การฟื้นฟูแบบใช้หุ่นยนต์ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง (robotic rehabilitation in stroke patients)

วสุวัฒน์ กิติสมประยูรกุล

บทนำ

ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนใหญ่มีอาการอ่อนแรงครึ่งซีก ส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย ผู้ป่วยร้อยละ 80 มีความสามารถในการใช้งานของรยางค์บนลดลง[1] การฟื้นฟูด้วย neurophysiologic technique ต่าง ๆ อาทิเช่น Bobath, Brunnstrom และ proprioceptive neuromuscular facilitation ก็ให้ผลการฟื้นฟูรยางค์บนไม่แตกต่างจาก traditional sensorimotor technique[2] 3 เดือนแรกหลังเกิดโรค พบว่าผู้ป่วยร้อยละ 80 มีปัญหาการเดิน[3, 4] เมื่อได้รับการฟื้นฟูแล้วพบว่าร้อยละ 18 ไม่สามารถเดินได้ และร้อยละ 11 เดินได้โดยต้องมีผู้ช่วย[5] นอกจากการฝึกเดินบนพื้นราบ (over ground walking) แล้ว การฝึกเดินด้วยวิธี body weight-supported treadmill training ช่วยให้ผู้ป่วยฟื้นตัวดี การทรงตัวดีขึ้น และความเร็วของการเดินเพิ่มขึ้น[6, 7] แม้ว่าการฟื้นฟูจะมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ก็ยังมีการค้นหาวิธีการหรือเทคนิคใหม่ ๆ โดยมีเป้าหมายหลัก คือ ทำให้เกิดการฟื้นตัวดียิ่งขึ้น รวดเร็วยิ่งขึ้น และทำให้เกิดการฟื้นตัว/ใช้งานได้ในผู้ป่วยที่มีความบกพร่องมากซึ่งการฟื้นฟูด้วยวิธีเดิมไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร การฟื้นฟูด้วยหุ่นยนต์เป็นวิธีหนึ่งที่มีการพัฒนาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว โดยเฉพาะในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมามีการพัฒนาด้านหุ่นยนต์ฟื้นฟูอย่างมาก การพัฒนาหุ่นยนต์อิงหลักการของการกระตุ้นการเกิด neuroplasticity ได้แก่ task-specific training, high repetition และ massed practice[8, 9] โดยอาศัยหุ่นยนต์เป็นเครื่องมือช่วยให้การฝึกมีความสะดวก ลดภาระของนักบำบัด ลดความเบื่อหน่ายจากการฝึก เนื่องจากมีการฝึกหุ่นยนต์ร่วมกับเกม มีการให้ข้อมูลป้อนกลับ แสดงผลการฝึก ทำให้ผู้ป่วยฝึกได้จำนวนครั้งที่มากเพียงพอและมีความสม่ำเสมอของการฝึกยิ่งขึ้น

การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ฟื้นฟู[10-12]

หุ่นยนต์ฟื้นฟู แบ่งชนิด ดังนี้

1. หุ่นยนต์ฟื้นฟูชนิดอยู่กับที่ (static/stationary rehabilitation robot) เป็นหุ่นยนต์ที่ติดตั้งไว้กับฐานตั้งพื้น ขณะฝึกหุ่นยนต์ที่ติดตั้งไว้กับฐานจะเคลื่อนที่เฉพาะส่วนรยางค์บนหรือล่าง หุ่นประเภทนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อย ได้แก่

1.1 หุ่นยนต์แบบ end-effector มีระบบการทำงานโดยอาศัยการขยับแท่นจับที่อยู่ที่ส่วนปลายแขนหรือขา ข้อดี คือ การใช้งานไม่ยุ่งยาก ข้อเสีย คือ ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวข้อต่อแต่ละข้อได้อย่างละเอียด อาจเกิดการเคลื่อนไหวชดเชยของร่างกายส่วนที่ไม่ต้องการได้ และช่วยการเคลื่อนไหวในแนวต้านแรงโน้มถ่วงไม่ได้ ตัวอย่างหุ่นยนต์ อาทิเช่น GT-2, G-EO, SensibleSTEP, MIT-Manus, Bi-Manu-Track, SensibleTAB, EnMotion (พัฒนาโดยความร่วมมือของภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) (รูปที่ 1)

