรับคุณภาพของงานวิจัยจะใช้

เครื่องมือ ROBIN-I ในการประเมินคุณภาพ และรายงานผลทั้ง 7 มิติ และในภาพรวม ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ มีความเสี่ยงต่ออคติต่ำ (Low risk of bias) มีความเสี่ยงต่ออคติปานกลาง (Moderate risk of bias) มีความเสี่ยงต่ออคติสูง (Serious risk of bias) และมีความเสี่ยงต่ออคติในระดับวิกฤติ (Critical risk of bias)⁹

3. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์ทางสถิติ: พิจารณาตามลักษณะของผลลัพธ์ กรณีที่ผลลัพธ์ที่เป็นการแบ่งกลุ่ม (Binary outcome) เช่น การปนเปื้อนจากสารเคมี หรือ ยามะเร็งจากการเก็บตัวอย่างจะรายงานเป็นอัตราส่วน (Odd ratio; OR) กรณีที่ผลลัพธ์เป็นข้อมูลต่อเนื่อง (Continuous outcome) เช่น ความคลาดเคลื่อนของขนาดยา (Absolute dose error) จะรายงาน effect size เป็น mean difference หรือ standard mean difference สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติจะเลือกแบบจำลองการวิเคราะห์จากความต่างแบบทางสถิติ (Statistical heterogeneity) โดยหากไม่พบความต่างแบบกัน จะวิเคราะห์ผลโดยใช้ fix effect model และหากพบว่างานวิจัยมีความต่างแบบกันมาก หรือค่า I^2 เกิน 50% จะวิเคราะห์ผลลัพธ์โดยใช้ random effect model

4. การวิเคราะห์กลุ่มย่อย ความไว และอคติจากการตีพิมพ์: ผู้วิจัยวางแผนวิเคราะห์กลุ่มย่อยตาม

ลักษณะของหุ่นยนต์ สูตรยาเคมีบำบัด ศักยภาพของโรงพยาบาล และคุณภาพของงานวิจัย โดยพิจารณา ลักษณะของความแตกต่างทางคลินิก (Clinical heterogeneity) โดยตัดงานวิจัยที่มีข้อสงสัยออกจากการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังวิเคราะห์อคติจากการตีพิมพ์ (Publication bias) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลมีจำกัด จึงไม่สามารถวิเคราะห์กลุ่มย่อย และวิเคราะห์ความไวตามแผนที่วางไว้ทั้งหมดได้

ผลการศึกษา

1. การคัดเลือกรงานวิจัย: การสืบค้นงานวิจัยจากฐานข้อมูลต่างๆ พบงานวิจัยจำนวน 2,197 เรื่อง มีงานวิจัยที่ซ้ำ 417 เรื่อง เมื่อคัดเลือกรงานวิจัยจากชื่อเรื่อง และบทคัดย่อ และประเมินงานวิจัยจากรายงานฉบับเต็มแล้ว มีงานวิจัยที่ถูกคัดเลือกเข้าจำนวน 11 เรื่อง ดังแสดงในรูปที่ 1 (Figure 1)

