

คุณภาพ การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา และผลกระทบทางคลินิกของ ส่วนประกอบโลหิต : นัยสำคัญต่อเวชปฏิบัติการให้เลือด

นภาพร โมสิกันนท์ วาสิตา นวจิตไพบูลย์

ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 11 นครศรีธรรมราช สภากาชาดไทย

Corresponding author, Email: napaporn.m@redcross.or.th

(วันรับบทความ : 31 มีนาคม 2569, วันแก้ไขบทความ : 20 พฤษภาคม 2569, วันตอบรับบทความ : 11 มิถุนายน 2569)

บทคัดย่อ

การให้เลือดและส่วนประกอบโลหิตเป็นหัตถการสำคัญในเวชปฏิบัติสมัยใหม่ โดยมีบทบาทในการรักษาผู้ป่วยหลากหลายกลุ่ม อย่างไรก็ตาม คุณภาพของส่วนประกอบโลหิตสามารถเปลี่ยนแปลงได้ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเรียกว่า (storage lesions) โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวครอบคลุมทั้งระดับชีวเคมี โครงสร้าง และหน้าที่ของเซลล์ และอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของการให้เลือด

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนองค์ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพของส่วนประกอบโลหิต กลไกการเกิด การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) ในเม็ดเลือดแดง เกล็ดเลือด และพลาสมา รวมถึงผลกระทบทางคลินิกและแนวทางในการลดผลกระทบดังกล่าว จากการทบทวนพบว่า การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) ในเม็ดเลือดแดงเกี่ยวข้องกับการลดลงของ ATP และ 2,3-bisphosphoglycerate การเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์ ขณะที่เกล็ดเลือดมีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสัณฐานวิทยา (morphology) และการเพิ่มขึ้นของตัวบ่งชี้การกระตุ้น (activation markers) ส่วนพลาสมามีการลดลงของปัจจัยการแข็งตัวของเลือด (coagulation factors) บางชนิดระหว่างการเก็บรักษา

แม้ว่าหลักฐานเชิงกลไกจะสนับสนุนว่า การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) อาจมีผลต่อสมรรถนะของส่วนประกอบโลหิต แต่หลักฐานทางคลินิกยังคงมีความไม่สอดคล้อง งานวิจัยส่วนใหญ่รายงานว่าผลกระทบน้อยในผู้ป่วยทั่วไป อย่างไรก็ตาม ผลกระทบอาจมีความสำคัญในผู้ป่วยกลุ่มเปราะบาง เช่น ผู้ป่วยวิกฤต ทารกแรกเกิด และผู้ป่วยที่ได้รับเลือดปริมาณมาก

แนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของส่วนประกอบโลหิต ได้แก่ การพัฒนา additive solutions การลดเม็ดเลือดขาว การใช้ platelet additive solutions และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโอมิกส์ (omics approaches) เพื่อประเมินคุณภาพเชิงลึก แนวโน้มในอนาคตมุ่งสู่แนวคิดเวชศาสตร์การให้เลือดแบบแม่นยำ (precision transfusion medicine) ซึ่งเน้นการเลือกใช้ส่วนประกอบโลหิตให้เหมาะสมกับลักษณะของผู้ป่วย

โดยสรุป ความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) และผลกระทบทางคลินิกมีความสำคัญต่อการพัฒนาแนวทางในการให้เลือดที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากขึ้น และเป็นพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาเวชศาสตร์การให้เลือดในอนาคต

คำสำคัญ : ส่วนประกอบโลหิต การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา เม็ดเลือดแดง เกล็ดเลือด พลาสมา เวชศาสตร์การให้เลือด การเก็บเลือด ภาวะออกซิเดทีฟสเตรส ไมโครเวสิเคิล การให้เลือดแบบแม่นยำ

Quality, Storage Lesions, and Clinical Impact of Blood Components: Implications for Transfusion Practice

Napaporn Mosikanon Wasita Navajitpaiboon

Regional Blood Centre XI, Nakhon Si Thammarat, Thai Red Cross Society.

Abstract

Blood transfusion and blood component therapy are essential in modern clinical practice. However, blood components undergo biochemical, structural, and functional deterioration during storage, known as “storage lesions,” which may affect transfusion efficacy and safety. This review summarizes current knowledge regarding blood component quality, the mechanisms of storage lesions in red blood cells, platelets, and plasma, their clinical implications, and strategies to minimize these effects.

