



## สารทดแทนเลือด Artificial Blood Substitutes

วารางคณา แย้มเกตุ วท.ม.,  
สมรึก เพชรโฉมฉาย วท.ม.,  
ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 4  
จังหวัดราชบุรี

Warangkana Yamket M.Sc,  
Somrak Patchomchay M.Sc,  
Regional Blood Centre IV, Thai Red Cross Society  
Ratchaburi

### บทคัดย่อ

เลือดและส่วนประกอบของเลือดเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการรักษาผู้ป่วยโดยยังไม่สามารถหาสิ่งใดมาทดแทนได้ แต่ด้วยความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ ประกอบกับเทคโนโลยีในปัจจุบันที่มีความก้าวหน้าอย่างมาก ทำให้การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารทดแทนเลือดขยายวงกว้างขึ้น โดยในปัจจุบัน สารทดแทนเลือดมี 2 ประเภท คือ hemoglobin based oxygen carriers (HBOCs) และสารประกอบประเภท perfluorocarbons (PFCs) ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน แต่มีหน้าที่คล้ายกันคือ การขนส่งออกซิเจนจากปอดไปสู่อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อทำหน้าที่เสมือนเม็ดเลือดแดงในร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามสารทดแทนเลือดทุกตัวยังคงต้องรอผลการทดลองทางคลินิกเพื่อประเมินความปลอดภัยและการรับรองจากองค์การอาหารและยา สำหรับการนำไปใช้กับผู้ป่วย ซึ่งคาดหวังว่าในอนาคตอันใกล้ สารทดแทนเลือดจะสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเม็ดเลือดแดงของผู้บริจาคและสามารถนำมาใช้ช่วยชีวิตผู้ป่วยได้

**คำสำคัญ:** สารทดแทนเลือด, hemoglobin based oxygen carriers (HBOCs), สารประกอบประเภท perfluorocarbons (PFCs)

วารสารแพทยเขต 4-5 2568 ; 44(1) : 147-153.

## Abstract

Blood and blood components are essential for the treatment of patients and nothing can replace them. However, with the efforts of scientists and the current advanced technology, the research on blood substitutes has expanded. Currently, there are 2 types of blood substitutes: hemoglobin-based oxygen carriers (HBOCs) and perfluorocarbons (PFCs), which have different properties but similar functions to transport oxygen from the lungs to various organs of the body to act like red blood cells in the body. However, all blood substitutes still have to wait for the results of clinical trials to assess their safety and the approval from the Food and Drug Administration for use in patients. It is expected that in the near future, blood substitutes will be developed to be as effective as donor red blood cells and can be used to save patients' lives.

**Keywords:** blood substitutes, hemoglobin based oxygen carriers, perfluorocarbons

*Received: Oct 1, 2024; Revised: Oct 15, 2024; Accepted: Nov 30, 2024*

*Reg 4-5 Med J 2025 ; 44(1) : 147-153.*

### บทนำ

เลือดเป็นสารที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ หน้าที่หลักประการหนึ่งคือ การขนส่งออกซิเจนจากปอดไปยังอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อให้ร่างกายทำงานได้อย่างปกติ ซึ่งผ่านกระบวนการทำงานของฮีโมโกลบิน ที่มีคุณสมบัติในการจับกับออกซิเจน<sup>1</sup> การเสียเลือดในผู้ป่วยอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การได้รับบาดเจ็บหรือการผ่าตัด ซึ่งแต่ละสาเหตุอาจส่งผลร้ายถึงชีวิต นอกจากนี้ผู้ป่วยในบางโรคอาจจำเป็นต้องได้รับเลือดเป็นประจำ ดังนั้นการให้เลือดจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่จะช่วยให้ผู้ป่วยรอดชีวิตได้<sup>2</sup> แต่อย่างไรก็ตามการให้เลือดยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น ข้อจำกัดในการเก็บรักษา อายุการเก็บรักษาที่จำกัด ความเสี่ยงจากโรคติดเชื้อ ภาวะแทรกซ้อนหลังจากได้รับเลือด และอีกหนึ่งข้อจำกัดที่สำคัญ คือ การขาดแคลนเลือด ซึ่งในหลายประเทศทั่วโลกยังพบว่าการขาดแคลนเลือดอยู่ในระดับวิกฤต<sup>3,4</sup> โดยเฉพาะในประเทศไทยมีผู้บริจาคเลือด คิดเป็นสัดส่วนไม่ถึงร้อยละ 1 ของประชากร จำนวนเลือดที่ได้รับจากการบริจาคควรมีปริมาณ ร้อยละ 2 ถึง 4

