

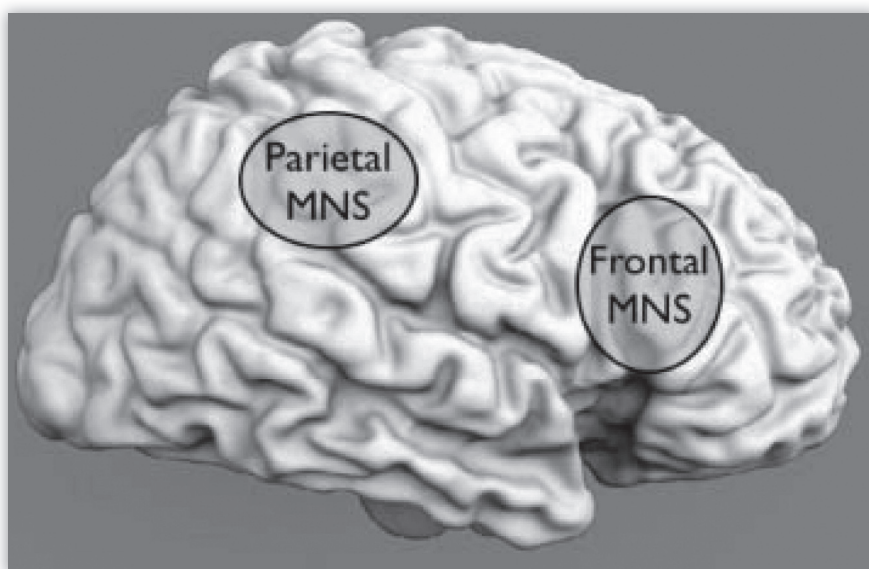
เซลล์กระจกเงากับโรคหลอดเลือดสมอง

ภครตี ชัยวัฒน์*

ปี ค.ศ. ๑๙๙๒ ทีมนักวิจัยของ Dr.Vittorio Gallese ได้ค้นพบเซลล์กระจกเงาในลิงกังในเป็นครั้งแรก จากนั้นมีการศึกษาต่อเนื่องในมนุษย์และได้พบเซลล์กระจกเงา (The Mirror Neuron) อยู่ในสมองมนุษย์บริเวณ posterior inferior frontal และบริเวณ rostral inferior parietal (รูปที่ ๑) โดยมีการทำงานที่ซับซ้อนและเชื่อมโยงกับสมองส่วนอื่นๆ ทำให้ทำหน้าที่คล้ายกับวางแผนในการเคลื่อนไหวในการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เซลล์นี้จะบันทึกพฤติกรรมต่างๆ ของสิ่งที่ได้มองเห็น แล้วนำมากำหนดเป็นพฤติกรรมของตัวเอง โดยประกอบด้วย

๑. การทำงานการเข้าใจท่าทาง (action understanding)
๒. การเลียนแบบโดยผ่านการเรียนรู้ที่ซับซ้อน (imitation learning of novel complex actions)
๓. การจินตนาการในการเคลื่อนไหวท่าทาง (motor imagery)

จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบเหล่านี้จะเป็นต้นเหตุที่ทำให้มนุษย์ที่เกิดมาแล้วมีบุคลิก หรือนิสัยใจคอเหมือนกับคนอื่นๆ ในสังคม ตามแต่ผู้คนและสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัว จะกำหนด^{๒, ๓, ๔}

