

# บทความวิชาการสำหรับการศึกษาต่อเนื่อง

## สถานเสาวภา สภากาชาดไทย

รหัส : 5003-1-000-002-06-2563

หน่วยกิตการศึกษาต่อเนื่อง : 2.0 หน่วยกิต

วันที่รับรองบทความ : 21 มิถุนายน 2563

วันที่หมดอายุ : 20 มิถุนายน 2564

เรื่อง : การฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูง (Needle free jet injection)

ผู้เขียน : ภาณุ.ชนมน พรพินิจ และ ภก.อนวัช มิตประทาน

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม :

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงาน องค์ประกอบของอุปกรณ์นำส่งยาด้วยเทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูง
2. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูง รวมถึงข้อดีและข้อเสียของการใช้เทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูง

### คำสำคัญ

การฉีดยาแบบไร้เข็มด้วยลำพุงความเร็วสูง, Needle free jet injection, เทคโนโลยีการนำส่งยาแบบไม่ใช้เข็ม

### บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการนำส่งยาโดยไม่ใช้เข็มถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดจากการนำส่งยาโดยใช้เข็มฉีดยา เช่น ลดอาการวิตกกังวลของผู้ป่วยในผู้ป่วยที่กลัวเข็ม ลดการติดเชื้อ เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน เทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูงเป็นอีกทางเลือกในการนำส่งยาโดยไม่ใช้เข็ม อุปกรณ์ที่ใช้ในการนำส่งยาแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิดกำลังงาน ประกอบด้วย 3 ประเภท คือ แบบใช้สปริง แบบใช้แก๊ส และแบบใช้แรงไฟฟ้าหรือแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะนำส่งยาด้วยลำพุงความเร็วสูงของยาที่เจาะทะลุผ่านผิวหนัง โดยไม่ต้องใช้เข็มและกระบอกฉีดยา ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของการนำส่งยาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางลำพุง ความเร็วของของเหลวที่พุ่งออกมา ความดันกระแทก เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูงก็ยังมีข้อเสียที่ต้องได้รับการพัฒนาต่อไป

## การฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูง (Needle free jet injection)

ภญ.ชนมน พรพินิจ และ ภก.อนวัช มิตประทาน

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม :

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงาน องค์ประกอบของอุปกรณ์นำส่งยาด้วยเทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูง
2. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูง รวมถึง ข้อดีและข้อเสียของการใช้เทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูง

### บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการนำส่งยาโดยไม่ใช้เข็มถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดจากการนำส่งยาโดยใช้เข็มฉีดยา เช่น ลดอาการวิตกกังวลของผู้ป่วยในผู้ป่วยที่กลัวเข็ม ลดการติดเชื้อ เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน เทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูงเป็นอีกทางเลือกในการนำส่งยาโดยไม่ใช้เข็ม อุปกรณ์ที่ใช้ในการนำส่งยาแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิดกำลังงาน ประกอบด้วย 3 ประเภท คือ แบบใช้สปริง แบบใช้แก๊ส และแบบใช้แรงไฟฟ้าหรือแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะนำส่งยาด้วยลำพุงความเร็วสูงของยาที่เจาะทะลุผ่านผิวหนัง โดยไม่ต้องใช้เข็มและกระบอกฉีดยา ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของการนำส่งยาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางลำพุง ความเร็วของของเหลวที่พุ่งออกมา ความดันกระแทก เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูงก็ยังมีข้อเสียที่ต้องได้รับการพัฒนาต่อไป

