

ระบบหุ่นยนต์ WEFRE REHAB SYSTEM ช่วยการเคลื่อนไหวมือและแขน ของผู้ป่วยอัมพาตแขนขาสองข้าง: การศึกษานำร่อง

อภิชนา โฝวินทะ¹, ปรัชญพร คำเมืองลือ¹, สนิธิป พัฒนาคูหา¹, สยาม ทองประเสริฐ¹,
วินัย ชนปรมัตถ์², วิศรุต ทรัพย์ศรี²

¹ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Robotic WEFRE Rehab System for Upper Extremity Movements in Tetraplegic Patients: A Pilot Study

Kovindha A¹, Kammuang-lue P¹, Pattanakuhar S¹, Tongprasert S¹, Chonnaparamutt W², Sapsri W²

¹Department of Rehabilitation Medicine, Faculty of Medicine, Chiang Mai University

²National Electronics and Computer Technology Center,

National Science and Technology Development Agency, Ministry of Science and Technology

ABSTRACT

Objective: To study whether the robotic WEFRE rehab system (Wrist-Elbow-Forearm Robotic Economical Rehabilitation System) could maintain or improve passive ranges of motions (PROMs) of the upper extremity (UE) - elbow, forearm and wrist in tetraplegic patients and replace a therapy done by a therapist.

Study design: A pilot study

Setting: Rehabilitation ward, Maharaj Hospital, Chiang Mai, Thailand

Subjects: Tetraplegic patients from spinal cord injury

Method: The arm of each participant was randomly assigned as a control or a study arm. The UE PROMs were assessed at pre- and post-UE rehab therapy (UERT). Each day, the control arm was treated with two 30-minute conventional UERT by an occupational therapist (OT) whereas the study arm was treated with one 30-minute conventional and one 30-minute robotic UERTs. After completion of the 10-day UERTs, the ROMs of the elbow, wrist, metacarpo-phalangeal (MCP) joints and forearm of each arm were compared between before and after UERTs, and between the study and the control arms. Patients' and therapist's satisfaction, preference and feedbacks were also reported.

Results: Six tetraplegic patients completed the study and their PROMs were analyzed. There were no statistical differences in pre-, post- and pre-post PROMs between the study and the control arms. However, there was a trend of the pre-post difference ($p=0.066-0.068$) in all joints tested except the wrist of the study arm, whereas only in the elbow of the control arm ($p=0.066$). A

shoulder pain was detected after therapy in one study arm. The OT fairly agreed that the robot WEFRE rehab system could replace the conventional UERT. All participants were satisfied with the robot. Nearly all participants believed that it could replace the therapist but only one thought that a caregiver could operate it.

Conclusion: The robotic WEFRE rehab system is safe and could replace an occupational therapist for upper extremity movement therapy. Both the therapist and the patients were fairly satisfied with it. For further improvement, it should be more friendly-used and more durable.

Keywords: robot, rehabilitation, range of motion, upper extremity, tetraplegia

J Thai Rehabil Med 2017; 27(1): 11-17.

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาว่าระบบหุ่นยนต์ WEFRE สามารถช่วยคงหรือเพิ่มพิสัยการเคลื่อนไหวข้อศอก, ข้อมือ และแขนท่อนปลายของผู้ป่วยอัมพาต/อ่อนแรงแขนขาสองข้างได้เทียบเท่าการบำบัดด้วยนักกิจกรรมบำบัด

รูปแบบการวิจัย: การศึกษานำร่อง

สถานที่ทำการวิจัย: หอผู้ป่วยฟื้นฟูสภาพ โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่

กลุ่มประชากร: ผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังส่วนคอและมีอัมพาต/อ่อนแรงแขนขาสองข้าง

Correspondence to: Apichana Kovindha, M.D.; Department of Rehabilitation Medicine, Faculty of Medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand; E-mail:apichana.k@cmu.ac.th

วิธีการศึกษา: แขนข้างใดข้างหนึ่งของผู้ป่วยถูกสวมให้เป็นแขนควบคุมหรือแขนทดลอง วัดพิสัยข้อของแขนทั้งสองข้างก่อนและหลังการศึกษาลิ้นสุด แขนควบคุมได้รับการบำบัดการเคลื่อนไหวแขนวันละ 2 ครั้ง ๆ ละ 30 นาที โดยนักกิจกรรมบำบัด ส่วนแขนทดลองได้รับการบำบัด 2 ครั้งต่อวันเช่นกัน โดยนักกิจกรรมบำบัด 1 ครั้ง และโดยหุ่นยนต์ 1 ครั้ง ทั้งนี้ ผู้ป่วยต้องได้รับการบำบัดอย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 ครั้ง จนครบ 10 ครั้ง เปรียบเทียบพิสัยข้อศอก, ข้อมือ, ข้อโคนนิ้วมือ และแขนท่อนปลาย ระหว่างก่อนและหลังการบำบัด และระหว่างแขนทดลองและแขนควบคุม และสอบถามความเห็นของนักกิจกรรมบำบัดและผู้ป่วยต่อระบบหุ่นยนต์ช่วยการเคลื่อนไหวแขน

ผลการศึกษา: มีผู้เข้าร่วมวิจัย 6 ราย ก่อนการบำบัด หลังบำบัด และผลต่างระหว่างก่อน-หลังบำบัด ของพิสัยข้อระหว่างแขนทดลองและแขนบำบัดไม่ต่างกัน เมื่อวิเคราะห์เฉพาะแขนทดลองพิสัยข้อก่อน-หลังการบำบัดมีแนวโน้มต่างกัน ($p=0.066-0.068$) ทุกข้อที่ประเมินยกเว้นข้อมือ ส่วนแขนควบคุมมีแนวโน้มพิสัยข้อต่างกันระหว่างก่อน-หลังบำบัดเฉพาะข้อศอก ($p=0.066$) พบว่าข้อไหล่ของแขนทดลองของผู้ป่วย 1 ราย มีอาการเจ็บหลังการบำบัด นักกิจกรรมบำบัดเห็นด้วยระดับปานกลางว่าการใช้ระบบหุ่นยนต์นี้แทนนักกิจกรรมบำบัด ไม่มีผู้ป่วยรายใดไม่พอใจกับการใช้ระบบหุ่นยนต์นี้ ผู้ป่วยส่วนใหญ่เชื่อว่าระบบหุ่นยนต์นี้ใช้แทนการบำบัดโดยนักกิจกรรมบำบัดได้ แต่มีเพียง 1 ราย ที่คิดว่าผู้ดูแลจะสามารถใช้เครื่องนี้ได้

สรุป: ระบบหุ่นยนต์ WEFRE rehab system สามารถทดแทนการบำบัดโดยนักกิจกรรมบำบัดได้ในการคงหรือเพิ่มพิสัยการเคลื่อนไหวข้อศอก ข้อมือ และแขนท่อนปลายของผู้ป่วยอัมพาตแขนขาสองข้างได้อย่างปลอดภัย นักกิจกรรมบำบัดและผู้ป่วยพอใจกับการใช้ระบบหุ่นยนต์นี้ในระดับปานกลาง ควรมีการพัฒนาปรับปรุงระบบหุ่นยนต์นี้เพื่อให้ง่ายขึ้นและทนทานต่อการใช้งาน

คำสำคัญ: ระบบหุ่นยนต์, การฟื้นฟูสภาพ, พิสัยการเคลื่อนไหว, แขน, อัมพาตแขนขาสองข้าง

เวชศาสตร์ฟื้นฟูสาร 2560; 27(1): 11-17.