In red blood cells, storage lesions are associated with reduced adenosine triphosphate (ATP) and 2,3-bisphosphoglycerate levels, oxidative stress, and membrane alterations. Platelets exhibit morphological changes and increased activation marker expression, while plasma demonstrates decreased levels of certain coagulation factors during storage.

Although experimental evidence suggests that storage lesions may impair blood component function, clinical outcomes remain inconsistent. Most studies report limited impact in general patient populations, but vulnerable groups, such as critically ill patients, neonates, and those requiring massive transfusion, may be more affected.

Current approaches to improve blood component quality include additive solutions, leukoreduction, platelet additive solutions, and omics-based technologies for advanced quality assessment. Future directions are moving toward precision transfusion medicine, which focuses on tailoring blood component selection to individual patient characteristics. Understanding storage lesions and their clinical significance is crucial for improving transfusion safety, efficacy, and the future development of transfusion medicine.

Keywords: blood components; storage lesions; red blood cells; platelets; plasma; transfusion medicine; oxidative stress; precision transfusion medicine

บทนำ

การให้เลือดและส่วนประกอบโลหิต (blood transfusion) เป็นหนึ่งในหัตถการทางการแพทย์ที่มีบทบาทสำคัญในการรักษาผู้ป่วยหลากหลายกลุ่ม ตั้งแต่ผู้ป่วยภาวะโลหิตจางเฉียบพลัน การผ่าตัดใหญ่ ไปจนถึงผู้ป่วยวิกฤตในห้องผู้ป่วยหนัก (ICU) โดยการพัฒนาเทคนิคการแยกส่วนประกอบโลหิต (component therapy) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษา ลดปริมาณการใช้เลือด และลดความเสี่ยงจากการให้เลือดทั้งหน่วย (whole blood)^(1,2)

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีการกำหนดมาตรฐานการเก็บรักษาอย่างเข้มงวด ส่วนประกอบโลหิตยังคงเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) โดยเฉพาะในเม็ดเลือดแดง (red blood cells; RBCs) ซึ่งสามารถเก็บได้นานถึง 35–42 วัน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวครอบคลุมทั้งระดับชีวเคมี โครงสร้าง และหน้าที่ของเซลล์ เช่น การลดลงของ ATP และ 2,3-bisphosphoglycerate (2,3-BPG) การเปลี่ยนแปลง ของเยื่อหุ้มเซลล์ และการเกิดความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative damage)^(3,4)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีความสนใจเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) ต่อผลลัพธ์ทางคลินิก โดยมีรายงานว่า การให้เม็ดเลือดแดงที่เก็บนานอาจสัมพันธ์กับการเพิ่มความเสี่ยงของภาวะแทรกซ้อน เช่น การอักเสบ การติดเชื้อ และการเสียชีวิต อย่างไรก็ตาม หลักฐานยังคงมีความขัดแย้ง โดยการศึกษาแบบ randomized controlled trials หลายฉบับไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเลือดที่เก็บระยะสั้นและระยะยาว^(5,6)

นอกจากนี้ แนวคิดเรื่องคุณภาพของส่วนประกอบโลหิต (blood component quality) ไม่ได้จำกัดเฉพาะระยะเวลาในการเก็บรักษา แต่ยังรวมถึงปัจจัยก่อนการเก็บ ความแปรปรวนของผู้บริจาค (donor variability) กระบวนการผลิต (processing methods) และสภาวะการเก็บรักษา ซึ่งทั้งหมดล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพของการให้เลือด⁽⁷⁾ ดังนั้น การทำความเข้าใจกลไกของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) และผลกระทบทางคลินิกจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาแนวทางการให้เลือดที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากขึ้น รวมถึงการนำไปสู่แนวคิดเวชศาสตร์การให้เลือดแบบแม่นยำ (precision transfusion medicine) ที่มุ่งเน้นการเลือกใช้ส่วนประกอบโลหิตให้เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของผู้ป่วย