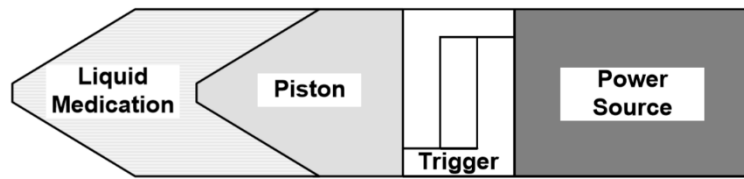
### บทนำ

ในอดีตการให้ยากับผู้ป่วยโดยการฉีดเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในทางการแพทย์ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายในการบริหารยาราคาถูกและให้ผลการออกฤทธิ์ที่รวดเร็วกว่าการวิธีการบริหารยาในแบบอื่น ๆ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังมีข้อเสียอยู่หลายประการ เช่น อาจทำให้เกิดการติดเชื้อหากใช้เข็มเดิมในการบริหารยา เกิดความเจ็บปวดในบริเวณที่ฉีด บุคลากรที่บริหารยาจะต้องมีความเชี่ยวชาญในการบริหารยา และปริมาณที่จำกัดในการบริหารยา เป็นต้น ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาการให้ยาในรูปแบบที่ไม่ใช้เข็ม เพื่อจะลดข้อจำกัดต่างๆ

### อุปกรณ์ที่ใช้ส่งยาด้วยลำพุงความเร็วสูง

เนื่องจากอุปกรณ์จะต้องผ่านการทำให้ปราศจากเชื้อโดยใช้ความร้อนจึงต้องใช้วัสดุที่สามารถทนความร้อนได้ โดยมักจะใช้เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา เช่น polycarbonate ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี โดยจะมีการเติมฟิลเลอร์ (filler) เพื่อทำให้หล่อได้ง่ายขึ้นและมีการเติมสีลงไปในโพลีเมอร์ ทำให้มีลักษณะทางกายภาพที่สวยงาม

องค์ประกอบหลักมี 4 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดกำลังงาน (power source) ไกปืน (trigger) หัวกด (piston) และหัวฉีด (nozzle) ดังรูป



รูปที่ 1 องค์ประกอบของอุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพุงความเร็วสูง

โดยอุปกรณ์สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท ตามแหล่งกำเนิดกำลังงาน

1. แบบใช้สปริง (spring-powered injector)
  - การใช้สปริงเป็นแหล่งกำเนิดกำลังงานเป็นแบบแรกในการพัฒนาอุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพุงความเร็วสูง ซึ่งจะใช้หลักการการดิ่งกลับของสปริงเมื่อกดไกปืนเป็นตัวผลักดันให้เข้าไปในเนื้อเยื่อ
  - ข้อดี : สามารถออกแบบให้อุปกรณ์มีขนาดเล็ก ราคาต่ำ และมีความทนทาน
  - ข้อเสีย : แรงจะขึ้นกับระยะขยายตัวซึ่งทำให้เกิดแรงได้จำกัด และเมื่อใช้เป็นระยะเวลานานจะเกิดการล้า
  - ตัวอย่างของ spring-powered injector เช่น The Injex 30 ของบริษัท Equidyne



รูปที่ 2 The Injex 30

2. แบบใช้แก๊ส (gas-powered injector)
  - นิยมใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือฮีเลียมในการผลักดันยาเข้าสู่ผิวหนัง
  - ข้อดี : มีแรงส่งจากการขยายตัวของแก๊สซึ่งทำให้ใช้กับยาที่มีปริมาณมากได้ มีความซับซ้อนน้อย และให้แรงกดที่มีความแม่นยำในการใช้งาน
  - ข้อเสีย : มีการปล่อยแก๊สออกจากอุปกรณ์ทำให้เกิดเสียงดัง อาจทำให้ผู้ใช้รู้สึกกลัวได้ และราคาสูงกว่าแบบสปริง
  - ตัวอย่างของ gas-powered injector เช่น The Biojector® 2000 ของบริษัท iHealthNet, LLC



รูปที่ 3 The Biojector® 2000

3. แบบใช้แรงไฟฟ้าหรือแม่เหล็กไฟฟ้า (electric-powered or magnetic power injector)
  - เป็นอุปกรณ์แบบใหม่ล่าสุดที่กำลังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา
  - ข้อดี : มีความแม่นยำมากที่สุด
  - ข้อเสีย : มีราคาสูงที่สุด