บทนำ

จากฐานข้อมูลผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง ณ โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ ร้อยละ 60 ของผู้ป่วยมีอัมพาตหรืออัมพฤกษ์แขนขาสองข้างจากไขสันหลังส่วนคอได้รับบาดเจ็บบางส่วนหรือทั้งหมด⁽¹⁾ ส่งผลให้ความยากลำบากในการใช้มือและแขนและในการทำกิจวัตรประจำวัน (activities of daily living, ADLs) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูแลตนเอง (self-care) เช่น การกิน, การดื่ม, การแต่งตัว, การทำความสะอาดร่างกาย เป็นต้น กล้ามเนื้อแขนและมือที่เป็นอัมพาตมักส่งผลให้ข้อศอก, แขนท่อนปลาย และข้อมือ ติดยึด เป็นอุปสรรคและขัดขวางเป้าหมายของกระบวนการฟื้นฟูสภาพที่ผ่านมา กระบวนการฟื้นฟูสภาพการใช้มือและแขนอิงการบำบัดที่มีเป้าหมายเบื้องต้นคือ การเพิ่มกำลังและความทนทานให้กล้ามเนื้อและแขน, การคงหรือเพิ่มการเคลื่อนไหวข้อให้เป็นปกติ, การควบคุม/ลดภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็งมือและแขน โดยวิธีการทางกายภาพบำบัดและกิจกรรมบำบัด เช่น กายบริหารโดยผู้อื่น

กระทำให้หรือโดยตนเอง (passive/active range of motion exercise, PROME/AROME), กายบริหารเพื่อยืด/คลายกล้ามเนื้อ (stretching exercise), การใช้อุปกรณ์พยุงมือ (hand splint) เพื่อป้องกันข้อยึดติดผิดปกติ, การฝึกใช้มือและแขนหยิบจับของ และทำกิจวัตรประจำวัน เช่น การกิน, การดื่ม เป็นต้น ทั้งนี้ International Spinal Cord Society (ISCOS) ได้แบ่งการใช้มือและแขนออกเป็น 5 ระดับ ขึ้นกับกำลังกล้ามเนื้อแขนและมือที่ใช้การได้ว่ามีมากน้อยเพียงใด โดย ระดับ 1 (no hand function) ใช้มือทำงานไม่ได้เลย, ระดับ 2 (passive tenodesis hand) ใช้มือหยิบจับได้โดยอาศัยการช่วยกระดกข้อมือขึ้นทำให้เกิดการดึงรั้งเอ็นกล้ามเนื้อ นิ้วมือจึงจะเข้าหากัน, ระดับ 3 (active tenodesis hand) สามารถกระดกข้อมือขึ้นได้เองทำให้นิ้วมือเข้าหากัน, ระดับ 4 สามารถใช้มือทำงานหยิบจับได้โดยกล้ามเนื้อที่อยู่นอกมือ (active extrinsic tenodesis hand) และ ระดับ 5 (active extrinsic-intrinsic hand) สามารถใช้มือหยิบจับของได้โดยใช้กล้ามเนื้อทั้งนอกและในมือ⁽²⁾

ปัจจุบัน เชื่อว่าประสาทส่วนกลางฟื้นตัวได้หากมีการเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ และเจาะจง ทำให้เกิด neuroplasticity⁽³⁾ แต่อุปสรรคคือ ไม่สามารถให้การบำบัดซ้ำ ๆ อย่างต่อเนื่องเพราะการขาดแคลนบุคลากรที่ทำการบำบัดให้กับผู้ป่วย ดังนั้น ในต่างประเทศจึงมีการพัฒนาระบบหุ่นยนต์เพื่อทำหน้าที่ทดแทนและให้การบำบัดแก่ผู้ป่วยได้มากพอเพียง อีกทั้งความเจริญก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีสื่อสารจึงมีการพัฒนาการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์ที่ผู้ป่วยใช้ที่บ้านกับที่โรงพยาบาล ทำให้ผู้ป่วยเห็นความคืบหน้าและสั่งหรือเปลี่ยนแปลงคำสั่งการบำบัดให้เหมาะสมได้

ที่ผ่านมามีรายงานจากต่างประเทศเกี่ยวกับการใช้ระบบหุ่นยนต์กับผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง เช่น เพื่อประเมินพิสัยข้อไหล่, ข้อศอกและข้อมือว่ามีความน่าเชื่อถือและใกล้เคียงกับการประเมินโดยผู้บำบัด⁽⁴⁾ และมีรายงานการทดลองใช้ระบบหุ่นยนต์ เพื่อช่วยพยุงแขนและทำให้การใช้มือและแขนของผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังสะดวกขึ้น⁽⁵⁾ แต่ราคาของระบบหุ่นยนต์ดังกล่าวมีราคาแพง จึงทำให้นักประดิษฐ์ที่มีองค์ความรู้ในประเทศไทย ให้ความสนใจในการประดิษฐ์หุ่นยนต์เพื่อทดแทนผู้บำบัดและมีราคาถูกกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศ ตัวอย่างเช่น สิ่งประดิษฐ์ของ วินัย ขนปรมัตต์ และคณะ ที่พัฒนาระบบหุ่นยนต์ช่วยการเคลื่อนไหวแขนและมือที่เรียกว่า WEFRE Rehab System และได้มีการทดสอบเบื้องต้นกับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง 3 ราย วันละ 15 นาทีเป็นเวลา 5 วัน พบว่ามีความปลอดภัย คณะผู้ประดิษฐ์จึงมุ่งพัฒนาระบบหุ่นยนต์นี้ไปสู่การเป็นต้นแบบเชิงพาณิชย์และการใช้งานจริง⁽⁶⁾ ดังนั้นจำเป็นต้องทำวิจัยกับผู้ป่วยจริงที่คาดว่าจะได้ประโยชน์จากการใช้ระบบหุ่นยนต์นี้เพื่อประเมินประสิทธิผลจากการใช้ระบบหุ่นยนต์ช่วยการเคลื่อนไหวแขนและมืออื่น อีกทั้งเพื่อป้องกันข้อมูลสะท้อนกลับให้แก่ผู้ประดิษฐ์ระบบหุ่นยนต์นี้ ในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้วิจัยเลือกผู้ป่วยอัมพาตแขนขาสองข้าง (tetraplegia) จากบาดเจ็บหรือเป็นโรคไขสันหลังส่วนคอ (spinal cord injury/disease) ที่กล้ามเนื้อแขนและมือเป็นอัมพาตหรืออ่อนแรง ส่งผลให้การเคลื่อนไหวแขนจำกัดที่ขัดขวางการใช้มือในกิจวัตรประจำวัน