วิธีการสืบค้นข้อมูล

การทบทวนวรรณกรรมในบทความนี้ ดำเนินการโดยการสืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูลวิชาการสากล ได้แก่ PubMed, Scopus และ ScienceDirect รวมถึงแหล่งข้อมูลวิชาการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในด้านเวชศาสตร์การให้เลือด โดยใช้คำค้น (keywords) เช่น blood components, storage lesions, red blood cells, platelets, plasma และ transfusion medicine

เกณฑ์การคัดเลือกบทความ ได้แก่ บทความวิจัย (original research articles) และบทความปริทัศน์ (review articles) ที่ตีพิมพ์ในช่วงปี ค.ศ. 2000–2025 และมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับคุณภาพของส่วนประกอบโลหิต กลไกของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage

lesions) และผลกระทบทางคลินิกของการเก็บรักษาเลือด โดยคัดเลือกเฉพาะบทความที่ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (peer-reviewed articles) และตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษ จากการสืบค้นพบบทความทั้งหมดจำนวน 67 บทความ และคัดเลือกบทความที่มีความเกี่ยวข้องและตรงตามเกณฑ์เพื่อนำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลจำนวน 23 บทความ บทความที่ไม่มีความเกี่ยวข้องโดยตรง หรือมีข้อมูลไม่เพียงพอจะถูกคัดออก ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์เชิงเนื้อหา (narrative synthesis) เพื่อสรุปองค์ความรู้และแนวโน้มสำคัญในเวชศาสตร์การให้เลือด

เนื้อหาที่พบทวน

1. คุณภาพของส่วนประกอบโลหิต

คุณภาพของส่วนประกอบโลหิตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการให้เลือด โดยผลิตภัณฑ์โลหิตแต่ละชนิด เช่น เม็ดเลือดแดง เกล็ดเลือด และพลาสมา มีคุณลักษณะเฉพาะที่ต้องควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล ทั้งในด้านปริมาณ ความบริสุทธิ์ และการคงสภาพการทำงานของเซลล์⁽⁸⁾

การเตรียมและการเก็บรักษาส่วนประกอบโลหิตต้องอาศัยกระบวนการที่เหมาะสม เช่น การใช้สารละลายเสริม (additive solutions) เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บและลดการเสื่อมสภาพของเซลล์ รวมถึงการใช้ leukoreduction เพื่อลดเม็ดเลือดขาว ซึ่งช่วยลดปฏิกิริยาหลังการให้เลือดและลดความเสี่ยงของการอักเสบในผู้ป่วย^(9,10)

นอกจากนี้ ความแปรปรวนจากผู้บริจาค (donor variability) ยังเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของส่วนประกอบโลหิต โดยมีรายงานว่าคุณสมบัติของเม็ดเลือดแดงระหว่างการเก็บ

รักษาสามารถแตกต่างกันได้ตามพื้นฐานทางชีวภาพและพันธุกรรมของผู้บริจาค ปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุ เพศ เชื้อชาติ ความแตกต่างทางพันธุกรรม ภาวะเมแทบอลิซึม พฤติกรรมการใช้ชีวิต การรับประทานอาหาร การสูบบุหรี่ รวมถึงภาวะสุขภาพของผู้บริจาค อาจส่งผลต่อความคงตัวของเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง การตอบสนองต่อภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) การทำงานของกระบวนการเมแทบอลิซึม และความไวต่อการเกิด hemolysis ระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ ความแตกต่างของศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระและการเผาผลาญพลังงานของเซลล์ในผู้บริจาคแต่ละราย ยังอาจมีส่วนทำให้ระดับและความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) แตกต่างกัน ข้อมูลเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของปัจจัยจากผู้บริจาคต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โลหิต และสนับสนุนแนวคิดของเวชศาสตร์การให้เลือดแบบแม่นยำ (precision transfusion medicine) ในอนาคตซึ่งมุ่งเน้นการคัดเลือกและใช้ส่วนประกอบโลหิตให้เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละรายมากยิ่งขึ้น⁽¹¹⁾ ดังนั้น การควบคุมคุณภาพจึงต้องคำนึงถึงทั้งกระบวนการผลิตและปัจจัยทางชีวภาพของผู้บริจาคควบคู่กัน

2. การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) ของส่วนประกอบโลหิต

การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โครงสร้าง และหน้าที่ของส่วนประกอบโลหิตระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ทุกชนิด โดยเฉพาะเม็ดเลือดแดงและเกล็ดเลือด^(1,3)

ในเม็ดเลือดแดง การเปลี่ยนแปลงสำคัญได้แก่ การลดลงของ ATP และ 2,3-BPG การเพิ่ม

ของภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์ และการเกิด microvesicles ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการขนส่งออกซิเจนและอายุการอยู่รอดของเซลล์หลังการให้เลือด^(4,7)

สำหรับเกล็ดเลือด storage lesion จะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นเกล็ดเลือด การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การลดลงของความสามารถในการเกาะกลุ่ม และการปลดปล่อยสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการห้ามเลือด^(12,13) นอกจากนี้ ยังมีรายงานเกี่ยวกับบทบาทของถุงนอกเซลล์ (extracellular vesicles) ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการอักเสบและการแข็งตัวของเลือด⁽¹⁴⁾

ในพลาสมา การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการลดลงของกิจกรรมของปัจจัยการแข็งตัวของเลือดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน หรือภายใต้เงื่อนไขที่ไม่เหมาะสม เช่น การควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม การละลายและแช่แข็งซ้ำหลายครั้ง (repeated freeze-thaw cycles) การล่าช้าในการแช่แข็งพลาสมาหลังการเจาะเก็บเลือด รวมถึงการขนส่งหรือการเก็บรักษาที่ทำให้เกิดความผันผวนของอุณหภูมิ ซึ่งอาจส่งผลให้ปัจจัยการแข็งตัวของเลือดบางชนิด โดยเฉพาะ factor V และ factor VIII ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และอาจกระทบต่อประสิทธิภาพของพลาสมาในการรักษาภาวะเลือดออกผิดปกติได้⁽¹⁵⁾

3. ผลกระทบทางคลินิกของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions)

แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) จะได้รับการอธิบายอย่างชัดเจนในระดับห้องปฏิบัติการ แต่ผลกระทบทางคลินิกยังคงเป็นประเด็นที่มีความขัดแย้ง งานวิจัย

บางส่วนรายงานว่าการใช้เม็ดเลือดแดงที่เก็บไว้นานอาจสัมพันธ์กับภาวะแทรกซ้อน เช่น การติดเชื้อ ภาวะลิ่มเหลวของอวัยวะ และอัตราการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้น⁽¹⁶⁾ เนื่องจากเม็ดเลือดแดงที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานานอาจมีความสามารถในการนำส่งออกซิเจนลดลงจากการลดลงของระดับ 2,3-bisphosphoglycerate (2,3-BPG) และ adenosine triphosphate (ATP) นอกจากนี้ การเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) และการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์อาจทำให้เม็ดเลือดแดงสูญเสียความยืดหยุ่น ส่งผลต่อการไหลเวียนในหลอดเลือดขนาดเล็กและเพิ่มการเกิด hemolysis ระหว่างหรือหลังการให้เลือดได้ อีกทั้งสารชีวโมเลกุลที่สะสมระหว่างการเก็บรักษา เช่น free hemoglobin, iron, cytokines และถุงนอกเซลล์ (extracellular vesicles) อาจกระตุ้นการอักเสบ การทำงานผิดปกติของเยื่อปอดเลือด และการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดภาวะแทรกซ้อนในผู้ป่วยบางกลุ่ม โดยเฉพาะผู้ป่วยวิกฤต ทารกแรกเกิด และผู้ที่ต้องได้รับเลือดปริมาณมาก

อย่างไรก็ตาม การศึกษาแบบ randomized controlled trials หลายการศึกษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของผลลัพธ์ทางคลินิกระหว่างการใช้เลือดที่เก็บใหม่และเก็บนาน^(5-6,17-18) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยทางคลินิกของผู้ป่วยอาจมีบทบาทสำคัญมากกว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียว

ในผู้ป่วยวิกฤต การกำหนด threshold ของการให้เลือด เช่น การใช้แนวทาง restrictive transfusion strategy แสดงให้เห็นว่าสามารถลดการใช้เลือดโดยไม่เพิ่มความเสี่ยงต่อผู้ป่วย โดยแนวทางนี้มุ่งเน้นการให้เม็ดเลือดแดงเฉพาะในกรณี