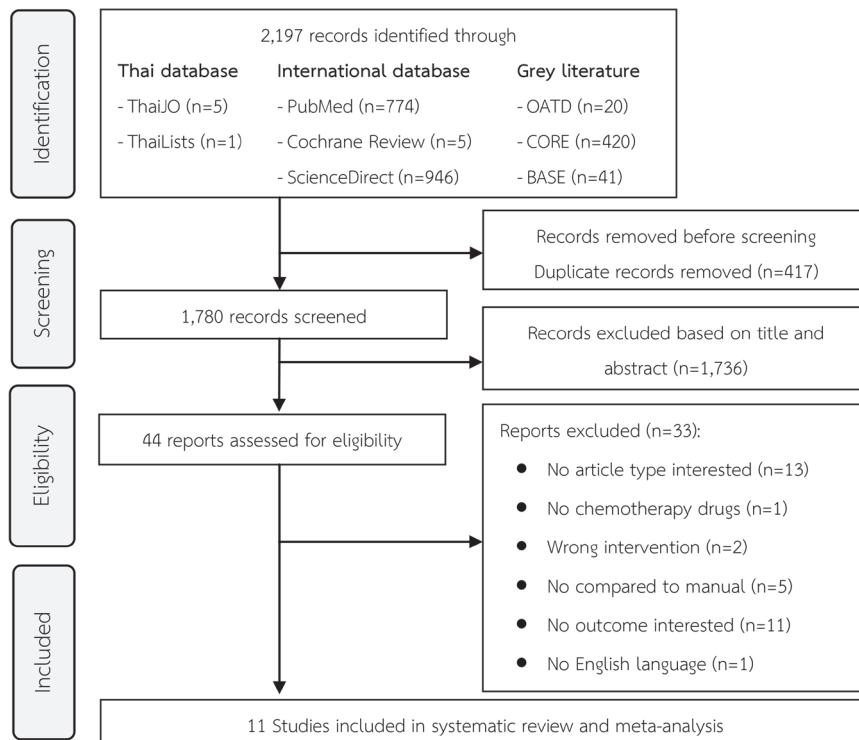


Figure 1 Prisma flowchart of study selection and inclusion process

2. การประเมินคุณภาพงานวิจัย: รายงานผลการประเมินคุณภาพของงานวิจัยได้ในตารางที่ 2 (Table 2) พบว่า งานวิจัยทั้งหมด 7 เรื่องใน 11 เรื่อง มีภาพรวมของคุณภาพในระดับสูง และอีก 4 เรื่องมีความเสี่ยงต่ออคติในระดับสูงวิกฤต โดยอคติที่พบได้มากที่สุด คือ อคติจากปัจจัยกวน (Bias due to confounding) อคติจากการคัดเลือก (Bias in selection of participants) อคติจากการวัดผลลัพธ์ (Bias in measurement of outcomes) และอคติจากการรายงานผล (Bias in selection of the reported result) สำหรับอคติจากสิ่งแทรกแซง (Bias in classification of interventions) และอคติจากข้อมูลที่หายไป (Bias due to missing data) มีความเสี่ยงต่ออคติในระดับต่ำ

3. ลักษณะของงานวิจัย: จากงานวิจัยจำนวน 11 เรื่อง พบว่า เป็นการศึกษาที่ทำในโรงพยาบาลทั่วไป หรือโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยที่มีหน่วยเคมีบำบัด เฉพาะ มีการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกร และพัฒนาการใช้หุ่นยนต์อัตโนมัติเข้ามาช่วยในการเตรียมยาเคมีบำบัด¹⁰⁻²⁰ รูปแบบของการศึกษา พบการศึกษาเชิงสังเกตที่ไม่มีการสุ่มแบบไปข้างหน้า (Prospective observational study; non-RCT design) จำนวน 6 เรื่อง^{12,14,16-19} การศึกษาเชิงสังเกตแบบเปรียบเทียบต่างเวลา (Observational historical control design) จำนวน 2 เรื่อง^{13,20} การศึกษาแบบกึ่งทดลองที่ไม่มีการสุ่มไปข้างหน้า (Non-RCT prospective quasi-experimental design)¹⁰ จำนวน 1 เรื่อง การศึกษาทดลองแบบไขว้ที่ไม่มีการสุ่มแบบไปข้างหน้า

(Non-RCT prospective cross-over design) จำนวน 1 เรื่อง¹⁵ และการศึกษาแบบย้อนหลัง (Retrospective design) จำนวน 1 เรื่อง¹¹ การวัดผลลัพธ์ที่สำคัญ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนของขนาดยา (Absolute dose error) โดยวิเคราะห์ปริมาณยาด้วยวิธี Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)^{13,17,20}, High-Performance Liquid Chromatography coupled with Mass Spectrometry (HPLC-MS)¹⁴, High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)^{11,12}, Ultra-High Performance Liquid Chromatography (UHPLC)¹², และวิธีวัดโดยน้ำหนัก (Gravimetric analysis)^{10-12,15,18,19} ความเข้มข้นของยาที่ปนเปื้อน (Concentration of contamination) การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม (Environmental contamination) การปนเปื้อนจากภายนอก (External contamination) และการปนเปื้อนข้ามระหว่างภาชนะ หรืออุปกรณ์ (External cross-contamination) ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างจากการเช็ดทำความสะอาด (Wipe sample) ที่จุดต่างๆ และผลลัพธ์ของความล้มเหลวจากการเตรียมยา (Failure rate หรือ Rejected dose)^{10,11,15,18} รายการยาเคมีบำบัดที่พบการเตรียม ได้แก่ 5-fluorouracil, Cyclophosphamide, Cisplatin, Carboplatin, Oxaliplatin, Methotrexate, Docetaxel, Etoposide, Irinotecan, Paclitaxel, Gemcitabine, Busulfan, Cytarabine, Fludarabine, Methotrexate, Mitoxantrone, Leucovorin และ Mesna (2-mercaptoethane sulfonate sodium) สำหรับรายละเอียดอื่นๆ แสดงได้ดังในตารางที่ 3 (Table 3)

Table 2 Results of quality assessment by ROBINS-I risk of bias

No.	Authors (year of publication)	Due to confounding	Selection of participants	Classification of interventions	Deviations from intended intervention	Due to missing data	Measurement of outcomes	Selection of the reported result	Overall risk of Bias
1	Seger AC, et al. (2012) ¹⁸	●	●	●	●	●	●	●	●
2	Masini C, et al. (2014) ¹⁵	●	●	●	●	●	●	●	●
3	Sessink PJ, et al. (2015) ¹⁹	●	●	●	●	●	●	●	●
4	Schierl R, et al. (2015) ¹⁷	●	●	●	●	●	●	●	●
5	Iwamoto T, et al. (2017) ¹⁴	●	●	●	●	●	●	●	●
6	Krämer I (2018) ¹³	●	●	●	●	●	●	●	●
7	Geersing TH, et al. (2020) ¹²	●	●	●	●	●	●	●	●
8	Buning AW (2020) ²⁰	●	●	●	●	●	●	●	●
9	Hao ML, et al. (2022) ¹⁶	●	●	●	●	●	●	●	●
10	Shi LL (2024) ¹⁰	●	●	●	●	●	●	●	●
11	Cho HN (2024) ¹¹	●	●	●	●	●	●	●	●
●=Low risk of bias; ●=Moderate risk of bias; ●=Serious risk of bias and ●=Critical risk of bias									