วิธีการศึกษา

กลุ่มประชากร ได้แก่ ผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังส่วนคอ และมีอัมพาตแขนขาสองข้าง (tetraplegia) ที่เข้ารับการบำบัดและฟื้นฟูสภาพ ณ โรงพยาบาลมหาสารคามศรีเชียงใหม่ และยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือก ได้แก่ อายุมากกว่า 18 ปี, สามารถสื่อสารเข้าใจ ทำตามสั่งได้, ข้อศอก ข้อมือ และการคว่ำ-หงายแขนท่อนปลาย มีพิสัยมากกว่าร้อยละ 50 ของค่าปกติ และสามารถอยู่ในท่านั่งหรือกึ่งนั่งได้นาน ครั้งละไม่น้อยกว่า 30 นาที

เกณฑ์การคัดออก ได้แก่ มีภาวะกล้ามเนื้อเกร็งมากและไม่สามารถขยับข้อได้ (Modified Ashworth Scale = 4), นิ้วมือหรือมือขาดนิ้ว, ข้อศอก/ข้อมือติดยึด, เคยได้รับการผ่าตัดบริเวณแขนมาก่อน, เคยได้รับการฉีดยาลดเกร็งที่แขน, แขนข้างใดข้างหนึ่งเคยได้รับบาดเจ็บรุนแรงมาก่อน, รอยโรคไขสันหลังเป็นชนิดครึ่งซีก (hemi-cord lesion) หรืออยู่ร่วมกับโครงการวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับแขนและมือ

เกณฑ์การยุติการเข้าร่วมโครงการวิจัย ได้แก่ ผู้ป่วยได้รับบาดเจ็บหรือมีภาวะแทรกซ้อนจากการเข้าร่วมวิจัย เช่น ข้ออักเสบ, กระดูกส่วนแขนหัก, ต้องการถอนตัวออกจากโครงการวิจัย หรือได้รับการบำบัดน้อยกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนที่ระบุไว้ในโครงการ

หมายเหตุ เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษานำร่อง จึงตั้งเป้าหมายผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 20 ราย โดยเป็นกลุ่มผู้ป่วยระยะหลังเฉียบพลัน และระยะเรื้อรัง กลุ่มละ 10 ราย

ขั้นตอนการวิจัย

1. ผู้วิจัยให้ข้อมูลโครงการวิจัยอย่างละเอียดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์, เครื่องมือ, ขั้นตอนการวิจัยและการประเมินผล, ข้อดีและข้อเสีย ให้แก่ผู้ป่วย และเปิดโอกาสให้ซักถามเพื่อพิจารณาและให้การยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย โดยการประทับลายนิ้วมือนิ้วชี้มือขวา

2. หลังจากยินยอมเข้าร่วมโครงการ ผู้วิจัยตรวจสอบสมบัติของผู้ป่วยว่าเข้าเกณฑ์การคัดเลือก-คัดออก

3. นักกิจกรรมบำบัด สุ่มแขนของผู้ป่วยว่าแขนข้างใดเป็นแขนควบคุม และข้างใดเป็นแขนทดลอง ทั้งนี้ ระหว่างการวิจัยแพทย์ผู้ร่วมวิจัยถูกปิดกั้นไม่ให้รู้ว่าแขนข้างใดเป็นแขนทดลองและข้างใดเป็นแขนควบคุม

4. แพทย์ผู้ร่วมวิจัย ซักประวัติทั่วไป, ความเจ็บป่วย, ระดับและความรุนแรงการเป็นอัมพาต และแขนข้างใด

จากนั้นก่อนการวิจัย ประเมิน

o พิสัยการเคลื่อนไหวข้อ (range of motion, ROM) ได้แก่ ข้อศอก, แขนท่อนปลาย, ข้อมือ, ข้อโคนนิ้วชี้ และนิ้วกลาง

o ระดับกำลังกล้ามเนื้อแขนและประสาทรับความรู้สึก ตามมาตรฐานสากล ASIA/iscos และบันทึกในแบบฟอร์ม International Spinal Cord Injury Core Data set

o ความตึงตัวกล้ามเนื้อแขน

o ระดับการใช้มือและแขน อิง International Spinal Cord Injury Upper Extremity Data Set

5. นักกิจกรรมบำบัด ให้การบำบัดแขนและมือ และบันทึกการบำบัดที่ให้แก่ผู้ป่วย ดังนี้

แขนควบคุม: ได้รับการบำบัดแบบดั้งเดิม วันละ 2 ครั้ง ๆ ละ 30 นาที ทั้งนี้ การบำบัดแบบดั้งเดิมประกอบด้วยการใช้มือและแขน (hand and arm use) ได้แก่ การเอื้อมมือไปข้างหน้า (reach out), การหยิบ-กำมือ (grasp), การถือของ (carry) และการปล่อยของออกจากมือ (release) โดยใช้กิจกรรมเช่น skate board, solitary pegboard, ball throw, climbing board and bar, arm cycling เป็นต้น และการฝึกใช้มือทำงานอย่างละเอียด (fine hand use) โดยใช้กิจกรรมเช่น putty, small size pegboard, flipping cards เป็นต้น

แขนทดลอง: ได้รับการบำบัดแบบดั้งเดิม วันละ 1 ครั้ง ๆ ละ 30 นาที และด้วยหุ่นยนต์ช่วยการเคลื่อนไหวแขน ตามกำลังกล้ามเนื้อแขน วันละ 1 ครั้ง ๆ ละ 30 นาทีโดยกำลังกล้ามเนื้อระดับ 0-1 ใช้รูปแบบ passive ROM, กำลังกล้ามเนื้อระดับ 2 ใช้รูปแบบ initial assist ROM, กำลังกล้ามเนื้อระดับ 3 ใช้รูปแบบ active ROM, กำลังกล้ามเนื้อ ระดับ 4-5 ใช้รูปแบบ resistive ROM และหากกล้ามเนื้อหดเกร็ง ใช้รูปแบบ stretching ROM ทั้งนี้ ผู้ป่วยทั้งสองกลุ่ม จะได้รับการบำบัดสัปดาห์ละอย่างน้อย 3 วัน รวม 10 วัน