ของประชากร ถึงจะเพียงพอต่อความต้องการของผู้ป่วยในประเทศ แต่ในปัจจุบันเลือดที่จัดหาทั่วประเทศมีเพียงร้อยละ 1.6 ของประชากร ซึ่งยังไม่เพียงพอสำหรับผู้ป่วยที่จำเป็นต้องใช้เลือดในภาวะต่าง ๆ ทำให้ภาพรวมของสถานการณ์เลือดทั่วประเทศยังมีความขาดแคลนอย่างมาก<sup>5</sup> ในอดีตนักวิทยาศาสตร์ พยายามที่จะคิดค้นหาสารทดแทนเลือด โดยมีแนวคิดที่จะจำลองเม็ดเลือดแดงที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าผลิตภัณฑ์เม็ดเลือดแดงของผู้บริจาคขึ้นมาใช้ใน พ.ศ. 2476 ดร.แอมเบอร์สัน รายงานว่าเม็ดเลือดแดงของวัวสามารถขนส่งออกซิเจนในสัตว์ทดลองได้ และพยายามที่จะศึกษาเกี่ยวกับสารละลายฮีโมโกลบิน เพื่อมาทดแทนเลือดมนุษย์ แต่ก็ยังไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากสารละลายฮีโมโกลบินนอกเม็ดเลือดแดงมีความเป็นพิษต่อร่างกาย จึงส่งผลข้างเคียงที่สำคัญ เช่น ภาวะไตวาย ความเป็นพิษต่อหัวใจ และความดันโลหิตสูง เป็นต้น<sup>6,7</sup> แต่ต่อมาได้มีแนวคิดเกี่ยวกับการหาสารทดแทนเลือดที่เป็นการบำบัดด้วยออกซิเจน แทนการคิดค้นการจำลองเม็ดเลือดแดง โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สามารถพาออกซิเจนจากปอด

ไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้ มีการเก็บรักษาและการขนส่งที่อุณหภูมิห้อง มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน และไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางภูมิคุ้มกัน สารทดแทนเลือดในปัจจุบัน มี 2 ประเภท คือ hemoglobin based oxygen carriers (HBOCs) และสารประกอบประเภท perfluorocarbons (PFCs) ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามสารทดแทนเลือดทุกตัวยังคงต้องรอผลการทดลองการคลินิก เพื่อประเมินความปลอดภัยสำหรับการนำไปใช้กับผู้ป่วย และการรับรองจากองค์การอาหารและยา ซึ่งคาดหวังว่าในอนาคตอันใกล้ สารทดแทนเลือดจะสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเม็ดเลือดแดงของผู้บริจาคและสามารถนำมาช่วยชีวิตผู้ป่วยได้<sup>8</sup>

### วิธีการสืบค้นข้อมูล

ทำการศึกษารวบรวมข้อมูล โดยการสืบค้นข้อมูลที่ใช้คำสืบค้นดังนี้ blood substitutes, artificial blood substitutes, hemoglobin based oxygen carriers, perfluorocarbons, oxygen therapeutics, hemoglobin, HBOCs, PFCs, hemopure, polyHeme, MP4OX, hemO2life, fluosol DA-20, oxygen, และ oxycyte จากฐานข้อมูลที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ และหนังสือที่เป็นภาษาอังกฤษและภาษาไทย ในช่วง พ.ศ. 2549–2566

### เนื้อหาที่ทบทวน

#### สารทดแทนเลือด

ในปัจจุบัน มี 2 ประเภท คือ

1. Hemoglobin-based oxygen carriers (HBOCs) คือ ตัวพาออกซิเจนโดยใช้ฮีโมโกลบิน ซึ่งมีลักษณะคล้ายเลือดจริง เนื่องจากแหล่งที่มาของฮีโมโกลบินที่ใช้ในการผลิตมาจากเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุ หรือใช้แบคทีเรียในการผลิตฮีโมโกลบิน ด้วยเทคนิค recombinant DNA โดยปกติฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง

มีคุณสมบัติในการจับออกซิเจน เพื่อพาออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยฮีโมโกลบินเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโพลีเปปไทด์ 4 สาย คือ สายอัลฟา และสายเบต้า อย่างละ 2 สาย ที่เชื่อมต่อกัน เรียกว่าสายโกลบูลิน (globulin chains) และหมู่ฮีม (heme group) ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีเป็นพอร์ไฟริน (porphyrin) มีโมเลกุลของเหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) อยู่ตรงกลางเพื่อทำหน้าที่จับออกซิเจน แต่ในขณะเดียวกันเลือดที่ไหลเวียนอยู่ในร่างกายประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด สารเคมีบางชนิดสามารถออกซิไดซ์เหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) กลายเป็นเฟอร์ริก ( $Fe^{3+}$ ) ซึ่งไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้ แต่ด้วยคุณสมบัติของเม็ดเลือดแดงสามารถรีดิวซ์เฟอร์ริก ( $Fe^{3+}$ ) กลับไปเป็นเหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) ที่จับออกซิเจนได้ และสร้าง 2, 3-DGP ทำให้ฮีโมโกลบินปล่อยออกซิเจนได้สะดวกยิ่งขึ้น จึงเกิดขบวนการขนส่งออกซิเจนไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการออกแบบตัวพาออกซิเจนเพื่อทำให้เกิดขบวนการขนส่งออกซิเจนไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ให้เทียบเท่ากับคุณสมบัติของเม็ดเลือดแดง จึงจำเป็นต้องคงคุณสมบัติเหล่านี้ไว้ และนอกจากนี้หากฮีโมโกลบินอยู่นอกเม็ดเลือดแดงจะทำให้เกิดการสลายตัวของโปรตีนจากเตตระเมอร์กลายเป็นโมโนเมอร์ หรือ ไดเมอร์ ที่มีขนาดเล็กลงจึงถูกกำจัดออกทางไต ทำให้มีอายุสั้นลง กล่าวคือ HBOCs ที่ถูกผลิตขึ้นอาจจะไม่มีเยื่อหุ้มเซลล์ เหมือนฮีโมโกลบินที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนโมเลกุลของฮีโมโกลบินให้มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือให้มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น เพื่อให้มีคุณสมบัติเทียบเท่าฮีโมโกลบินที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง<sup>7,9,10</sup>

กลไกการปรับเปลี่ยนโมเลกุลของฮีโมโกลบิน เช่น polymerization เป็นการเติมสาร glutaraldehyde เพื่อทำให้โมเลกุลของฮีโมโกลบินมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงยืดอายุของฮีโมโกลบินได้, cross-linking เป็นการเชื่อมระหว่างสายอัลฟา 2 สาย และสายเบต้า 2 สาย ด้วย diaspirin หรือ raffinose เพื่อทำให้โมเลกุลของ

ฮีโมโกลบินมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น ป้องกันการสลายตัวของฮีโมโกลบิน, conjugation เป็นเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระไปจับกับโมเลกุลของฮีโมโกลบิน เป็นการเพิ่มขนาดของโมเลกุลของฮีโมโกลบิน ลดการถูกกำจัดออกทางไต นอกเหนือจากนั้นกลไกการปรับเปลี่ยนโมเลกุลของฮีโมโกลบินที่ได้กล่าวมาทั้ง 3 กลไก สามารถนำมา รวมกันเพื่อทำให้โมเลกุลของฮีโมโกลบินมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และอีกหนึ่งกลไก คือ encapsulation เป็นการห่อหุ้มโมเลกุลของฮีโมโกลบินด้วยพอสโฟไลปิด ซึ่งเป็นการเลียนแบบเยื่อหุ้มเซลล์ของเม็ดเลือดแดง เพื่อให้มีความแข็งแรงและเสถียรมากยิ่งขึ้น<sup>7,10</sup>

### ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ HBOCs

Hemopure ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Biopure corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา ต่อมา ถูกขายให้บริษัท OPK BioTech ประเทศสหรัฐอเมริกา และบริษัท Hemoglobin-O2 ประเทศสหรัฐอเมริกา ตามลำดับ เป็นตัวพาออกซิเจนที่ผลิตจากฮีโมโกลบินวัว มีการปรับเปลี่ยนโมเลกุลของฮีโมโกลบิน ด้วยกลไก cross-linking ทำให้ฮีโมโกลบินมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น มีโมเลกุลขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับเลือดของผู้บริจาค ทำให้การขนส่งออกซิเจนไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้อย่างรวดเร็ว และเคยได้รับการอนุมัติให้ใช้ในแอฟริกาใต้ และรัสเซีย ใน พ.ศ. 2544 และ 2549 ตามลำดับ ขณะที่ยังอยู่ในการพัฒนาของบริษัท Biopure corporation แต่ไม่สามารถพัฒนาต่อจนได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยา เนื่องจากบริษัทถูกฟ้องร้องล้มละลายก่อน แต่หลังจากนั้นเมื่อ hemopure อยู่ภายใต้การดูแลของบริษัท Hemoglobin-O2 จึงมีการศึกษาเพิ่มเติมใน พ.ศ. 2562 เกี่ยวกับการทำงานของเซลล์ต่าง ๆ ในสมอง โดยสามารถสนับสนุนได้ว่า hemopure เป็นส่วนสำคัญในการขนส่งออกซิเจนไปที่สมอง ทำให้การตายของเซลล์สมองลดลง และช่วยฟื้นฟูเซลล์สมองได้<sup>11,12</sup>