รูปที่ 1. หุ่นยนต์ EnMotion

1.2 หุ่นยนต์แบบ exoskeleton มีโครงหุ่นยนต์ครอบส่วนที่ต้องการควบคุมการเคลื่อนไหวแต่ละข้อต่อ ข้อดี คือ ควบคุมการเคลื่อนไหวได้ดี ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวตามระนาบ/แนวแรงที่ถูกต้อง ลดการเคลื่อนไหวที่ไม่ต้องการ ทำให้แขนข้างที่อ่อนแรงเคลื่อนไหวในแนวแกนใกล้เคียงปกติ สามารถช่วยการเคลื่อนไหวในทิศทางต้านแรงโน้มถ่วงได้ ข้อเสีย คือ มีโครงสร้างที่ซับซ้อน การใช้งานยากกว่าและราคาสูงกว่า

หุ่นยนต์ฟื้นฟูแบบ end-effector ตัวอย่างหุ่นยนต์ อาทิเช่น Lokomat, ArmeoPower, Hand of Hope, ExMotion-Arm, ExMotion-Wrist (พัฒนาโดยความร่วมมือของภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) (รูปที่ 2)

รูปที่ 2. หุ่นยนต์ ExMotion-Arm และ ExMotion-Wrist

2. หุ่นยนต์ฟื้นฟูชนิดเคลื่อนที่/สวมใส่ (dynamic/wearable rehabilitation robot) เป็นหุ่นยนต์แบบสวมใส่ที่จะเคลื่อนที่ไปกับผู้ป่วยด้วยในขณะฝึก ใช้เพื่อฝึกการเคลื่อนไหว ออกกำลังกล้ามเนื้อ และทดแทนหน้าที่การใช้งานที่บกพร่อง ตัวอย่างหุ่นยนต์ อาทิเช่น FREEWalk (ให้บริการฟื้นฟูสมรรถภาพที่ฝ่ายเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย) ReWalk, Ekso, HAL Cyberdyne, Myomo

นอกจากนี้ยังอาจแบ่งชนิดหุ่นยนต์ตามข้อต่อที่หุ่นยนต์ควบคุมการเคลื่อนไหว[13] ได้แก่ whole arm, shoulder/elbow, shoulder/elbow/wrist, elbow/wrist, elbow/wrist/hand, elbow, wrist, wrist/hand, hand หรือตามระบบควบคุม[14] ได้แก่ electric, spring, hydraulic, pneumatic

ขนาดการใช้งาน

การฝึกผู้ป่วยด้วยหุ่นยนต์มีรูปแบบต่าง ๆ[15] ได้แก่ passive, assistive, resistive และ corrective mode แพทย์/นักกายภาพบำบัด/นักกิจกรรมบำบัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละราย โดยยึดกำลังกล้ามเนื้อของส่วนที่จะฝึกเป็นหลัก การฝึกด้วยหุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์บนมักทำร่วมกับการฝึกมาตรฐานโดยนักกิจกรรมบำบัด เวลาที่ฝึกแต่ละครั้งต่อวัน จำนวนครั้งต่อสัปดาห์ และจำนวนครั้งทั้งหมดที่ทำการฝึกมีความแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัย แม้ว่าจะฝึกด้วยหุ่นยนต์แบบเดียวกันหรือคนละแบบก็ตาม[16] การฝึกด้วยหุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์บนใช้เวลาฝึกวันละ 30-60 นาทีร่วมกับการฝึกแบบมาตรฐาน 30 นาที 3-5 วันต่อสัปดาห์ นาน 4-8 สัปดาห์ จำนวนครั้งของการฝึกรวม 20-30 ครั้ง การฝึกด้วยหุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์ล่างร่วมกับการฝึกมาตรฐานโดยนักกายภาพบำบัด เวลาและจำนวนครั้งก็มีความแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัย ส่วนใหญ่ฝึกครั้งละ 60 นาที 3-5 วันต่อสัปดาห์ นาน 4-8 สัปดาห์ จำนวนครั้งรวม 12-24 ครั้ง[17, 18]