ทั้งนี้ ก่อนและหลังการบำบัด นักกิจกรรมบำบัดสอบถาม, สังเกต และบันทึกภาวะแทรกซ้อน ได้แก่ อาการเจ็บปวด, รอยกดทับที่ผิวหนัง, อาการข้ออักเสบ หากพบความผิดปกติ ๆ รายงานแพทย์ผู้วิจัย

6. ขณะเข้าร่วมโครงการวิจัย แพทย์ผู้ร่วมวิจัยบันทึกกายภาพบำบัดที่ผู้ป่วยได้รับเพื่อบรรเทาภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น ได้แก่ ยาแก้ปวด, ยาแก้อักเสบ ทั้งชนิดรับประทานและชนิดทา, การประคบเย็น-ร้อน, การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเพื่อลดปวด เป็นต้น

7. เมื่อการบำบัดครบ 10 ครั้ง นักกิจกรรมบำบัด ให้ความเห็นเกี่ยวกับการใช้ระบบหุ่นยนต์ และรายงานแพทย์ผู้วิจัยเพื่อประเมินผู้ป่วยซ้ำ ตามข้อ 3 และสอบถามความเห็นของผู้ป่วยต่อการบำบัดด้วยระบบหุ่นยนต์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

Wrist Elbow Forearm Robotic Economical (WEFRE) Rehab System ที่เป็นระบบหุ่นยนต์ช่วยการเคลื่อนไหวข้อมือ, แขนท่อนปลาย และข้อศอก ได้แก่ การกระดกข้อมือขึ้น-ลง, การพลิกแขนท่อนปลายหงาย-คว่ำ และการงอ-เหยียดข้อศอก ทั้งนี้ ระบบหุ่นยนต์นี้ประกอบด้วยตัวขับเคลื่อนหลัก, ชุดรองรับมือหรือชุดรองรับแขน และปั๊มหยุดฉุกเฉิน (ดูรูปที่ 1) โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวทำงานหลักให้เกิดการเคลื่อนไหว และระบบหุ่นยนต์ถูกต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยใช้สาย USB เพื่อป้อนคำสั่งให้เครื่องทำงาน และป้อนข้อมูลสะท้อนกลับให้แก่ผู้ป่วยขณะฝึก และมีฐานข้อมูลสำหรับบันทึกข้อกำหนดการบำบัดและผลการฟื้นฟูสภาพของผู้ป่วยเพื่อใช้วิเคราะห์โดยแพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟูและ/หรือนักกิจกรรมบำบัดผู้ให้การบำบัด ระบบหุ่นยนต์มีข้อมูลเชิงเทคนิค (robot specification) (ดูรูปที่ 2) เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวข้อมือแขน, ท่อนปลาย และข้อศอก ทั้งแขนด้านซ้ายและขวา โดยช่วงองศา/พิสัยการเคลื่อนไหว (range of motion,

ROM) มีดังนี้ ข้อมืองอ (flexion) 80 องศา และเหยียด (extension) 90 องศา, แขนท่อนปลายพลิกคว่ำ (pronation) 90 องศา และหงาย (supination) 90 องศา และข้อศอกงอ (flexion) 0–135 องศา ส่วนความเร็วในการเคลื่อนไหวปรับได้ 5 ระดับ ได้แก่ ช้ามาก, ช้า, ปานกลางเร็วและเร็วมาก ระยะเวลาสำหรับการบำบัดเลือกได้ 10 ชั้น ได้แก่ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 นาที และรูปแบบการเคลื่อนไหวมี 5 รูปแบบ ดังกล่าวแล้วข้างต้น ทั้งนี้ ผู้ใช้หรือผู้บำบัดสามารถกำหนดและเลือกรูปแบบการใช้งานตามความเหมาะสมอิงกำลังกล้ามเนื้อของผู้ป่วยแต่ละราย (customized) และมีเกมคอมพิวเตอร์ที่หลากหลายสำหรับกระตุ้นหรือทำให้ผู้ใช้เคลื่อนไหวให้ได้ตามเป้าหมาย

ส่วนระบบความปลอดภัยนั้น ระบบหุ่นยนต์จะหยุดการทำงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตราย โดยการหยุดมี 4 รูปแบบคือ การหยุดการทำงานชั่วคราว เป็นการหยุดที่ผู้ใช้สามารถใช้งานหุ่นยนต์ต่อเนื่องได้ทันทีโดยไม่ต้องเริ่มนับระยะเวลาของการบำบัดใหม่ ด้วยคำสั่ง pause และเริ่มต่อเนื่องได้ด้วยคำสั่ง resume, การหยุดเพื่อให้เริ่มการบำบัดทำเดิมนอีกครั้ง เป็นการหยุดด้วยคำสั่ง pause แล้วต่อด้วยคำสั่ง back ด้วยผู้ป่วยหรือผู้ดูแลเนื่องจากต้องการเริ่มการบำบัดทำปัจจุบันใหม่ เป็นต้น การหยุดเพื่อกลับเข้าสู่หน้าจอหลักเป็นการหยุดแล้วผู้ป่วยสามารถใช้งานหุ่นยนต์ใหม่ได้หลังจากระบบหุ่นยนต์กลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น และโปรแกรมกลับเข้าสู่หน้าจอหลักด้วยคำสั่ง pause แล้วต่อด้วยคำสั่ง menu ด้วยผู้ป่วยหรือผู้ดูแล และการหยุดระบบทั้งหมดแบบทันทีทันใดโดยผู้ใช้สามารถหยุดระบบด้วยการกดปุ่มหยุดฉุกเฉิน (emergency stop) ได้ทุกเมื่อที่ต้องการ

ด้านความปลอดภัยที่เกี่ยวกับการใช้งานด้านไฟฟ้า มีการติดตั้งฟิวส์เพื่อตัดการทำงานของระบบหุ่นยนต์หากมีการดึงกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟมากเกินไป และแม้ว่าระบบหุ่นยนต์ถูกจัดเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท 3 เนื่องจากใช้แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 50 โวลต์ หรือ 120 V.d.c. ผ่านทางหม้อแปลงไฟฟ้าที่มากับตัวเครื่อง (power adapter) ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนี้ไม่ต้องมีสายดิน อย่างไรก็ตามเพื่อความมั่นใจให้กับผู้ใช้ในอันตรายที่อาจเกิดจากไฟรั่วได้ ระบบหุ่นยนต์จึงประกอบด้วย power adapter แบบ medical grade ที่สายไฟฟ้ามีเต้าเสียบแบบ 3 ขั้ว ที่มีขั้วสายดินรวมอยู่ด้วย รวมทั้งได้ออกแบบให้ตัวเครื่องทำจากพลาสติกเป็นหลัก และสำหรับส่วนที่ต้องสัมผัสกับผู้ใช้โดยตรงนั้น มีการหุ้มด้วยวัสดุฉนวนที่ใช้ในอุปกรณ์การแพทย์ทั่วไปเพิ่มอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วและรวมทั้งเพื่อให้ผู้ใช้เกิดความรู้สึกสบายขณะใช้งานด้วย