### การเตรียมอุปกรณ์นำส่งยา

กระบวนการการผลิตประกอบด้วย 4 ขั้นตอน โดยทุกขั้นตอนจะต้องทำภายใต้สภาวะที่ปราศจากเชื้อ

#### 1. กระบวนการหล่อพลาสติก

เป็นกระบวนการหล่อพลาสติกให้เป็นรูปทรงตามที่ต้องการโดยใส่เม็ดพลาสติกลงในเบ้า จากนั้นให้ความร้อนจนพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้ และทำให้เย็นด้วยระยะเวลาที่เหมาะสม พลาสติกที่ได้ไปประกอบกับหัวฉีดด้วยระบบไฮดรอลิกและตกลงบนสายพาน

#### 2. การประกอบและการติดฉลาก

พลาสติกและองค์ประกอบอื่น ๆ จะถูกประกอบเข้าด้วยกัน จากนั้นจะส่งไปติดฉลากโดยก่อนติดฉลากจะมีการตรวจสอบความถูกต้องของฉลาก

#### 3. บรรจุภัณฑ์

หลังจากการประกอบอุปกรณ์แล้วจะนำมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ โดยจะห่อด้วยฟิล์มที่ปราศจากเชื้อก่อนแล้วจึงบรรจุลงในกล่องพลาสติก

#### 4. การควบคุมคุณภาพในการผลิต

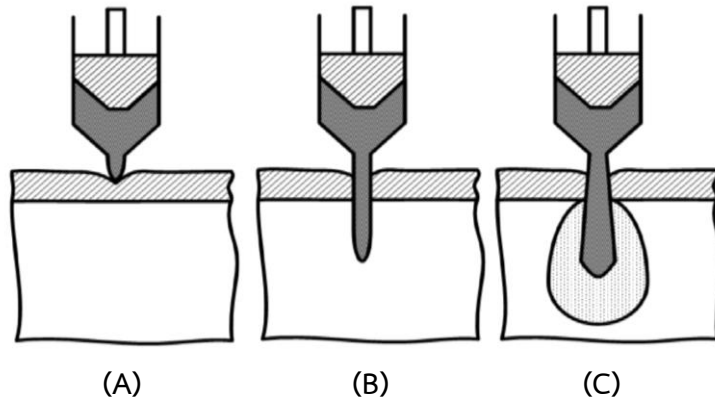
- ตรวจสอบพลาสติกให้อยู่ในข้อกำหนดโดยจะตรวจสอบขนาดและความหนาโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ เช่น laser micrometers, callipers และกล้องจุลทรรศน์
- ตรวจสอบความหนาบรรจุภัณฑ์ให้ถูกต้อง

### สารช่วยที่ใช้ในตำรับ (excipients)

นิยมใช้สารจำพวกไซโคลเด็กซ์ทริน (cyclodextrins) น้ำตาลแลคโตส (lactose) ไลโปโซม (liposome) กรดอะมิโน (amino acids) และน้ำ

### หลักการ

การฉีดด้วยลำพุ่งความเร็วสูง เป็นการอาศัยการเจาะผ่านผิวหนังด้วยของเหลวที่มีความเร็วสูง โดยของเหลวจะพุ่งออกมาจากหัวฉีดที่เรียกว่า nozzle โดยกระบวนการการนำส่งยาจะแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงสะสมแรงดัน โดยจะมีการสะสมแรงดันให้มากพอที่จะเอาชนะความแข็งแรงของผิวหนัง ช่วงปล่อยของเหลวพุ่งเจาะทะลุผิวหนังเข้าไปในชั้นเนื้อเยื่อ และขั้นตอนสุดท้ายจะกระจายตัวในเนื้อเยื่อ



รูปที่ 4 รูปแสดงกระบวนการนำส่งยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูงในผิวหนัง (A) ช่วงสะสมแรงดัน (B) ช่วงเจาะทะลุ และ (C) ช่วงแพร่กระจาย

### ตำแหน่งในการฉีด

การฉีดยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูงสามารถฉีดในตำแหน่งเดียวกับการฉีดยาโดยใช้เข็ม คือ