PolyHeme ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Northfield Laboratories ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นตัวพาออกซิเจนที่ใช้ฮีโมโกลบินที่เป็นโพลีเมอร์รุ่นแรก ผ่านการทดลองทางคลินิกทั้ง 3 ระยะ โดยการทดลองทางคลินิกในระยะที่ 3 ถือว่าประสบความสำเร็จ แต่เมื่อถูกนำมาทดลองเปรียบเทียบกับเลือดจากผู้บริจาคพบว่า ผู้ป่วยที่ได้รับ PolyHeme มีผลข้างเคียงสูงกว่ากลุ่มควบคุม เช่น ความดันโลหิตสูง การอักเสบ และการทำงานของอวัยวะล้มเหลว เนื่องจากขนาดโมเลกุลของ PolyHeme มีขนาดเล็ก ทำให้เกิดการจับกับไนตริกออกไซด์ ส่งผลให้หลอดเลือดตีบตัน แต่อัตราการรอดชีวิตที่ 30 วัน ของผู้ป่วยที่ได้รับ PolyHeme และกลุ่มควบคุม ไม่มีความแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าการทดลองทางคลินิกของ PolyHeme ให้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ แต่นักวิทยาศาสตร์และแพทย์หลายท่านลงความเห็นว่าควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมก่อนที่จะสามารถสรุปข้อดี หรือความเสี่ยงที่เกิดขึ้นได้<sup>11</sup>

MP4OX หรือ Hemospan ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Sangart Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นตัวพาออกซิเจนที่ผลิตจากฮีโมโกลบินของคน มีการปรับเปลี่ยนโมเลกุลของฮีโมโกลบิน ด้วยการเติมสารประกอบโพลีเอทิลีนไกลคอลทำให้มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น จึงเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนได้ดีขึ้น ซึ่งผลการทดลองทางคลินิกระยะที่ 1 และ 2 พบว่า ผู้ป่วยที่ได้รับ MP4OX มีการเพิ่มระดับออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่มียาผลข้างเคียงที่รุนแรงจากอาการความดันสูง<sup>13</sup>

HemO2life ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Hemarina ประเทศฝรั่งเศส เป็นตัวพาออกซิเจนที่ผลิตจากฮีโมโกลบินของหนอนทะเล (*Arenicola marina*) ที่มีความสามารถในการอุม้ ออกซิเจนสูง จึงพัฒนามาใช้ในกระบวนการเก็บอวัยวะที่จะปลูกถ่าย ทำให้อวัยวะตายช้า ฟื้นตัวไว และผู้ป่วยมีโอกาสรอดชีวิตสูงขึ้น ซึ่งปัจจุบันได้รับการอนุมัติจากสหภาพยุโรป โดยในอนาคต

นักวิทยาศาสตร์คาดหวังว่าจะสามารถพัฒนานำมาใช้เป็นสารทดแทนเลือดได้<sup>7</sup>

2. สารประกอบประเภท perfluorocarbons (PFCs) เป็นสารเนื้อเยื่อทางเคมีและชีวภาพ มีโครงสร้างคล้ายกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน แต่มีอะตอมฟลูออรีนมาแทนที่ไฮโดรเจน และมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับเม็ดเลือดแดงจะมีขนาดเล็กกว่า 100 เท่า มีคุณสมบัติขนส่งออกซิเจนได้ดี แต่ไม่ละลายน้ำ จึงต้องทำให้ PFCs เป็นอิมัลชัน เพื่อแขวนลอยอยู่ในเลือด ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนในร่างกาย โดยเมื่อ PFCs อยู่ในกระแสเลือดจะมีอายุประมาณ 12 ชั่วโมง แต่จะคงอยู่ใน reticuloendothelial cell ของตับและม้ามได้ตั้งแต่ 4 ถึง 65 วัน ขึ้นอยู่กับสารที่ใช้ในการทำให้อิมัลชัน นอกจากนี้ร่างกายสามารถกำจัดหรือขับ PFCs ออกได้ทางการปอดโดยการหายใจออก<sup>8</sup>

### ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารประกอบประเภท Perfluorocarbons (PFCs)

Fluosol DA-20 ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Green Cross ประเทศญี่ปุ่น เป็นสารทดแทนเลือดชนิดแรกที่ได้รับการอนุมัติจากองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกาใน พ.ศ. 2532 สำหรับการผ่าตัดหัวใจ ถูกนำไปใช้สำหรับการผ่าตัดขยายหลอดเลือดหัวใจเพื่อขนส่งออกซิเจนระหว่างการผ่าตัด แต่ถูกระงับการอนุมัติใน พ.ศ. 2537 เนื่องจากการดูแลผู้ป่วยค่อนข้างยุ่งยากและมีผลข้างเคียงที่อันตรายประกอบด้วย perfluorodecalin มีหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจน perfluorotripropylamine มีหน้าที่ปรับสมดุล และ Pluronic F-68 มีหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์<sup>8</sup>

Oxygent ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Alliance Pharmaceutical Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รับการอนุมัติสำหรับการทดลองทางคลินิกในระยะที่ 2 ทั้งในยุโรปและสหรัฐอเมริกา ซึ่งผลการทดลอง

มีแนวโน้มไปในทิศทางที่ดี แต่การทดลองทางคลินิกระยะที่ 3 ต้องหยุดชะงักลง เนื่องจากพบว่า Oxygent ทำให้ผู้ป่วยมีความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดสมองสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ได้รับเลือดบริจาค<sup>8,14</sup>

Oxybyte ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Synthetic Blood International ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความสามารถในการขนส่งออกซิเจนได้สูงถึง 50 เท่า เมื่อเทียบกับฮีโมโกลบิน และได้รับการออกแบบมาเพื่อขนส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อที่เสียหาย และนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปยังปอดเพื่อกำจัดออก ซึ่งได้รับการอนุมัติในประเทศสวีเดนและอิสราเอล ให้ทำการทดลองทางคลินิกระยะที่ 2 เกี่ยวกับการบาดเจ็บที่สมอง โดยผลการทดลองพบว่า Oxybyte อาจเป็นประโยชน์ต่อการรักษาการบาดเจ็บที่สมอง แต่ยังคงต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมก่อนเพื่อยืนยันถึงความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพที่ดี<sup>15</sup>

### บทวิจารณ์

หากเปรียบเทียบข้อดีของสารทดแทนเลือดกับเลือดของผู้บริจาคจะเห็นได้ว่า สารทดแทนเลือดมีข้อดีมากกว่าเลือดของผู้บริจาคหลายประการ อาทิเช่น สามารถให้ผู้ป่วยได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงหมู่โลหิต ไม่ต้องทดสอบการเข้ากันได้ระหว่างเลือดผู้ป่วย จึงสามารถจ่ายให้ผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็วในสถานการณ์ฉุกเฉิน ไม่พบปฏิกิริยาทางภูมิคุ้มกันหลังจากผู้ป่วยได้รับสารทดแทนเลือด ลดความเสี่ยงต่อโรคติดเชื้อที่ถ่ายทอดทางเลือด มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานและสามารถขนส่งที่อุณหภูมิห้องได้ แต่สิ่งที่ยังคงเป็นข้อจำกัดของสารทดแทนเลือด คือ การมีอายุอยู่ในร่างกายส่วนใหญ่ไม่เกิน 36 ชั่วโมง ในขณะที่เม็ดเลือดแดงอยู่ได้ 100-120 วัน ทำให้ต้องมีการให้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้การศึกษาวินิจฉัยอาจยังไม่ครอบคลุมในหลาย ๆ ด้าน เนื่องจากติดปัญหาด้านจริยธรรม