ผลการฟื้นฟู

การศึกษาแบบ meta analysis และ systematic review แสดงผลของการฟื้นฟูรยางค์บนด้วยหุ่นยนต์ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง[13] ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

จาก cochrane review[16] เมื่อปี ค.ศ. 2018 แสดงผลการฟื้นฟูด้วยหุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์บนในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองแบบผู้ป่วยใน แสดงในภาพรวมโดยไม่มีการแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ ดังตารางที่ 3 นอกจากนี้ ผลการฟื้นฟูด้วยหุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์บนที่มีจำนวนผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในการศึกษามากที่สุดจำนวน 770 คน ทำการศึกษาแบบ multicenter randomized controlled เปรียบเทียบการฝึกด้วยหุ่นยนต์ MIT-Manus robotic gym กับการฟื้นฟูแบบเข้มข้นและการฟื้นฟูปกติในผู้ป่วยที่มีความบกพร่องระดับปานกลาง-รุนแรง พบว่าการใช้งานของรยางค์บนดีขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม[19]

ตารางที่ 1. ผลของการฝึกด้วยหุ่นยนต์ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง แบ่งตามชนิดของหุ่นยนต์ที่ควบคุมส่วนต่าง ๆ ของรยางค์บน

ชนิดของหุ่นยนต์	การควบคุมการเคลื่อนไหวรยางค์บน			ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ	ความตึงตัวกล้ามเนื้อ	การใช้งานรยางค์บน	กิจวัตรประจำวันพื้นฐาน
	รยางค์บน	ข้อไหล่/ข้อศอก	ข้อมือ/มือ				
หุ่นยนต์ทุกชนิด	+	+	±	±	-	±	±
Whole arm	±	?	?	?	?	±	?
Shoulder/elbow	+	+	±	+	±	±	±
Shoulder/elbow/wrist	±	?	?	±	±	?	?
Elbow/wrist	+	+	±	±	?	?	?
Elbow/wrist/hand	?	?	?	?	?	?	?
Elbow	?	?	?	?	?	?	?
Wrist	?	?	?	?	?	?	?
Wrist/hand	?	±	±	?	?	?	?
Hand	?	?	?	?	?	±	?

+ หมายถึง ได้ประโยชน์หรือมีแนวโน้มที่จะได้ประโยชน์ ± หมายถึง อาจได้หรือไม่ได้ประโยชน์ - หมายถึง ลดประโยชน์ ? หมายถึง ไม่ทราบผล

ตารางที่ 2. ผลของการฝึกด้วยหุ่นยนต์ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง แบ่งตามระบบการทำงานของหุ่นยนต์ ระยะเวลาการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง และขนาดของการฝึก

ชนิดของหุ่นยนต์/ระยะการเกิดโรค/ขนาดการฝึก	การควบคุมการเคลื่อนไหวรยางค์บน			ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ	ความตึงตัวกล้ามเนื้อ	การใช้งานรยางค์บน	กิจวัตรประจำวันพื้นฐาน
	รยางค์บน	ข้อไหล่/ข้อศอก	ข้อมือ/มือ				
หุ่นยนต์ exoskeleton	±	?	±	±	±	±	?
หุ่นยนต์ end-effector	+	+	+	±	±	±	±
เกิดโรค <3 เดือน	±	+	+	±	±	±	±
เกิดโรค ≥3 เดือน	±	+	±	±	±	±	±
ขนาดการฝึกเท่ากัน	+	+	±	±	-	±	±
ขนาดการฝึกมากกว่า	±	+	+	±	?	?	+

+ หมายถึง ได้ประโยชน์หรือมีแนวโน้มที่จะได้ประโยชน์ ± หมายถึง อาจได้หรือไม่ได้ประโยชน์ - หมายถึง ลดประโยชน์ ? หมายถึง ไม่ทราบผล

ตารางที่ 3. ผลการฝึกด้วยหุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์บนในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง (เฉพาะการฝึกแบบผู้ป่วยใน)

ผลการฟื้นฟู	เปรียบเทียบผลกับกลุ่มควบคุม (standardized mean difference)	จำนวนรวมของผู้ป่วย (จำนวนการศึกษา)
กิจวัตรประจำวัน	+ 0.31	957 (24)
ผู้ป่วยระยะเฉียบพลัน/รองเฉียบพลัน (<3 เดือน)	+ 0.40	532 (13)
ผู้ป่วยระยะเรื้อรัง (≥3 เดือน)	+ 0.56	425 (11)
การใช้งานรยางค์บน	+ 0.32	1,452 (41)
ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ	+ 0.46	826 (23)