1. การฉีดเข้าผิวหนัง (intradermal injection)
2. การฉีดเข้าชั้นเนื้อเยื่อ (subcutaneous/ hypodermis injection)
3. การฉีดเข้ากล้ามเนื้อ (intramuscular injection)

### พารามิเตอร์ที่สำคัญ

อุปกรณ์สร้างลำพุ่งจะต้องควบคุมการไหล และสร้างลำพุ่งให้มีลักษณะสอดคล้องกับกระบวนการนำส่งยา โดยจะมีปัจจัยมากมายที่เกี่ยวข้อง

1. เส้นผ่านศูนย์กลางลำพุ่งอยู่ในช่วง 0.076 - 0.360 mm.
2. ความเร็วของของเหลวที่พุ่งออกมาซึ่งจะมีค่ามากกว่า 100 - 200 m/s
3. Reynolds number อยู่ในช่วง 10,000 ซึ่งจะทำให้การไหลเป็นแบบปั่นป่วน
4. ความดันกระแทกจะต้องมีค่าสูงสุดอย่างน้อย 15 MPa ซึ่งจะทำให้สามารถทะลุผิวหนังได้
5. กำลังพุ่งซึ่งส่งผลกับความลึก ลักษณะของรูเจาะ ลักษณะการกระจายอนุภาคยาในเนื้อเยื่อ และปริมาณยาที่ถูกนำส่งได้

### ผลิตภัณฑ์ที่ใช้การนำส่งด้วยลำพุ่งความเร็วสูง

1. วัคซีน (vaccines)

มีการใช้เทคโนโลยีการนำส่งวัคซีนด้วยลำพุ่งความเร็วสูงเพื่อป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ได้แก่ หัด (measles) ฝีดาษ (smallpox) อหิวาตกโรค (cholera) ไวรัสตับอักเสบบี (hepatitis B) ไข้หวัดใหญ่ (influenza) และโปลิโอ (polio) โดยเริ่มแรกมีการใช้หัวฉีด (nozzle) แบบหัวฉีดเดี่ยวใช้ซ้ำ ซึ่งเป็นการใช้หัวฉีดเดี่ยวฉีดให้กับหลาย ๆ คนต่อมาพบว่าทำให้เกิดการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสตับอักเสบบี ภายหลังจึงเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนหัวฉีดได้จากการศึกษาพบว่าการนำส่งวัคซีนด้วยลำพุ่งความเร็วสูงมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันมากกว่าหรือเทียบเท่ากับการนำส่งด้วยการใช้เข็มฉีดยา

## 2. โปรตีน (proteins)

การนำส่งยาด้วยลำพุงความเร็วสูงมีการนำมาใช้ในการนำส่งโปรตีนหลายชนิด เช่น อินซูลิน (insulin) โกรทฮอร์โมน (growth hormones) อีริโทรโพอิติน (erythropoietin) และอินเตอร์เฟียร์รอน (interferon) โดยพบว่า การนำส่งอินซูลิน (insulin) ด้วยลำพุงความเร็วสูงมีประสิทธิภาพในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ใกล้เคียงกับการใช้เข็มฉีดยาแต่ onset เร็วกว่า อาจเกิดจากอินซูลิน (insulin) สามารถกระจายตัวไปยังตำแหน่งที่ฉีดได้มากกว่า จากการศึกษาพบว่า การนำส่งอินซูลินด้วยลำพุงความเร็วสูงมีความเจ็บปวดไม่แตกต่างจากการใช้เข็มฉีดยา ส่วนการนำส่งโกรทฮอร์โมน (growth hormones) พบว่าระดับฮอร์โมนในเลือดสูงสุดมีค่าสูงกว่าการนำส่งยาโดยใช้เข็ม และเวลาที่ใช้ในการไปถึงระดับสูงสุดเร็วกว่าการนำส่งยาโดยใช้เข็ม