Figure 1. Robot WEFRE rehab system consists of the robot part (on the left), a laptop for setting the programs by therapist and the emergency stop control (red button in front of the laptop)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับผู้ป่วยที่เข้าร่วมงานวิจัย และใช้สถิติเชิงอนุมาน ชนิด *Mann-Whitney U test* เพื่อพิสูจน์สมมติฐาน 1 หลังการบำบัดครบ พิสัยข้อศอกเดิมหรือเพิ่มขึ้น ไม่แตกต่างกันระหว่างแขนทดลองและแขนควบคุม และ สมมติฐาน 2 หลังการบำบัดครบ การเกิดภาวะไม่พึงประสงค์ไม่แตกต่างกันระหว่างแขนทดลองและแขนควบคุม และใช้สถิติเชิงอนุมาน ชนิด *Wilcoxon Signed-Rank test* เพื่อพิสูจน์ สมมติฐาน 3 พิสัยข้อศอกก่อนและหลังการบำบัดของแขนทดลองไม่แตกต่างกัน และ สมมติฐาน 4 พิสัยข้อศอกและหลังการบำบัดของแขนควบคุมไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS version 16.0 โดยค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติถูกกำหนดเมื่อ $p\text{-value} < 0.05$

ผลการศึกษา

มีผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทั้งสิ้น 8 ราย แต่ได้รับการบำบัดครบตามเป้าหมายเพียง 6 ราย ต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้คือ 20 ราย เนื่องจากระหว่างการศึกษาขึ้นส่วนรองรับแขนชำรุด และแกนขับเคลื่อนของระบบหุ่นยนต์หัก คณะผู้วิจัยจึงตัดสินใจยุติการทดลอง และรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ป่วย 6 ราย เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงและพัฒนาาระบบหุ่นยนต์นี้ต่อไป

ข้อมูลส่วนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัย 6 ราย เป็นเพศชาย 4 ราย เพศหญิง 2 ราย, ค่ามัธยฐานอายุเท่ากับ 50.5 ปี (ต่ำสุด 22, สูงสุด 61 ปี), 5 ราย เป็นผู้ป่วยในระยะหลังเฉียบพลัน โดยมีค่ามัธยฐานระยะเวลา



Figure 2. Supporting parts attached to the robot for movements of the elbow flexion-extension (left), for the wrist flexion-extension (middle) and the forearm pronation-supination (right)

เป็นอัมพาตเท่ากับ 82 วัน (ต่ำสุด 52, สูงสุด 931 ปี), เป็นอัมพาตไขสันหลังส่วนคอระดับที่ 4 (C4) 4 ราย และรอยโรคมีความรุนแรงแบ่งตาม ASIA เป็นระดับ A 2 ราย, ระดับ C 3 ราย และระดับ D 1 ราย ดังแสดงในตารางที่ 1

เมื่อการทดลองสิ้นสุดและเปรียบเทียบพิสัยข้อระหว่างแขนทดลองและแขนควบคุมพบว่า พิสัยข้อศอกคงเดิมหรือเพิ่มขึ้นทุกข้างทั้งแขนทดลองและแขนควบคุม (ดูตารางที่ 2) ในขณะที่แขนทดลองมีพิสัยข้อศอกลดลง 1 ข้าง และแขนควบคุมมีพิสัยข้อศอกลดลง 2 ข้าง (ดูตารางที่ 2) ในทำนองเดียวกันแขนท่อนปลายมีพิสัยคว่ำ-หงายลดลง 1 ข้างของแขนทดลองและแขนควบคุม (ดูตารางที่ 3) ส่วนข้อโคนนิ้วของแขนทดลอง 1 ข้าง ที่มีพิสัยลดลง ส่วนแขนควบคุมมีพิสัยคงเดิมหรือเพิ่มขึ้น (ดูตารางที่ 4) แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ แขนทดลองและแขนควบคุมมีพิสัยข้อศอก, ข้อมือ (ดูตารางที่ 2), แขนท่อนปลาย (ดูตารางที่ 3), ข้อโคนนิ้วชี้ และนิ้วกลาง (ดูตารางที่ 4) ไม่ต่างกันระหว่างแขนทดลองและแขนควบคุม ก่อน, หลังการบำบัดสิ้นสุด และผลต่างพิสัยข้อระหว่าง ก่อนและหลังการบำบัด แขนทดลองและแขนควบคุมมีพิสัยข้อไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนกำลังกล้ามเนื้อแขนที่ถูกประเมินนั้น ได้แก่ กล้ามเนื้องอและเหยียดข้อศอก, กล้ามเนื้อกระดกข้อและงอมือขึ้น, กล้ามเนื้องอและเหยียดข้อโคนนิ้วชี้และนิ้วกลาง และกล้ามเนื้อหงาย-คว่ำแขนท่อนปลาย พบว่ากล้ามเนื้อบางมัดของแขนทดลองและแขนควบคุมของผู้ป่วยทุก

รายเพิ่มขึ้น ยกเว้นผู้ป่วยคนที่ 3 ที่กำลังกล้ามเนื้อแขนคงเดิมทุกมัด ส่วนความตึงตัวของกล้ามเนื้อแขนก่อนและหลังการบำบัดทั้งแขนทดลองและแขนควบคุมมีความตึงตัวอยู่ในระดับ 0-1 อิงตาม Modified Ashworth scale

จากรายงานภาวะไม่พึงประสงค์ พบว่าผู้ป่วยรายหนึ่ง (รายที่ 5) เจ็บที่ไหล่หลังจากบำบัดด้วยระบบหุ่นยนต์และใช้ระบบ active ROM และได้รับการบำบัดด้วยยาทาและอัลตราซาวด์ เป็นที่น่าสังเกตว่า ก่อนบำบัดผู้ป่วยไม่มีอาการเจ็บ แต่อาการเจ็บเกิดขึ้นหลังการบำบัดเกือบทุกวัน (7 วัน จาก 10 วัน) โดยผู้ป่วยระบุว่าขณะบำบัดด้วยระบบหุ่นยนต์ ผู้ป่วยต้องออกแรงมากจึงกระตุ้นให้เกิดภาวะกล้ามเนื้อแขนเกร็งมากขึ้น ส่วนผู้ป่วยอีกรายหนึ่งมีภาวะความดันเลือดตกขณะบำบัดด้วยระบบหุ่นยนต์

เมื่อนักกิจกรรมบำบัดประเมินการใช้ระบบหุ่นยนต์ช่วยการเคลื่อนไหวแขนพบว่า ความง่ายในการใช้งานอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 5.5 จากคะแนนเต็ม 10) เช่นเดียวกับความพึงพอใจกับระบบหุ่นยนต์ (ค่าเฉลี่ย 6 จากคะแนนเต็ม 10) และการใช้ระบบหุ่นยนต์เพื่อทดแทนการบำบัดแบบดั้งเดิม (ค่าเฉลี่ย 6.3 จากคะแนนเต็ม 10)