ที่ระดับฮีโมโกลบินต่ำกว่าค่าที่กำหนด เช่น ประมาณ 7–8 g/dL หรือเมื่อผู้ป่วยมีอาการทางคลินิกที่บ่งชี้ถึงภาวะพร่องออกซิเจนอย่างชัดเจน แทนการให้เลือดแบบ liberal strategy ซึ่งใช้เกณฑ์ฮีโมโกลบินสูงกว่า แนวทาง restrictive transfusion strategy ช่วยลดจำนวนยูนิตเลือดที่ผู้ป่วยได้รับ ลดความเสี่ยงจากภาวะแทรกซ้อนของการให้เลือด เช่น transfusion-associated circulatory overload (TACO), transfusion-related acute lung injury (TRALI), การติดเชื้อ และการกระตุ้นการอักเสบจากการให้เลือด นอกจากนี้ยังช่วยลดภาระด้านทรัพยากรและค่าใช้จ่ายของระบบบริการโลหิต โดยงานวิจัยหลายฉบับพบว่าแนวทางดังกล่าวให้ผลลัพธ์ทางคลินิกที่ไม่ด้อยกว่าการให้เลือดแบบ liberal strategy ในผู้ป่วยส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในผู้ป่วยวิกฤตและผู้ป่วยในหอผู้ป่วยหนัก (ICU) ⁽¹⁹⁾ นอกจากนี้ งานทบทวนล่าสุดยังชี้ให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุของเลือดและผลลัพธ์ทางคลินิกยังต้องการหลักฐานเพิ่มเติม โดยเฉพาะในผู้ป่วยเฉพาะกลุ่ม⁽²⁾

4. แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของส่วนประกอบโลหิต

เพื่อแก้ไขผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) มีการพัฒนาแนวทางต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โลหิต เช่น การใช้ additive solutions รุ่นใหม่ การลดปริมาณพลาสมาในเกล็ดเลือด (platelet additive solutions) และการพัฒนาเทคนิคการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ (cold storage)^(20,21)

การปรับปรุงกระบวนการผลิต เช่น การควบคุมสภาวะการเก็บรักษา และการเลือกวิธีการเตรียมผลิตภัณฑ์ ยังมีผลต่อการลดการเกิดการ

เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) และการคงคุณภาพของเซลล์^(22,23)

นอกจากนี้ แนวโน้มในอนาคตยังมุ่งไปสู่การใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น เทคโนโลยีโอมิกส์ (omics approaches) เพื่อประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์โลหิตในระดับโมเลกุล และการพัฒนาแนวคิดเวชศาสตร์การให้เลือดแบบแม่นยำ (precision transfusion medicine) ซึ่งเน้นการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละราย โดย omics approaches ครอบคลุมการศึกษา ระดับจีโนม (genomics) ทรานสคริปโตม (transcriptomics) โปรตีโอม (proteomics) เมแทบอลิโอม (metabolomics) และลิพิดโอม (lipidomics) ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเลือดได้อย่างละเอียด ตัวอย่างเช่น metabolomics สามารถใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสารเมแทบอไลต์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานและภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ในเม็ดเลือดแดง ขณะที่ proteomics ช่วยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ การตอบสนองต่อความเครียด และกระบวนการอักเสบ นอกจากนี้ omics technologies ยังช่วยระบุตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (biomarkers) ที่อาจใช้ทำนายคุณภาพของผลิตภัณฑ์โลหิต ความเสี่ยงต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) และผลลัพธ์หลังการให้เลือดในผู้ป่วยแต่ละรายได้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้อาจนำไปสู่การคัดเลือกเลือดที่เหมาะสมกับลักษณะของผู้ป่วยเฉพาะราย และสนับสนุนการพัฒนาแนวคิดเวชศาสตร์การให้เลือดแบบแม่นยำ (precision transfusion medicine) ในอนาคต⁽⁷⁾