คุณสมบัติที่สำคัญของสารทดแทนเลือดคือ สามารถขนส่งออกซิเจนในร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีอายุยาวนานเทียบเท่ากับเม็ดเลือดแดงจากผู้บริจาคเมื่ออยู่ในร่างกาย ไม่มีผลข้างเคียงกับร่างกาย มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานและสามารถขนส่งที่อุณหภูมิห้องได้ แม้ว่าในปัจจุบันสารทดแทนเลือดส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับการอนุมัติจากองค์การอาหารและยาเพื่อนำมาใช้ในการรักษาผู้ป่วย ทดแทนเลือดจากผู้บริจาคโลหิต แต่ก็เห็นได้ว่าการคิดค้นสารทดแทนเลือดมีความก้าวหน้าอย่างมากจากอดีต มีสารทดแทนเลือดหลายตัวสามารถเข้าสู่การทดลองทางคลินิกระยะต่าง ๆ ได้ แต่ผลการทดลองอาจยังไม่เป็นที่น่าพอใจนัก ซึ่งคาดหวังว่าเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในอนาคตอาจจะช่วยทำให้การผลิตสารทดแทนเลือด เข้าใกล้ความจริงมากยิ่งขึ้น และสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมได้อย่างยาวนาน

### เอกสารอ้างอิง

1. Cherian VT. Physiological functions of blood. In: Liu H, Kaye AD, Jahr JS, editors. Blood substitutes and oxygen biotherapeutics. Cham: Springer; 2022. 33–43.
2. Retter A, Wyncoll D, Pearse R, et al. Guidelines on the management of anaemia and red cell transfusion in adult critically ill patients. *Br J Haematol* 2013;160(4):445–64. doi: 10.1111/bjh.12143.
3. Jahr JS, Guinn NR, Lowery DR, et al. Blood substitutes and oxygen therapeutics: a review. *Anesth Analg* 2021;132(1):119–29. doi: 10.1213/ANE.0000000000003957.
4. Warner MA, Weyand AC. The global burden of anemia. In: Liu H, Kaye AD, Jahr JS, editors. Blood substitutes and oxygen biotherapeutics. Cham: Springer; 2022. 53–9.
5. วรยุทธภมปัต, พัทธาบุญประดิษฐ์, ประดับ วิเศษวุฒ, และคณะ. ปริมาณเลือดและส่วนประกอบของเลือดสำรองที่เหมาะสม ในสถานการณ์ระบาดของโรค COVID-19 สำหรับสถาบันมะเร็งแห่งชาติ. *วารสารกรมการแพทย์* 2566;48(1):73–79.
6. Liu H, Kaye AD, Verbeek T, et al. Classifications of blood substitutes. In: Liu H, Kaye AD, Jahr JS, editors. Blood substitutes and oxygen biotherapeutics. Cham: Springer; 2022. 119–29.
7. Chen L, Yang Z, Liu H. Hemoglobin-based oxygen carriers: where are we now in 2023? *Medicina (Kaunas)* 2023;59(2):396. doi: 10.3390/medicina59020396.
8. Maheshwari DT, Kumar MY, Indushekar R. Mini review on artificial blood substitutes: future perspective of perfluorocarbon based oxygen carriers. *Med Res Arch* 2024;12(6):1–15 doi: 10.18103/mra.v12i6.5478.
9. Sahu SC, Simplaceanu VS, Gong Q, et al. Orientation of deoxyhemoglobin at high magnetic fields: structural insights from RDCs in solution. *J Am Chem Soc* 2006;128(19):6290–1 doi: 10.1021/ja060023z.
10. Likhitha D, Shankar M, Lalitha SK, et al. Blood substituents an overview. *Blood* 2016;3(4):187–92.
11. More AV, Sayyed SY, Morankar PG, et al. A comprehensive insight into artificial blood. *IJPSR* 2023;14(3):1000–11.

12. Waters JH, Lim JC, Blanckenberg JM, et al. HBOC-201: History, clinical trials, and path forward. In: Liu H, Kaye AD, Jahr JS, editors. Blood substitutes and oxygen biotherapeutics. Cham: Springer; 2022. 353–60.
13. Smani Y. Hemospan: a hemoglobin-based oxygen carrier for potential use as a blood substitute and for the potential treatment of critical limb ischemia. *Curr Opin Investig Drugs* 2008;9(9):1009–19.
14. Riess JG. Perfluorocarbon-based oxygen delivery. *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol* 2006;34(6):567–80. doi: 10.1080/10731190600973824.
15. Haque A, Scultetus AH, Arnaud F, et al. The Emulsified PFC Oxycyte<sup>®</sup> Improved Oxygen Content and Lung Injury Score in a Swine Model of Oleic Acid Lung Injury (OALI). *Lung* 2016;194(6):945–57. doi: 10.1007/s00408-016-9941-9.