เมื่อสอบถามผู้ป่วยอัมพาตไขสันหลังก่อนเริ่มการบำบัด พบว่า 4 ราย เชื่อมั่นว่าระบบหุ่นยนต์ช่วยการเคลื่อนไหวแขนได้ (ค่าเฉลี่ย 7.3 จากคะแนนเต็ม 10) และภายหลังจากการบำบัดสิ้นสุดลง ระดับความเชื่อมั่นยังเหมือนเดิม (ค่าเฉลี่ย 7.2 จากคะแนนเต็ม 10) 5 ราย มีความ

Table 1. Demographic data of all participants

Study no.	Age (years)	Duration from onset (days)	Sex	Etiology of injury	AIS	NLI	ISCI-UE data set
1	59	54	M	Transport	C	C5	3, active tenodesis hand
2	61	131	F	Fall	A	C4	3, active tenodesis hand
3	44	931	M	Transport	C	C4	2, passive tenodesis hand
4	19	83	M	Transport	A	C5	3, active tenodesis hand
5	22	52	F	Transport	C	C4	5, active extrinsic-intrinsic hand
6	57	81	M	Fall	D	C4	3, active tenodesis hand

AIS, American Spinal Injuries Association impairment scale; NLI, neurological level of injury; ISCI-UE data set, International Spinal Cord Injury – upper extremity data set

Table 2. Range of motions (ROM) of elbow and wrist joints pre-, post- and pre-post difference of upper extremity rehab therapy

Study no.	Elbow joint ROM						Wrist joint ROM					
	Study arm			Control arm			Study arm			Control arm		
	Pre	Post	Pre-post	Pre	Post	Pre-post	Pre	Post	Pre-post	Pre	Post	Pre-post
1	150	160	10	160	165	5	135	130	-5	150	140	-10
2	150	150	0	140	150	10	115	130	15	125	130	5
3	125	140	15	140	140	0	120	150	30	120	120	0
4	145	145	0	155	155	0	165	180	15	130	135	5
5	130	135	5	145	150	5	170	180	10	170	170	0
6	110	150	40	130	140	10	130	135	5	140	125	-15

Pre-therapy between the study and the control arms: the elbow, $p=0.687$; the wrist, $p=0.809$, Mann-Whitney U test

Post-therapy between the study and the control arms: the elbow, $p=0.681$; the wrist, $p=0.746$, Mann-Whitney U test

Pre-post difference between the study and the control arms, the elbow $p=0.849$; the wrist, $p=0.713$, Mann-Whitney U test

Pre-post difference in the study arms: the elbow, $p=0.066$; of the wrist, $p=0.461$, Wilcoxon Signed-Rank test

Pre-post difference in the control arms, the elbow, $p=0.066$; the wrist, $p=0.257$, Wilcoxon Signed-Rank test

Table 3. Forearm range of motions (ROM) (pronation –supination) pre-, post- and pre-post ROM difference of upper extremity rehab therapy

Study no.	Forearm ROM					
	Study arm			Control arm		
	Pre	Post	Pre-Post	Pre	Post	Pre-Post
1	170	170	0	150	175	25
2	160	165	5	140	165	25
3	200	200	0	180	190	10
4	155	170	15	160	190	30
5	170	170	0	180	170	-10
6	180	165	-15	160	180	20

Pre-therapy between the study and the control arms, $p=0.684$, Mann-Whitney U test

Post-therapy between the study and the control arms, $p=0.118$, Mann-Whitney U test

Pre-post difference between the study and the control arms, $p=0.518$, Mann-Whitney U test

Pre-post difference in the study arms, $p=0.066$, Wilcoxon Signed-Rank test

Pre-post difference in the control arms, $p=0.496$, Wilcoxon Signed-Rank test

เห็นก้ำกึ่งก่อนไปทางอยากมีระบบหุ่นยนต์นี้ใช้ที่บ้าน (ค่าเฉลี่ย 6 จากคะแนนเต็ม 10) แต่รู้สึกว่าการใช้ระบบหุ่นยนต์ที่บ้านโดยผู้ดูแลค่อนข้างยาก (ค่าเฉลี่ย 4.6) ส่วนระดับความพึงพอใจไม่พึงพอใจ อยู่ในช่วงพึงพอใจ (ค่าเฉลี่ย 7.3 จากคะแนนเต็ม 10)

บทวิจารณ์

ผลจากการศึกษานำร่องนี้แสดงให้เห็นว่า หลังการบำบัดฟื้นฟูสภาพแขน 10 วัน แขนทศลงที่ใช้ระบบหุ่นยนต์ร่วมกับการบำบัดแบบดั้งเดิมโดยนักกิจกรรมบำบัดสามารถคงหรือเพิ่มพิสัยข้อศอก, ข้อมือ, ข้อโคนนิ้วมือ และแขนท่อนปลายได้ ไม่ต่างจากพิสัยข้อของแขนควบคุมที่ได้รับการบำบัดแบบดั้งเดิมอย่างเดียว แต่มีข้อสังเกตว่าหลังการบำบัดพิสัยข้อของแขนทศลงมีแนวโน้มต่างจากพิสัยก่อนการบำบัดโดยเฉพาะพิสัยข้อศอก, พิสัยการคว่ำ-หงายแขนท่อนปลาย และพิสัยข้อโคนนิ้วชี้และนิ้วกลาง ($p=0.066$) ส่วนแขนควบคุมนั้น มีแนวโน้มว่าต่างเฉพาะ

พิสัยข้อศอก ข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้พอเป็นหลักฐานเบื้องต้นที่ยืนยันว่าระบบหุ่นยนต์ WEFRE สามารถใช้ทดแทนการบำบัดด้วยนักกิจกรรมบำบัดได้ โดยช่วยเฉพาะการเคลื่อนไหวข้อศอก, ข้อมือ และแขนท่อนปลาย

แม้ว่าความแตกต่างของพิสัยก่อน-หลังการบำบัด ระหว่างแขนทศลงและแขนควบคุมจะไม่ต่างกันอย่างไร้ความสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อวิเคราะห์เฉพาะพิสัยข้อของแขนทศลง หลังการบำบัด 10 วัน มีแนวโน้มว่าพิสัยข้อแตกต่างจากก่อนการบำบัดทุกข้อยกเว้นข้อมือ ในขณะที่แขนควบคุมมีแนวโน้มต่างกันเฉพาะที่ข้อศอก เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อพิจารณาข้อมูลพิสัยข้อ แนวโน้มที่ต่างนี้เป็นความต่างในทิศทางที่ดีคือพิสัยข้อเพิ่มขึ้น ดังนั้น หากในอนาคตมีการรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมโดยเพิ่มจำนวนผู้ป่วย น่าจะช่วยพิสูจน์ความแตกต่างนี้ได้