ผลการฟื้นฟูทุกตัวมีคุณภาพของการศึกษาที่รวบรวมมาในระดับสูง, หุ่นยนต์ที่นำผลมาวิเคราะห์ส่วนใหญ่มาจากการฝึกด้วยหุ่นยนต์ Bi-Manu-Track, InMotion และ MIT-Manus, จำนวนการเกิด drop-outs ระหว่างฝึก 56 ต่อ 1,000

การศึกษาแบบ meta analysis และ systematic review แสดงผลของการฟื้นฟูรยางค์ล่างด้วยหุ่นยนต์ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง[17] ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4. ผลการฝึกด้วยหุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์ล่างในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง

OR: odds ratio

ผลการฟื้นฟู	Relative effect (OR)	คุณภาพของหลักฐาน
โอกาสที่ผู้ป่วยกลับไปเดินได้ด้วยตนเอง (functional ambulatory category, FAC)	2.01	สูง
ความเร็วเฉลี่ยของการเดิน (ม./วินาที)	เร็วกว่ากลุ่มควบคุมเฉลี่ย 0.1 m/sec	ต่ำ
ระยะทางที่สามารถเดินได้ (ม.ใน 6 นาที)	ระยะทางมากกว่ากลุ่มควบคุมเฉลี่ย 11 เมตร	ปานกลาง

เมื่อเปรียบเทียบการฟื้นฟูมาตรฐานเพียงอย่างเดียวกับการใช้หุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์ล่างร่วมกับการฟื้นฟูมาตรฐาน พบว่าการฟื้นฟูด้วยหุ่นยนต์เพิ่มโอกาสที่ผู้ป่วยจะกลับไปเดินได้ด้วยตนเองในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะเฉียบพลันและรองเฉียบพลัน (หลังการเกิดโรคไม่เกิน 3 เดือน) ผู้ป่วยที่ฝึกด้วยหุ่นยนต์ exoskeleton พบผลดีกว่าผู้ป่วยที่ฝึกด้วยหุ่นยนต์ end-effector และได้ผลดีในผู้ป่วยที่มี FAC ≤3 มากกว่าผู้ป่วยที่มี FAC >3 ในขณะที่หุ่นยนต์ end-effector ช่วยเพิ่มความเร็วของการเดินและระยะทางในการเดินได้มากกว่า แต่เมื่อติดตามผลระยะยาว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการฟื้นฟูมาตรฐานเพียงอย่างเดียวกับการใช้หุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์ล่างร่วมกับการฟื้นฟูมาตรฐาน[17] ส่วนหุ่นยนต์ wearable exoskeleton พบว่าผลของการฝึกมีแนวโน้มดีกว่าการฟื้นฟูมาตรฐาน[18] แต่ยังมีงานวิจัยไม่เพียงพอที่จะสรุปผล อย่างไรก็ตาม The American Heart Association/The American Stroke Association ได้ให้คำแนะนำให้ใช้หุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์ล่างร่วมกับการฟื้นฟูมาตรฐานในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเพื่อเพิ่มสมรรถภาพในการเดินและการเคลื่อนไหว[20]

บทสรุป

ผลการฟื้นฟูด้วยหุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์บนร่วมกับการฟื้นฟูมาตรฐานมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการฟื้นฟูมาตรฐานเพียงอย่างเดียวเมื่อใช้เวลาในการฝึกเท่ากัน (dose-matched training) ช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้งาน การควบคุมการเคลื่อนไหว ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และการทำกิจวัตรประจำวันพื้นฐานของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในระยะรองเฉียบพลันและเรื้อรัง ส่วนการฟื้นฟูด้วยหุ่นยนต์ฟื้นฟูรยางค์ล่างร่วมกับการฟื้นฟูมาตรฐานช่วยเพิ่มโอกาสในการเดินได้เองในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะเฉียบพลันและรองเฉียบพลันที่มี FAC ≤3 การฟื้นฟูด้วยหุ่นยนต์ยังช่วยลดภาระของนักกิจกรรมบำบัดและนักกายภาพบำบัดในการฝึกผู้ป่วย อย่างไรก็ตามผลการฟื้นฟูอาจมีความแตกต่างกันตามแต่ชนิดของหุ่นยนต์ ความถี่และจำนวนครั้งโดยรวมของการฝึก และความบกพร่องของผู้ป่วยแต่ละราย ซึ่งความหลากหลายเหล่านี้ส่งผลต่อผลลัพธ์ของการฟื้นฟู