วิจารณ์

ความก้าวหน้าทางองค์ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพของส่วนประกอบโลหิตและกลไกของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) ได้ช่วยยกระดับความเข้าใจในเวชศาสตร์การให้เลือดอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในระดับชีวเคมีและระดับเซลล์ ซึ่งทำให้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือดแดง เกล็ดเลือด และพลาสมาระหว่างการเก็บรักษาได้อย่างครอบคลุม^(1,3) ข้อดีสำคัญของความก้าวหน้านี้คือการนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีและแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โลหิต เช่น การใช้ additive solutions การทำ leukoreduction และการพัฒนา platelet additive solutions ซึ่งมีบทบาทในการลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) และเพิ่มความปลอดภัยของการให้เลือด^(9,10,20)

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความก้าวหน้าในระดับกลไกและเทคโนโลยี แต่ยังคงมีข้อจำกัดที่สำคัญ โดยเฉพาะความไม่สอดคล้องระหว่างข้อมูลในห้องปฏิบัติการและผลลัพธ์ทางคลินิก การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) ที่ตรวจพบในระดับโมเลกุลไม่ได้แปลผลไปสู่ผลกระทบทางคลินิกอย่างชัดเจนเสมอไป เนื่องจากผลลัพธ์ของผู้ป่วยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ภาวะพื้นฐานของผู้ป่วย ความรุนแรงของโรค และบริบทของการรักษา^(5,6,18) นอกจากนี้ ความแตกต่างของกระบวนการผลิต วิธีการเก็บรักษา และความแปรปรวนระหว่างผู้บริจาค ยังเป็นปัจจัยที่ทำให้ผลการศึกษาในแต่ละงานมีความแตกต่างกัน^(11,23)

ในด้านช่องว่างขององค์ความรู้ ยังมีประเด็นสำคัญที่ต้องการการศึกษาเพิ่มเติม เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) กับผลลัพธ์ในผู้ป่วยเฉพาะกลุ่ม (precision context) การระบุตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

(biomarkers) ที่สามารถสะท้อน “functional quality” ของส่วนประกอบโลหิตได้อย่างแม่นยำ และบทบาทของถุงนอกเซลล์ (extracellular vesicles) ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการอักเสบและภาวะแทรกซ้อนทางคลินิก^(4,14)

สำหรับทิศทางในอนาคต แนวโน้มของเวชศาสตร์การให้เลือดจะมุ่งไปสู่การพัฒนาเวชศาสตร์การให้เลือดแบบแม่นยำ (precision transfusion medicine) ซึ่งเน้นการบูรณาการข้อมูลจากผู้บริจาค ผลิตภัณฑ์ และผู้ป่วย เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการเลือกใช้ส่วนประกอบโลหิตในแต่ละราย นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น เทคโนโลยีโอมิกส์ (omics approaches) และ การเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) อาจช่วยให้สามารถประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์โลหิตและคาดการณ์ผลลัพธ์ทางคลินิกได้ดีขึ้น⁽⁷⁾

โดยสรุป แม้ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (storage lesions) และคุณภาพของส่วนประกอบโลหิตจะมีความก้าวหน้าอย่างมาก แต่การนำไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิกยังต้องอาศัยหลักฐานเพิ่มเติม โดยเฉพาะในผู้ป่วยเฉพาะกลุ่ม การพัฒนางานวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นการสร้างหลักฐานเชิงคลินิกที่ชัดเจน การพัฒนาตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (biomarkers) และการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (cost-effectiveness) ของเทคโนโลยีใหม่ เพื่อให้สามารถยกระดับความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการให้เลือดได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในบริบทของประเทศไทยยังมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ความพร้อมของห้องปฏิบัติการ และระบบข้อมูลในบางโรงพยาบาล โดยเฉพาะโรงพยาบาลขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความก้าวหน้าของเวชศาสตร์การให้เลือดแบบแม่นยำ (precision transfusion medicine) ไปใช้ในทางปฏิบัติ