4. การวิเคราะห์หอคิมน: ได้แก่ความคลาดเคลื่อนของขนาดยา (Absolute dose error) ความล้มเหลวจากการเตรียมยา (Rejected dose หรือ Failure rate) การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม (Environmental contamination) และการปนเปื้อนจากภายนอก (External contamination)

ความคลาดเคลื่อนของขนาดยา: ได้จากงานวิจัย 5 เรื่องใน 21 รายงาน^{11,12,14,15,18} พบว่าการเตรียมยาโดยหุ่นยนต์ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของขนาดยาน้อยกว่าการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (MD=-0.04, 95%CI -0.40, 0.33, $I^2=99.7\%$ model with random effect model) ดังรูปที่ 2 (Figure 2)

ความล้มเหลวจากการเตรียมยา: ซึ่งหมายถึงความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อนของขนาดยามากกว่า หรือน้อยกว่า 10% ซึ่งเป็นผลทำให้

ต้องเตรียมยาเคมีบำบัดใหม่ วัดได้จากงานวิจัย 4 เรื่อง^{10,11,15,18} พบว่า การเตรียมยาโดยหุ่นยนต์เกิดความล้มเหลวของการเตรียมน้อยกว่าการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (OR=0.45, 95%CI 0.09, 2.17, $I^2=84.1\%$ model with random effect model) ดังรูปที่ 3 (Figure 3)

การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม: ซึ่งวัดโดยการเก็บตัวอย่างจากการเช็ดทำความสะอาดพื้นที่ผิวหลายๆ จุดบริเวณสถานที่เตรียมยา ได้จากงานวิจัย 4 เรื่อง^{13,14,17,20} พบว่า การเตรียมยาโดยหุ่นยนต์พบการปนเปื้อนจากยาเคมีบำบัดในสิ่งแวดล้อมมากกว่าการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (OR=1.61, 95%CI 0.72, 3.63, $I^2=54.3\%$ model with random effect model) ดังรูปที่ 4 (Figure 4)

Table 3 Characteristics of studies included in the systematic review and meta-analysis

No.	Authors	Country	Study design and period	Intervention and comparator	Sample size (RC VS MC)	Cytotoxic agents	Outcome
1.	Seger AC, et al. (2012) ¹⁸	USA (University hospital)	Prospective observational study; non-RCT design; study period: 2 years	CytoCare VS. Manual compounding	294 (110 VS 184)	BSF, CPT, CYT, FDB, CPA, Mesna, ETP, MTX, MXT and LVR	Absolute dose error and Failure rate
2.	Masini C, et al. (2014) ¹⁵	Italy (Specialized cancer hospital and research institute)	Non-RCT prospective cross-over design; study period: 4 weeks	APOTECACHemo VS. Manual compounding	681 (348 VS. 333)	5-FU, CPA, GCT, TST, BCZ, OXL, CPT, IRC, PCT and ETP	Absolute dose error and Failure rate
3.	Sessink PJ, et al. (2015) ¹⁹	Belgium (University Hospital)	Prospective observational study; non-RCT design; study period 3 days	CytoCare VS. Manual compounding	8 (8 VS 0)	CPA	Environmental contamination
4.	Schierl R, et al. (2015) ¹⁷	Italy (106-bed cancer hospital)	Prospective observational study; non-RCT design; study period: 4 days	APOTECA-chemo VS. Manual compounding	40 (20 VS 20)	CPA	Environmental contamination, External contamination, External cross-contamination
5.	Iwamoto T, et al. (2017) ¹⁴	Japan (University Hospital)	Prospective observational study; non-RCT design; study period: 15 days	APOTECA-chemo VS. Manual compounding	40 (20 VS. 20)	5-FU and CPA	Absolute dose error, Environmental contamination and External contamination