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งจากการศึกษาครั้งนี้คือ พิสัยข้อโคนนิ้วมือซึ่งมีได้ถูกเคลื่อนไหวโดยตรงด้วยระบบหุ่นยนต์ แต่ปรากฏว่าพิสัยข้อโคนนิ้วมือของนิ้วชี้และนิ้วกลางไม่แตกต่างกันระหว่างแขนทศลงและแขนควบคุม ทั้งนี้ คงเนื่องมาจากการกระดกข้อมือขึ้นช่วยกระตุ้นให้เกิดการดึงรั้งเอ็นกล้ามเนื้อข้อนิ้วมือ (tenodesis action) ทั้งนี้ โดยหลักการแล้ว การกระตุ้นให้เกิดการดึงรั้งดังกล่าวมีผลเปลี่ยนแปลงพิสัยข้อนิ้วมือของนิ้วชี้, นิ้วกลาง, นิ้วนาง และนิ้วก้อย โดยมีผลเปลี่ยนแปลงพิสัยข้อนิ้วหัวแม่มือเล็กน้อย เนื่องจากระนาบการเคลื่อนไหวของข้อศอกและข้อมือเป็นระนาบการเคลื่อนไหวของนิ้วมือทั้งสิ้น แต่เป็นคนละระนาบการเคลื่อนไหวกับนิ้วหัวแม่มือ ด้วยเหตุนี้ การวิจัยนี้จึงศึกษาเพียงการเปลี่ยนแปลงของพิสัยข้อโคนนิ้วของนิ้วทั้งสิ้น โดยมีได้เก็บข้อมูลพิสัยข้อของนิ้วหัวแม่มือ

อีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจคือผลลัพธ์ด้านกำลังกล้ามเนื้อที่แม่มีใช้ตัวชี้วัดหลักของการศึกษาครั้งนี้ แต่ปรากฏว่า เมื่อได้รับการบำบัดฟื้นฟูสภาพแขน 10 วัน ด้วยวิธีดั้งเดิมหรือด้วยระบบหุ่นยนต์ ผู้ป่วยเกือบทุกคนมีกำลังกล้ามเนื้อบริเวณแขนเพิ่มขึ้นอย่างน้อยสองมัดยกเว้นผู้ป่วยรายที่ 3 ซึ่งเป็นผู้ป่วยระยะเรื้อรังที่ไม่มีกำลังกล้ามเนื้อมัดใดเปลี่ยนแปลง คาดว่าการฟื้นตัวนี้เป็นผลจากการเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ ที่ส่งผลต่อ neuroplasticity ซึ่งที่ผ่านมามีหลักฐานสนับสนุน เมื่อพิสัยข้อ

Table 4. Metacarpophalangeal (MCP) joint of index and middle fingers range of motions (ROM) pre-, post- and pre-post difference of upper extremity rehab therapy

Study no.	MCP – index finger						MCP – middle finger ROM					
	Study arm			Control arms			Study arm			Control arms		
	Pre	Post	Pre-post	Pre	Post	Pre-post	Pre	Post	Pre-post	Pre	Post	Pre-post
1	125	120	-5	110	120	10	145	130	-15	130	130	0
2	75	83	8	75	105	30	80	90	10	80	100	20
3	95	95	0	90	120	30	90	95	5	130	140	10
4	110	125	15	120	145	25	110	140	30	150	150	0
5	140	140	0	150	150	0	150	160	10	165	165	0
6	100	120	20	70	110	40	110	115	5	70	115	45

Pre-therapy between the study and the control arms: the index finger ROM, $p=0.575$; the middle finger, $p=0.572$, Mann-Whitney U test

Post-therapy between the study and the control arms: the index finger, $p=0.463$; the middle finger, $p=0.520$, Mann-Whitney U test

Pre-post difference between the study and the control arm: the index finger, $p=0.853$; the middle finger $p=0.853$, Mann-Whitney U test

Pre-post difference in the study arms, index finger, $p=0.068$; middle finger, $p=0.068$, Wilcoxon Signed-Rank test

Pre-post difference in the control arms, index finger, $p=0.078$; middle finger, $p=0.225$, Wilcoxon Signed-Rank test

ไม่ถูกจำกัดย่อมเพิ่มโอกาสให้กล้ามเนื้อที่พื้นตัวทำงานได้ดีขึ้น อนึ่ง การเคลื่อนไหวข้อด้วยระบบหุ่นยนต์ย่อมทำให้จำนวนครั้งต่อการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นได้มาก เพราะหุ่นยนต์ไม่มีอาการล้าง่ายเหมือนกล้ามเนื้อของผู้บาดเจ็บ

ด้านความปลอดภัย ถือว่าระบบหุ่นยนต์นี้มีความปลอดภัยต่อผู้ป่วยและผู้ใช้งาน แม้ว่าแขนทดลองของผู้ป่วยรายหนึ่งมีอาการเจ็บที่ข้อไหล่ซึ่งไม่ใช่ข้อที่ระบบหุ่นยนต์กระทำโดยตรง ทั้งนี้อาการเจ็บทุเลาลงหลังบำบัดด้วยยาต้านการอักเสบชนิดทาและด้วยอัลตราซาวด์ทุกครั้งก่อนเริ่มการบำบัดในวันต่อไป นักกิจกรรมบำบัดผู้ใช้ระบบหุ่นยนต์ระบุว่าตำแหน่งข้อไหล่ขณะบำบัดไม่น่าจะเป็นปัจจัยที่ทำให้ข้อไหล่เจ็บ แม้ว่าเครื่องมือจะตั้งอยู่บนโต๊ะที่ปรับระดับไม่ได้เพราะได้ปรับที่นั่งให้เหมาะสมกับผู้ป่วยก่อนเริ่มบำบัดทุกครั้ง แต่มีข้อสังเกตว่า การออกแรงต้านกับระบบหุ่นยนต์กระตุ้นให้แขนของผู้ป่วยเกร็งทั้งแขน และการเกร็งนี้น่าจะเป็นเหตุให้เอ็นกล้ามเนื้อข้อไหล่ถูกกดและเจ็บ ส่วนผู้ป่วยอีกรายหนึ่งเกิดภาวะความดันเลือดตกขณะบำบัด ทั้ง ๆ ที่ก่อนการบำบัดได้ตรวจประเมินแล้วไม่ปรากฏภาวะดังกล่าว การเกิดภาวะความดันเลือดตกดังกล่าวน่าจะมาจากสาเหตุอื่น มิใช่เกิดจากการบำบัดด้วยหุ่นยนต์ เช่น การพักผ่อนไม่เพียงพอ, การนั่งนานเกินก่อนรับการบำบัดซึ่งใช้เวลา 30 นาที