เอกสารอ้างอิง

1. Hess JR. Red cell changes during storage. *Transfus Apher Sci.* 2010;43(1):51–9.
2. Spinella PC, Doctor A, Blumberg N. Does the age of blood affect outcomes? *Transfusion.* 2019;59(3):1164–72.
3. Yoshida T, Prudent M, D'Alessandro A. Red blood cell storage lesion: causes and potential clinical consequences. *Blood Transfus.* 2019;17(1):27–52.
4. Zimring JC. Established and theoretical factors to consider in assessing the red cell storage lesion. *Blood.* 2015;125(14):2185–90.
5. Carson JL, Brooks MM, Abbott JD, Chaitman B, Kelsey SF, Triulzi DJ, et al. Red blood cell storage duration and clinical outcomes. *N Engl J Med.* 2016;375(20):1937–45.
6. Lacroix J, Hébert PC, Fergusson DA, Tinmouth A, Blajchman MA, Callum J, et al. Age of transfused blood in critically ill adults. *N Engl J Med.* 2015;372(15):1410–8.
7. D'Alessandro A, Zolla L. Red blood cell storage: the story so far. *Blood Transfus.* 2020;18(2):82–8.
8. AABB. Fundamental standards for blood collection and transfusion. Bethesda (MD): AABB; 2025.
9. Blajchman MA. The clinical benefits of the leukoreduction of blood products. *J Trauma.* 2001;50(5 Suppl):S83–90.
10. Cancelas JA, Dumont LJ, Maes LA, Rugg N, Herschel L, Whitley PH, et al. Additive solution-7 reduces the red blood cell cold storage lesion. *Transfusion.* 2015;55(3):491–8.
11. Roussel C, Morel A, Dussiot M, Marin M, Colard M, Frimat C, Vasseur F, Tiers L, Pouthier F, Bardiaux L, Garraud O. Donor variability in red blood cell storage lesion. *Transfus Clin Biol.* 2017;24(3):151–155.
12. Devine DV, Serrano K. The platelet storage lesion. *Clin Lab Med.* 2010;30(2):475–487.
13. Schubert P, Culibrk B, Karwal S, Serrano K, Levin E, Devine DV. Platelet storage lesion: current understanding and future perspectives. *Transfus Med Rev.* 2020;34(3):144–150.

14. Ebeyer-Masotta M, Eichhorn T, Fischer MB, Weber V. Impact of production methods and storage conditions on extracellular vesicles in packed red blood cells and platelet concentrates. *Transfus Apher Sci.* 2024;63(2):103891. doi:10.1016/j.transci.2024.103891.
15. Stanworth SJ, Brunskill SJ, Hyde CJ, McClelland DBL, Murphy MF. Is fresh frozen plasma clinically effective? A systematic review of randomized controlled trials. *Br J Haematol.* 2004;126(1):139–152.
16. Koch CG, Li L, Sessler DI, Figueroa P, Hoeltge GA, Mihaljevic T, Blackstone EH. Duration of red-cell storage and complications after cardiac surgery. *N Engl J Med.* 2008;358(12):1229–1239.
17. Steiner ME, Ness PM, Assmann SF, Triulzi DJ, Sloan SR, Delaney M, et al. Effects of red-cell storage duration on patients undergoing cardiac surgery. *N Engl J Med.* 2015;372(15):1419-29.
18. Cooper DJ, McQuilten ZK, Nichol A, Ady B, Aubron C, Bailey M, et al. Age of red cells for transfusion and outcomes in critically ill adults. *N Engl J Med.* 2017;377(19):1858-67.
19. Hébert PC, Wells G, Blajchman MA, Marshall J, Martin C, Pagliarello G, et al. A multicenter, randomized, controlled clinical trial of transfusion requirements in critical care. *N Engl J Med.* 1999;340(6):409-17.
20. Gulliksson H. Platelet additive solutions: a review of the latest developments. *Transfus Med Hemother.* 2018;45(2):98–102.
21. Mahajan J, Padula MP, Marks DC, Johnson L. Cold-stored platelets: revisiting assumptions and addressing variability to support implementation. *Front Med.* 2025;12:1743750. doi:10.3389/fmed.2025.1743750.
22. Pietersz RNI, Reesink HW, Panzer S, Seltsam A, van der Meer PF, Tonn T, et al. Processing and storage of blood components: what can be changed? *Int J Clin Transfus Med.* 2015;3:1-12.
23. Tran LNT, Novaretti MCZ, de Medeiros BCV, Nunes RR, Ribeiro KR, Covas DT, et al. Impact of different red blood cell storage solutions and conditions on cellular integrity and clinical outcomes. *Biomolecules.* 2024;14(7):813.