Table 3 Continued

No.	Authors	Country	Study design and period	Intervention and comparator	Sample size (RC VS MC)	Cytotoxic agents	Outcome
6.	Krämer I (2018) ¹³	Germany (University Hospital)	Observational historical control design; study period: 30 days	CytoCare (CY) vs. APOTECA-chemo VS. Manual compounding	135 (105 VS 30)	CPT, CBO, OXL and 5-FU	Environmental contamination
7.	Geersing TH, et al. (2020) ¹²	Netherlands (65-bed cancer hospital)	Prospective observational study; non-RCT design; study period: 10 days	APOTECA-chemo VS. Manual compounding	80 (40 VS 40)	MTX and CPA	Absolute dose error
8.	Buning AW (2020) ²⁰	Netherlands (55-bed cancer hospital)	Observational historical control design; study period: 5 days	APOTECA-chemo VS. Manual compounding	160 (80 VS. 80)	5-FU and CPA	Environmental contamination, External contamination, External cross-contamination
9.	Hao ML, et al. (2022) ¹⁶	China (4,300-bed general hospital)	Prospective observational study; non-RCT design; study period: 3 days	WEINAS robot VS. Manual compounding	60 (33 VS 27)	CPA, 5-FU, GCT	External contamination
10.	Shi LL (2024) ¹⁰	USA (University Hospital)	Non-RCT prospective quasi-experimental design; study period: 10 days	APOTECACHemo VS. Manual compounding	645 (200 VS 445)	CBO, PCT, CYT, ETP, DXB, GCT, CPA and 5-FU	Failure rate
11.	Cho HN (2024) ¹¹	USA (Specialized cancer hospital)	Retrospective design; study period: 1 year	APOTECACHemo VS. Manual compounding	5,526 (3,851 VS 1,675)	CBO, DCT, CPA, ETP, IRC, OXL and PCT	Absolute dose error and Failure rate

Abbreviation: RC=Robotic chemotherapy compounding, MC=Manual chemotherapy compounding, 5-FU=5-fluorouracil, CPA=Cyclophosphamide, CPT=Cisplatin, CBO=Carboplatin, OXL=Oxaliplatin, MTX=Methotrexate, DCT=Docetaxel, ETP=Etoposide, IRC=Irinotecan, PCT=Paclitaxel, CYT=Cytarabine, DXB=Doxorubicin, GCT=Gemcitabine, BSF=Busulfan, FDB=Fludarabine, MXT=Mitoxantrone, LVR=Leucovorin, TST=Trastuzumab, BCZ=Bevacizumab

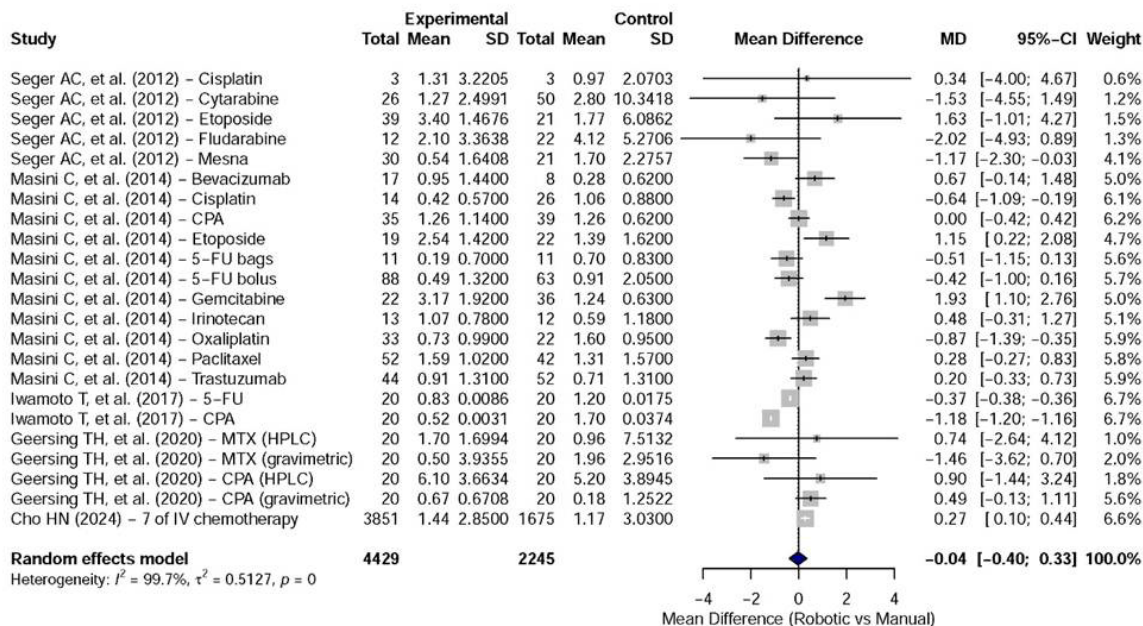


Figure 2 Forest plot of meta-analysis in absolute dose error

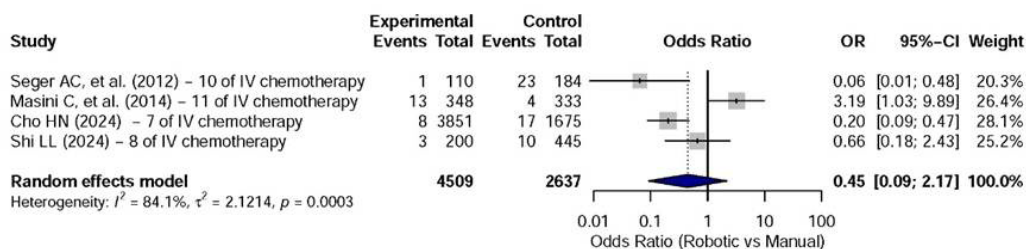


Figure 3 Forest plot of meta-analysis in rejected dose (failure rate)