## 3. สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecules)

มีการนำส่งเฮพาริน (heparin) เพื่อใช้ในการรักษาโรคหลอดเลือดดำอุดตัน (deep vein thrombosis) นำส่งโบทูลินัมท็อกซิน (botulinum toxin) เพื่อรักษาอาการเหงื่อออกมากกว่าปกติ (plantar hyperhidrosis) ปัจจุบันมีการพัฒนาการนำส่งยาด้วยลำพุงความเร็วสูงในการรักษาในระดับยีน

## 4. สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (small molecules)

มีการนำส่งสารโมเลกุลเล็ก เช่น เพนิซิลลิน (penicillin) ลิโดเคน (lidocaine) มิดาโซแลม (midazolam) สเตียรอยด์ (steroids) และบลีโอมัยซิน (bleomycin) โดยการนำส่งยา lidocaine เป็นที่นิยมใช้มากในทางทันตกรรม การให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำและการผ่าตัด นอกจากนี้ยังพบว่ามีการนำส่งยาอัลโปรสตาดีล (alprostadil) เพื่อใช้ในการรักษาโรคหย่อนสมรรถภาพทางเพศ (erectile dysfunction) อีกด้วย

### ข้อดี

1. ลดโอกาสในการติดเชื้อจากการแทงเข็ม
2. เพิ่มความร่วมมือในการใช้ยา
3. ลดความกังวล และอาการกลัวเข็มของผู้ป่วย
4. ลดต้นทุนในการทำยาเข็ม เนื่องจากเข็มฉีดยาที่ใช้แล้วเป็นขยะติดเชื้อจึงต้องอาศัยวิธีการพิเศษในการทำลาย
5. ตัวยาออกฤทธิ์ได้เร็ว เนื่องจากขณะฉีดตัวยาคจะกระจายเป็นอนุภาคขนาดเล็กและเป็นบริเวณกว้างในเนื้อเยื่อเป้าหมาย ทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมยาได้ดี

### ข้อเสีย

1. ราคาต่อหน่วยสูงกว่าการบริหารยาด้วยเข็มฉีดยาเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีกลไกซับซ้อน และต้องมีการบำรุงรักษาตลอดช่วงเวลาในการใช้งาน
2. ไม่สามารถบริหารยาทาง Intravenous ได้
3. ผู้ที่จะบริหารยาจะต้องได้รับการฝึกฝนมาก่อน
4. เกิดรอยฟกช้ำหรือรอยแดงบนผิวหนัง

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาด

Product Name	Company	Actuation mechanism	Department of penetration	Drug Types	Drug volume (ml)	Comments
Medi-jector vision	Antares Pharma Inc.	Spring	Subcutaneous	Insulin	--	Compatible with all types of U100 insulin.
Biojector 2000	Bioject	Compressed gas	Subcutaneous, Intramuscular.	Liquid	1	Used to deliver vaccines.
Vitajet3	Bioject	Spring	Subcutaneous	Insulin	0.02-0.5	Can be used for selfadministration
Iject	Bioject	Compressed gas	Intramuscular, Subcutaneous, Intradermal	Liquid	Variable	Available for single use or multiple uses.
Intraject	Weston medical	Compressed gas	Subcutaneous	Liquid	0.5	Delivers drug in less than 60 milli sec.
Penjet	Penjet corporation	Compressed gas	Intramuscular, Subcutaneous, Intradermal	Liquid	0.1-0.5	Low cost, easy to operate
Injex30	Injex	Spring	Subcutaneous	Insulin	0.05-0.3	Dual safety system is present.
Injex150	Injex	Spring	Subcutaneous	Insulin	0.8-1.5	Deliver largest dose among injex products.
Crossject	Crossject	Spring	Intramuscular, Subcutaneous, Intradermal	Liquid	0.2-1	Operating is based on novel gas tech.
Depixol Depo injection	Lundbeck Limited	Compressed gas	Intramuscular	Liquid	2-3	Operates by using compressed gas.
Miniject	Bio valve	Spring	Intramuscular, Subcutaneous, Intradermal.	Liquid	0.1-0.3	Can deliver wide range of drugs.