เมื่อสอบถามว่าระบบหุ่นยนต์นี้สามารถทดแทนนักกิจกรรมบำบัดได้หรือไม่ นักกิจกรรมบำบัดค่อนข้างเห็นด้วยกับประเด็นนี้ แม้ว่าความพึงพอใจและความเห็นต่อความง่ายในการใช้ระบบหุ่นยนต์อยู่ในระดับกำลัง คือ 6 จาก 10 คะแนน เหตุผลน่าจะเป็นเพราะระหว่างทำการศึกษาขึ้นส่วนและอุปกรณ์ชำรุดเป็นระยะ ๆ และสุดท้ายแกนขับเคลื่อนการเคลื่อนไหวหัก เป็นเหตุให้ต้องยุติการทดลองก่อนกำหนด ซึ่งเป็นข้อดีของการศึกษานำร่องครั้งนี้ ทั้งนี้ ผู้ประดิษฐ์ให้ความเห็นว่าการชำรุดดังกล่าวเกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อที่ยังไม่สมบูรณ์ แต่เป็นประเด็นที่สามารถปรับแก้ไขให้มีความคงทนได้ไม่ยาก ทั้งนี้ จากรายงานของต่างประเทศที่ให้ผู้ใช้งานระบบหุ่นยนต์ที่ปัจจุบันมีผลผลิตจำหน่ายจากต่างประเทศพบว่าระบบหุ่นยนต์ยังต้องการผู้บำบัด คิดเป็นร้อยละ 25 ของเวลาทั้งหมดต่อการบำบัด 1 ชั่วโมง⁽⁷⁾

อนึ่ง รายงานการศึกษานำร่องครั้งนี้เน้นการศึกษาประสิทธิภาพต่อพิสัยข้อเป็นหลัก ไม่ได้เน้นผลต่อการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อและการทำงานของมือและแขน ที่โดยทั่วไปต้องการฝึกนานกว่า 2 สัปดาห์ ซึ่งจากการศึกษาระบบหุ่นยนต์เพื่อฝึกการใช้งานแขนและมือของต่างประเทศนาน 6 สัปดาห์ ๆ ละอย่างน้อย 3-5 ครั้ง ๆ ละ 1 ชั่วโมง ยังไม่เห็นความแตกต่างระหว่างแขนควบคุมและแขนทดลองที่ใช้ระบบหุ่นยนต์อย่างมีนัยสำคัญ แต่มีข้อสังเกตว่า การใช้มีมือนำหนักได้ผลดีกับกลุ่มบาดเจ็บไขสันหลังที่ก่อนฝึกมือบางส่วนยังใช้การได้⁽⁷⁾ ส่วนข้อมูลการเคลื่อนไหวข้อที่ระบบหุ่นยนต์ WEFRE บันทึกไว้เพื่อป้อนเป็นข้อมูลสะท้อนกลับให้แก่ผู้ใช้งานและผู้ประดิษฐ์นั้นอยู่นอกเหนือวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ แต่คณะผู้วิจัยจะได้นำข้อมูลดังกล่าวมารายงานในภายหลังเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบฟื้นฟูสภาพทางไกลต่อไป

ข้อสังเกตประเด็นสุดท้ายคือ งานศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบภายในบุคคลระหว่างแขนสองข้าง ซึ่งสามารถกำจัดตัวกวน (confounding factors) ที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างบุคคลในแต่ละกลุ่มได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดให้แขนข้างทดลองได้รับการบำบัดแบบดั้งเดิมร่วมกับระบบหุ่นยนต์ โดยไม่ใช้ระบบหุ่นยนต์ทั้งหมด เนื่องจากมีเพียงหลักฐานทางคลินิกจากการศึกษาเบื้องต้นของผู้พัฒนาว่ามีความปลอดภัยเมื่อใช้ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง⁽⁶⁾ ดังนั้นการให้แขนข้างทดลองได้รับการบำบัดแบบผสม ไม่ใช่ระบบหุ่นยนต์อย่างเดียว จึงเหมาะสมในแง่จริยธรรมการวิจัยมากกว่า แต่ในอนาคตเมื่อหุ่นยนต์ WEFRE ได้รับการปรับปรุงให้คงทนต่อการใช้งานแล้ว การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณากำหนดให้แขนทดลองได้รับการบำบัดด้วยระบบหุ่นยนต์อย่างเดียว และเปรียบเทียบกับแขนควบคุมที่รับการบำบัดแบบดั้งเดิมเพื่อทดสอบประสิทธิผลของระบบหุ่นยนต์ต่อไป

สรุปจากการศึกษานำร่องระบบหุ่นยนต์ WEFRE ต้นแบบ สามารถใช้เพื่อช่วยคงหรือเพิ่มการเคลื่อนไหวข้อบริเวณแขนของผู้ป่วยอัมพาตแขนขาสองข้างได้ เทียบเท่าการบำบัดด้วยนักกิจกรรมบำบัด แต่ระบบดังกล่าวยังต้องการการพัฒนาต่อเพื่อเพิ่มความคงทนต่อการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณอรุณทัย พรหมจักร นักกิจกรรมบำบัด และคุณสมปรรณนา รัตนมณี ที่ช่วยรวบรวมข้อมูลวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Kovindha A, Kammuang-lue P, Tongprasert S, Komararat N, Mahachai R, Chotiyarnwong C. A preliminary report on post-acute rehabilitation of spinal cord injury patients: a multi-center study in Thailand. Presented at the 15th Asian Spinal Cord Network Conference, 2016 October 26-30, Holiday Inn Hotel, Kemayoran, Jakarta, Indonesia.
2. Biering-Sorensen F, Bryden A, Curt A, Friden J, Harvey LA, Malcahey MJ, et al. International spinal cord injury upper extremity basic Data set. *Spinal Cord*. 2014;52:652-7.
3. Lynskey JV, Belanger A, Jung R. Activity-dependent plasticity in spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*. 2008;45:229-40.
4. Keller U, Scholch S, Albisser U, Rudhe C, Curt A, Riener R, et al. Robot-assisted arm assessments in spinal cord injured patients: a consideration of concept study. *PLoS ONE*. 2015;10(5):e0126948.
5. Vanmulken DA, Spooren AI, Bongers HM, Seelen HA. Robot-assisted task-oriented upper extremity skill training in cervical spinal cord injury: a feasibility study. *Spinal Cord*. 2015;53:547-51.
6. Chonnaparamutt W, Chanthabudsri E, Rungkao W, Sapsri W. WEFRE rehab system, presented at the CREATE '6th Rehabilitation Engineering & Assistive Technology Tampines, Singapore-July 24-26, 2012.
7. Zariffa J, Kapadia N, Kramer JL, Taylor P, Alizadeh-Meghrizi M, Zivanovic V, et al. Feasibility and efficacy of upper limb robotic rehabilitation in a subacute cervical spinal cord injury population. *Spinal Cord*. 2012;50:220-6.