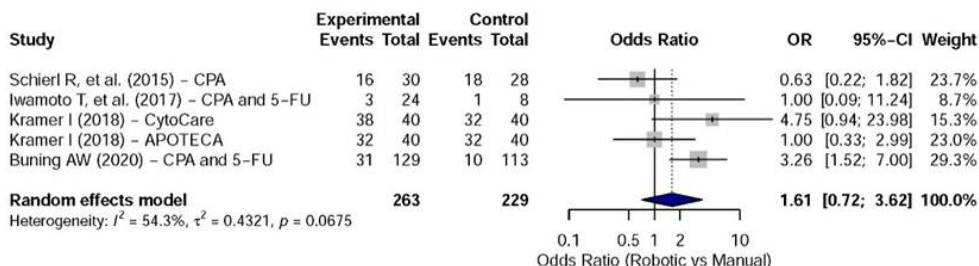


Figure 4 Forest plot of meta-analysis in environmental contamination

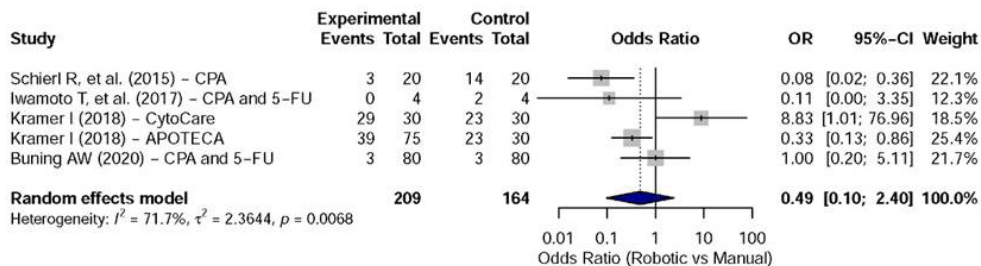


Figure 5 Forest plot of meta-analysis in external contamination

การปนเปื้อนจากภายนอก: หมายถึง การตกค้างของยาเคมีบำบัดที่อาจหลงเหลืออยู่บนผิวหนังภายนอกของภาชนะบรรจุยา เช่น ถุงยาฉีด (Infusion bag) หรือกระบอกฉีดยา (Syringe) ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงในการสัมผัสสารต่อบุคลากรที่เตรียมยา การวิเคราะห์ห่อภิรมณ์ได้จากงานวิจัย 4 เรื่อง^{13,14,17,20} พบว่า การเตรียมยาโดยหุ่นยนต์พบการปนเปื้อนภายนอกได้น้อยกว่าการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (OR=0.49, 95%CI 0.10, 2.40, $I^2=71.4\%$ model with random effect model) ดังรูปที่ 5 (Figure 5) และเมื่อพิจารณาอคติจากการตีพิมพ์ของ funnel plot ด้วย visual inspection ในผลลัพธ์ทั้งหมด พบว่า ยังไม่พบอคติจากการตีพิมพ์ ดังแสดงในภาคผนวกเพิ่มเติม

อภิปรายผล

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ และวิเคราะห์ห่อภิรมณ์ เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความผิดพลาด และการปนเปื้อนของการเตรียมยาเคมีบำบัดจากระบบหุ่นยนต์ และการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกร จากการรวบรวมการศึกษา และวิเคราะห์ห่อภิรมณ์พบว่า ไม่พบความแตกต่างของการใช้หุ่นยนต์เตรียมยาเคมีบำบัดกับการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกร ในด้านความคลาดเคลื่อนของขนาดยา การปนเปื้อนภายนอก การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม และความล้มเหลวจากการเตรียมยาที่ต้องเตรียมใหม่

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ และวิเคราะห์ห่อภิรมณ์ในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษา

ที่ผ่านมาในแง่ของความถูกต้องแม่นยำของขนาดยาที่เตรียมได้ดีกว่าการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรเพียงเล็กน้อย ข้อมูลจากการศึกษาที่รวบรวมงานวิจัย 14 เรื่อง และวิเคราะห์ห่อภิรมณ์ 4 เรื่อง พบว่า หุ่นยนต์เตรียมยา มีอัตราความล้มเหลวอยู่ในช่วง 0.90-16.75% โดยพิจารณาจากเกณฑ์ความเคลื่อนของขนาดยาที่ $\pm 5\%$ ⁷ และการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบที่มีการสังเคราะห์เชิงบรรยาย (Narrative synthesis) จากงานวิจัย 25 เรื่อง พบว่า หุ่นยนต์สามารถเตรียมยาได้ถูกต้องแม่นยำมากกว่า และช่วยลดต้นทุนรายปีได้²¹ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยทั้ง 2 เรื่องนี้ ยังไม่สามารถสรุประยะเวลาที่ใช้เตรียมยา และต้นทุน-ประสิทธิผลได้อย่างชัดเจน การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ในด้านการปนเปื้อนภายนอก การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ความคลาดเคลื่อนของขนาดยา และความล้มเหลวจากการเตรียมยาที่ต้องเตรียมใหม่สามารถใช้หุ่นยนต์ช่วยเตรียมยาเคมีบำบัดได้ ไม่แตกต่างจากการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกร อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีหุ่นยนต์เตรียมยาเคมีบำบัดยังถือเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาสูง จำเป็นต้องอาศัยการประเมินความคุ้มค่าต้นทุน-ประสิทธิผล หรือต้นทุน-อรรถประโยชน์ของเทคโนโลยี การประเมินผลกระทบต้องประมาณ และการประเมินความเป็นไปได้ของการใช้เทคโนโลยี โดยพิจารณาจุดคุ้มทุนของการลงทุนสำหรับบริบทของประเทศไทย และแต่ละโรงพยาบาลต่อไปในอนาคตด้วย

ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ของการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมของการเตรียมยาเคมีบำบัดโดยใช้หุ่นยนต์จะสูงกว่าการเตรียมยาด้วยมือประมาณ 1.61 เท่า

แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ในแง่ของความหมายทางคลินิก ค่าที่เพิ่มขึ้นนี้ถือว่าอยู่ในระดับที่น่ากังวล โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาพร้อมกับคุณสมบัติของยาเคมีบำบัดซึ่งเป็นสารพิษต่อเซลล์ และมีผลต่อสุขภาพของบุคลากรที่สัมผัส พบว่า ตำแหน่งมือจับที่แขนของหุ่นยนต์ (Gripper of the robotic arm) พื้นผิวใต้จุดที่จ่ายยา (Surface beneath the dosing device) และภาชนะด้านนอกของถุงยาจะเป็นจุดที่มีการปนเปื้อนมากที่สุด ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการมีแนวทางการทำความสะอาดหุ่นยนต์ที่ชัดเจน มีการระบุตำแหน่งที่ควรทำความสะอาดทั้งก่อน และหลังเตรียมยาอย่างสม่ำเสมอ^{13,20}

ข้อมูลการสำรวจภาระงานเภสัชกรในการเตรียมยาเคมีบำบัดจากโรงพยาบาล 56 แห่งในประเทศไทย มีจำนวนใบสั่งยาเคมีบำบัดเฉลี่ย 13-14 ใบยาต่อวัน และมีแนวโน้มของภาระงานเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในโรงพยาบาลที่สังกัดมหาวิทยาลัยที่มีคณะแพทยศาสตร์มีการเตรียมยาเคมีบำบัด 6,127 รายการต่อปี และโรงพยาบาลที่มีจำนวนเตียง 500 เตียงขึ้นไป มีการเตรียมยาเคมีบำบัดมากที่สุดถึง 10,847 รายการต่อปี และยาที่มีอัตราการเตรียมมากที่สุด คือ 5-Fluorouracil รองลงมา ได้แก่ Paclitaxel, Cyclophosphamide, Doxorubicin และ Oxaliplatin ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนจากการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรเกิดขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1.00 ได้แก่ เตรียมยาไม่ถูกต้องตามคำสั่งแพทย์ เตรียมแล้วเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันของส่วนประกอบ เกิดจากการปนเปื้อนติดฉลากผิด การร่วซึม และการเก็บยาในสถานะที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้ การสำรวจยังพบโรงพยาบาล 4 แห่ง (ร้อยละ 7.41) ไม่มีข้อกำหนดการทำลายยา โดยสาเหตุของการทำลายยาทั้งหมดเกิดจากการเตรียมยาไม่ถูกต้องตามคำสั่งแพทย์ พบสิ่งแปลกปลอม แพทย์ยกเลิกคำสั่งใช้ยา และยาหมดอายุหลังเตรียม²² ซึ่งทั้งหมดนี้ถือเป็นความเสี่ยงที่สำคัญต่อการสัมผัสของผู้ปฏิบัติงาน และเป็นต้นทุนแฝงที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในระบบบริหารจัดการยาดังนั้น การประเมิน

ต้นทุน-ประสิทธิผลของหุ่นยนต์ในอนาคตนั้น จึงควรพิจารณาถึงปริมาณยาที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้ ค่าการกำจัดของเสีย และผลกระทบทางเภสัชเศรษฐศาสตร์ในระยะยาวด้วย