## บทสรุป

การใช้เข็มฉีดยามีข้อดีหลายประการจึงมีการคิดค้นเทคโนโลยีการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูงซึ่งเป็นการใช้ลำของเหลวที่มีความเร็วสูงในการเจาะผ่านผิวหนัง อุปกรณ์มีองค์ประกอบพื้นฐาน 4 ส่วนคือ แหล่งกำเนิดกำลังงาน ไกปืน หัวฉีด และหัวฉีด โดยแหล่งกำเนิดกำลังงานเป็นตัวแบ่งประเภทของอุปกรณ์ ได้แก่ แบบสปริง แก๊ส และแรงไฟฟ้าหรือแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งนิยมใช้แบบสปริงและแก๊ส ส่วนแบบแรงไฟฟ้าหรือแม่เหล็กไฟฟ้ายังอยู่ในกระบวนการทดลอง ในปัจจุบันพบว่ามีผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่ใช้เทคโนโลยีนำส่งยาด้วยลำพุงความเร็วสูงเพื่อนำส่งยาและวัคซีนต่าง ๆ เช่น วัคซีนป้องกันโรคหัด (measles) วัคซีนป้องกันอหิวาตกโรค (cholera) วัคซีนป้องกันไวรัสตับอักเสบชนิดบี (hepatitis B) เพนิซิลิน (penicillin) ลิโดเคน (lidocaine) มิดาโซแลม (midazolam) สเตียรอยด์ (steroids) อินซูลิน (insulin) โกรทฮอร์โมน (growth hormones) และเฮพาริน (heparin) ข้อดีของการฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูงมีหลายประการ เช่น ลดการติดเชื้อจากบาดแผลที่ถูกเข็มแทง ช่วยให้ยาออกฤทธิ์ได้เร็วขึ้นเนื่องจากการดูดซึมดีขึ้น ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายตอบสนองต่อวัคซีนได้ดีขึ้น ลดความกังวลของผู้ป่วยที่มีอาการกลัวเข็มฉีดยา นอกจากนี้เทคโนโลยีฉีดยาด้วยลำพุงความเร็วสูงยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับยาที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีนี้ก็ยังมีความท้าทายในหลาย ๆ ด้าน เช่น เกิดรอยแดงหรือรอยฟกช้ำที่ผิวหนังเนื่องจากการฉีดโดยใช้แรงดันสูง ไม่สามารถนำส่งยาเข้าสู่เส้นเลือดดำได้เนื่องจากแรงดันที่มีมากเกินไป ราคาต่อหน่วยที่สูงกว่าเข็มฉีดยาทั่วไปเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีกลไกซับซ้อน ต้องการการบำรุงรักษา จากข้อจำกัดต่าง ๆ จึงทำให้เทคโนโลยีนำส่งยาด้วยความดันสูงยังมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อพัฒนาให้อุปกรณ์มีความปลอดภัย มีราคาเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

1. Kumar BP, Sindhuri M. NEEDLE FREE DRUG DELIVERY SYSTEM: AN UPDATE OF UPCOMING EVOLUTION.
2. Ravi AD, Sadhna D, Nagpaal D, Chawla L. Needle free injection technology: a complete insight. International journal of pharmaceutical investigation. 2015 Oct;5(4):192.
3. Kale TR, Momin M. Needle free injection technology-An overview. Innovations in pharmacy. 2014 Jan 1;5(1).
4. วิระพันธ์ สีหนาม. การฉีดยาแบบไร้เข็มด้วยลำพุงความเร็วสูง: อุปกรณ์และพฤติกรรมฉีดยา. UBU Engineering Journal. 2014;7(2):113-24.
5. ลิกขวัฒน์ นักร้อง. Needle-Free Jet Injections กับการบริหารยาในอนาคต [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 9 ต.ค.2562]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://wongkarnpat.com/upfileya/%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A2%E0%B8%B2%20221.pdf>



6. Barolet D, Benohanian A. Current trends in needle-free jet injection: an update. *Clinical, cosmetic and investigational dermatology*. 2018;11:231.
7. Baxter J, Mitragotri S. Needle-free liquid jet injections: mechanisms and applications. *Expert review of medical devices*. 2006 Sep 1;3(5):565-74.