เอกสารอ้างอิง

1. Nakayama H, Jorgensen HS, Raaschou HO, Olsen TS. Compensation in recovery of upper extremity function after stroke: the Copenhagen Stroke Study. Arch Phys Med Rehabil 1994;75:852-7.
2. Woldag H, Hummelsheim H, Evidence-based physiotherapeutic concepts for improving arm and hand function in stroke patients. J Neurol 2002;249:518-28.
3. Beyaert C, Vasa R, Frykberg GE. Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies. Neurophysiol Clin 2015;45:335-55.
4. Alguren B, Lundgren-Nilsson A, Sunnerhagen KS. Functioning of stroke survivors-a validation of the ICF core set for stroke in Sweden. Disabil Rehabil 2010;32:551-9.
5. Jorgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of walking function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study. Arch Phys Med Rehabil 1995;76:27-32.
6. Trueblood PR. Partial body weight treadmill training in person with chronic stroke. Neuro Rehabil 2001;16:141-53.
7. Hesse S, Werner C, von Frankenberg S, Bardeleben A. Treadmill training with partial body weight support after stroke. Phys Med Rehabil Clin N Am 2003;14:S111-23.
8. Kwakkel G. Impact of intensity of practice after stroke: issues for consideration. Disabil Rehabil 2006;28:823-30.
9. Hömberg V. Neurorehabilitation approaches to facilitate motor recovery. In: Barnes MP, Good DC, editors. Neurological rehabilitation: handbook of clinical neurology. Vol 110 (3rd series): Elsevier BV, 2013: 161-73.
10. Maciejasz P, Eschweiler J, Gerlach-Hahn K, Jansen-Troy A, Leonhardt S. A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation. J NeuroEng Rehabil 2014;11:3.
11. Qassim HM, Wan Hasan WZ. A review on upper limb rehabilitation robots. Appl Sci 2020;10:6976.
12. Morone G, Paolucci S, Cherubini A, De Angelis D, Venturiero V, Coiro P, et al. Robot-assisted gait training for stroke patients: current state of the art and perspectives of robotics. Neuropsychiatr Dis Treat 2017;13:1303-11.
13. Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, van Wegen EEH, Merkers CGM, Kwakkel G. Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke: A systematic review and meta-analysis. Neurorehabil Neural Repair 2017;31:107-21.
14. Gopura RARC, Kiguchi K, Bandara DSV. A brief review on upper extremity robotic exoskeleton systems. Proceeding in the 16th International conference on industrial and in-

formation systems 2011, Aug 16-19, Sri Lanka. P. 346-51.

15. Proietti T, Crocher V, Roby-Brami A, Jarrasse N. Upper-limb robotic exoskeletons for neurorehabilitation: a review on control strategies. IEEE Rev Biomed Eng 2016:9:4-14.
16. Dixit S, Tedla JS. Effectiveness of robotics in improving upper extremity functions among people with neurological dysfunction: a systematic review. Int J Neurosci 2019;129: 369-83.
17. Mehrholz J, Thomas S, Kugler J, Pohl M, Elsner B. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. Cochrane Database Syst Rev 2020;10:CD006185.
18. Rodriguez-Fernandez A, Lobo-Prat J, Font-Llagunes JM. Systematic review on wearable lower-limb exoskeletons for gait training in neuromuscular impairments. J NeuroEng Rehabil 2021;18:22.
19. Rodgers H, Bosomworth H, Krebs HI, van Wijck F, Howel D, Wilson N, et al. Robot assisted training for the upper limb after stroke (RATULS): a multicenter randomized controlled trial. Lancet 2019;394:51-62.
20. Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC, et al. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. Stroke 2016;47:e98-169.