สำหรับประเทศไทย มีการนำหุ่นยนต์อัตโนมัติมาใช้ทดแทนการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น สถาบันมะเร็งแห่งชาติ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์ โรงพยาบาลมะเร็งอุดรธานี และโรงพยาบาลมะเร็งอุบลราชธานี การใช้หุ่นยนต์ทดแทนจะมีประโยชน์ในการลดภาระงาน และความผิดพลาดจากบุคคล (Human error) อย่างไรก็ตาม ยังสามารถพบความผิดพลาดของการเตรียมยาเคมีบำบัดด้วยหุ่นยนต์ที่รายงานจากงานวิจัยต้นฉบับ ได้แก่ แขนกลของหุ่นยนต์หยิบชิ้นส่วนไม่สำเร็จ แขนของหุ่นยนต์ไม่เปิดใช้งาน หรืออาจเกิดจากมีแรงต้านของสิ่งแวดล้อม การร่วซึมของภาชนะบรรจุ การทำยาหกตกแตก การใส่สารละลายผิด สาเหตุจากความหุนหันของยาหลังเตรียมและความผิดพลาดที่เกิดจากการรายงานขนาดยาที่คลาดเคลื่อนเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้^{10,11,15,18} ดังนั้น การใช้หุ่นยนต์อัตโนมัติจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความพร้อมในการปฏิบัติการ การทำความสะอาด การตรวจสอบความถูกต้อง และความแม่นยำให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของการเตรียมยาเคมีบำบัด และเกณฑ์ซ่อมบำรุงของบริษัทที่ผลิตหุ่นยนต์อย่างสม่ำเสมอด้วย

ข้อดีของการศึกษานี้ เป็นการศึกษาฉบับปรับปรุง โดยเริ่มต้นขั้นตอนการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบใหม่ และสร้างข้อสรุปด้วยการวิเคราะห์อภิमानในขั้นสุดท้าย เพื่อศึกษาความผิดพลาดในการเตรียมยาเคมีบำบัด และการปนเปื้อนของระบบหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับกรเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกร และมุ่งหวังในการสร้างหลักฐานสนับสนุนเชิงประจักษ์ให้เป็นปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงในการนำไปใช้ประโยชน์ในหลายประการ ได้แก่ ประการแรก คุณภาพของงานวิจัยที่นำมาวิเคราะห์ผล เป็นงานวิจัยที่มีความเสี่ยงในการเกิดอคติ

ในระดับปานกลาง และสูงที่ต้องพิจารณา ทำให้เกิดความสงสัยในคุณภาพของข้อมูลโดยเฉพาะมิติจากปัจจัยกวน การเลือกตัวอย่าง การเบี่ยงเบนจากแผนที่วางไว้ อคติจากการวัดผลลัพธ์ และการรายงานผล ดังนั้น การนำผลการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง และมีการใช้ข้อมูลในส่วนอื่นๆ ประกอบเพิ่มเติม ประการที่สอง จำนวนงานวิจัยที่นำเข้ามาวิเคราะห์ห่อภิมาณมีจำนวนการศึกษาน้อย ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์กลุ่มย่อย วิเคราะห์ความไว และไม่สามารถทดสอบอคติของการตีพิมพ์ด้วยสถิติของ Egger's Test หรือ Begg's Test ที่วางแผนไว้ได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ได้มีการพิจารณาอคติจากการตีพิมพ์ด้วย Visual inspection แทน และประการสุดท้าย การวิเคราะห์ห่อภิมาณในครั้งนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เป็นระยะเวลาของการเตรียมยา ดันทุน และดันทุน-ประสิทธิภาพของการเตรียมยาเคมีบำบัดได้ เนื่องจากมีข้อมูลสนับสนุนที่ไม่เพียงพอ ซึ่งหากมีการศึกษาผลลัพธ์ตามที่กล่าวมาข้างต้นเพิ่มเติมในอนาคตได้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้กำหนดนโยบายในระดับโรงพยาบาล และระดับประเทศได้

สรุปผล

ไม่พบความแตกต่างของการเตรียมยาเคมีบำบัดโดยระบบหุ่นยนต์ และการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรในด้านความคลาดเคลื่อนของขนาดยา การปนเปื้อนจากภายนอก การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และความล้มเหลวจากการเตรียมยาที่ต้องเตรียมใหม่ ดังนั้น สามารถนำระบบหุ่นยนต์เตรียมยาเคมีบำบัดมาใช้ทดแทนการเตรียมยาด้วยมือโดยเภสัชกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีผลลดภาระงานของเภสัชกรได้ อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยียังมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ จำเป็นต้องพิจารณาตามความเหมาะสมในบริบทของแต่ละโรงพยาบาล

ข้อเสนอแนะ

การนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์เตรียมยาเคมีบำบัดมาใช้ในโรงพยาบาล จำเป็นต้องอาศัยการประเมินความคุ้มค่าต้นทุน-ประสิทธิผล หรือต้นทุน-อรรถประโยชน์ของเทคโนโลยี การประเมินผลกระทบต้องประมาณ และการประเมินความเป็นไปได้ของการใช้เทคโนโลยี โดยพิจารณาจุดคุ้มทุนของการลงทุนสำหรับบริบทของประเทศไทย และแต่ละโรงพยาบาลต่อไปในอนาคตด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Strategy and planning division of Office of the Permanent Secretary, Ministry of Public Health. Public health statistic A.D. 2023. Nonthaburi: Ministry of Public Health; 2023.
2. ISMP list of high-alert medications in acute care settings [Internet]. Institute for Safety Medication Practice. 2018 [cited 2025 April 30]. Available from: <https://www.ismp.org/sites/default/files/attachments/2018-08/highAlert2018-Acute-Final.pdf>.
3. The Association of hospital pharmacist (Thailand) [Internet]. [cited 2025 April 30]. Available from: <https://www.thaihp.org/drug-system-survey/>.
4. National Cancer Institute of Thailand. Standard practice manual for chemotherapy preparation and post-chemotherapy patient care. Bangkok: National Cancer Institute of Thailand; 2017.
5. Lukanawonakul A, Siripakornkan T, Tungkasamit T. Effectiveness of the chemotherapy drug preparation robot accuracy and precision and working time for injectable anticancer drugs in Udon Thani cancer hospital patients. J DMS 2023;48(4):47-54. (in Thai)

6. Yang C, Ni X, Zhang L, et al. Intravenous compounding robots in pharmacy intravenous admixture services: A systematic review. *Medicine (Baltimore)* 2023;102(19):e33476. doi:10.1097/MD.00000000000033476.
7. Shin S, Koo J, Kim SW, et al. Evaluation of robotic systems on cytotoxic drug preparation: A systematic review and meta-analysis. *Medicina (Kaunas)* 2023; 59(3):431. doi:10.3390/medicina59030431.
8. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *J Clin Epidemiol* 2021;134:178-89. doi:10.1016/j.jclinepi.2021.03.001.
9. Sterne JA, Hernán MA, Reeves BC, et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ* 2016;355:i4919. doi:10.1136/bmj.i4919.
10. Shi LL. Implementation and evaluation of robotics intravenous compounding technology in a tertiary hospital oncology pharmacy. Houston: University of Houston; 2024.
11. Cho HN, Wells L, Halford Z. Implementation and evaluation of APOTEC Achemo in a community cancer center: A comparative study of robotic versus manual antineoplastic preparation. *J Pharm Technol* 2024;40(6): 269-76. doi:10.1177/87551225241278203.
12. Geersing TH, Klous MG, Franssen EJJ, et al. Robotic compounding versus manual compounding of chemotherapy: Comparing dosing accuracy and precision. *Eur J Pharm Sci* 2020;155:105536. doi:10.1016/j.ejps.2020.105536.
13. Krämer I, Federici M, Schierl R. Environmental and product contamination during the preparation of antineoplastic drugs with robotic systems. *Pharm Technol Hosp Pharm* 2018;3. doi:10.1515/pthp-2018-0018.
14. Iwamoto T, Morikawa T, Hioki M, et al. Performance evaluation of the compounding robot, APOTEC Achemo, for injectable anticancer drugs in a Japanese hospital. *J Pharm Health Care Sci* 2017;3:12. doi:10.1186/s40780-017-0081-z.
15. Masini C, Nanni O, Antaridi S, et al. Automated preparation of chemotherapy: Quality improvement and economic sustainability. *Am J Health Syst Pharm* 2014;71(7):579-85. doi:10.2146/ajhp130489.
16. Hao M, Wang T, Zhu J, et al. Evaluation of external contamination on the vial surfaces of some hazardous drugs that commonly used in Chinese hospitals and comparison between environmental contamination generated during robotic compounding by IV: dispensing robot vs. manual compounding in biological safety cabinet. *J Oncol Pharm Pract* 2022;28(7): 1487-98. doi:10.1177/10781552211023571.
17. Schierl R, Masini C, Groeneveld S, et al. Environmental contamination by cyclophosphamide preparation: Comparison of conventional manual production in biological safety cabinet and robot-assisted production by APOTEC Achemo. *J Oncol Pharm Pract* 2016;22(1):37-45. doi:10.1177/1078155214551316.

18. Seger AC, Churchill WW, Keohane CA, et al. Impact of robotic antineoplastic preparation on safety, workflow, and costs. *J Oncol Pract* 2012;8(6):344-9, 1 p following 349. doi:10.1200/JOP.2012.000600.
19. Sessink PJ, Leclercq GM, Wouters DM, et al. Environmental contamination, product contamination and workers exposure using a robotic system for antineoplastic drug preparation. *J Oncol Pharm Pract* 2015;21(2): 118-27. doi:10.1177/1078155214522840.
20. Buning WA, Geersing TH, Crul M. The assessment of environmental and external cross-contamination in preparing ready-to-administer cytotoxic drugs: A comparison between a robotic system and conventional manual production. *Int J Pharm Pract* 2020;28(1):66-74. doi:10.1111/ijpp.12575.
21. Batson S, Mitchell SA, Lau D, et al. Automated compounding technology and workflow solutions for the preparation of chemotherapy: A systematic review. *Eur J Hosp Pharm* 2020;27(6):330-6. doi:10.1136/ejhpharm-2019-001948.
22. Youngkong S, Puntong S, Suksiriworapong J, et al. Situation analysis of intravenous admixture in Thai hospitals and their readiness for introducing automated intravenous admixture solutions. Bangkok: Faculty of Pharmacy, Mahidol University and Institute of Field Robotics, King Mongkut's University of Technology Thonburi 2024.