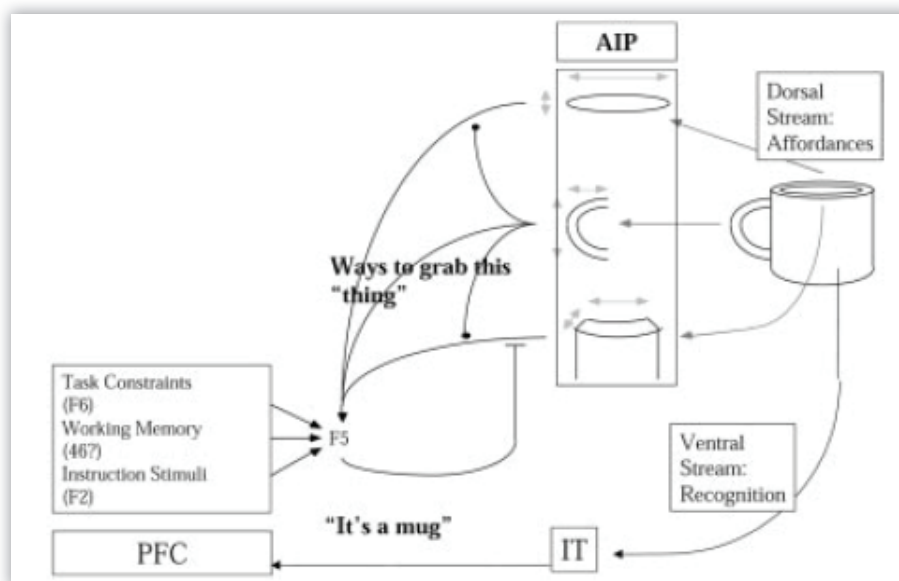


รูปที่ ๑ แสดงเซลล์กระจกเงา (The Minor Neuron) ในมนุษย์
(จาก Iacoboni M, Mazziotta JC; 2007)

* คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล

จากการค้นพบเซลล์กระจกเงา นักวิทยาศาสตร์สนใจทำการวิจัยต่อเนื่อง เพื่อหาคำอธิบายการทำงานของเซลล์กระจกเงา ดังการทำงานร่วมกันของนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Fagg, Arbib, Rizzolatti และ Sakata ได้ทำการอธิบายการทำงานของเซลล์กระจกเงาด้วย FARS model

ซึ่งจะสังเกตได้ว่า FARS เป็นอักษรตัวแรกของนักวิทยาศาสตร์ที่ได้ค้นพบ คือ F มาจาก Fagg , A มาจาก Arbib, R มาจาก Rizzolatti, S มาจาก Sakata แสดงได้ดังรูปที่ ๒



รูปที่ ๒ แสดง FARS model

ATP คือ anterior intraparietal cortex

F5 คือ บริเวณ ventral premotor cortex และส่วนต่างๆที่ทำงานประสานกับ F5 ได้แก่

F6 คือ บริเวณ pre-SMA

46 คือ บริเวณ dorsolateral prefrontal cortex

F2 คือ บริเวณ dorsal premotor cortex

(จาก Arbib และคณะ; ๒๐๐๐)^๕

FARS model

FARS model ได้พัฒนามาจาก model of Dominey and Arbib ในปี ค.ศ. ๑๙๙๒^๖ จากนั้น Arbib และคณะ ในปี ค.ศ. ๑๙๙๕^๗ ได้ทำการศึกษาต่อเนื่องเพื่ออธิบายโดยดูการทำงานที่สัมพันธ์กันของเซลล์กระจกเงากับการเคลื่อนไหวในท่าหยิบจับของลิงกัง คือ

๑. ทำ precision pinches (การหยิบจับของโดยการใช้นิ้วชี้และปลายนิ้วโป้ง)
๒. ทำ lateral pinches (การหยิบจับของโดยการใช้นิ้วชี้และนิ้วโป้งและด้านข้างนิ้วชี้)
๓. ทำ power pinches (การหยิบจับของโดยการใช้นิ้วชี้ นิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง นิ้วก้อยและฝ่ามือ)

เพื่อดูการทำงานของสมองโดยใช้ Positron Emission Tomography (PET) พบว่าบริเวณ F5 ทำงานเชื่อมโยงและประสานกับบริเวณ cortico-cortical และบริเวณ anterior intraparietal cortex (ATP) ดังนี้

๑. เซลล์สมองบริเวณ F5 จะเริ่มทำงานเมื่อมีการมองเห็นการเคลื่อนไหวในการหยิบจับของ อีกทั้งเซลล์สมองบริเวณ F5 ยังมีการทำงานที่สัมพันธ์กับเซลล์สมองบริเวณ anterior intraparietal cortex (ATP)
๒. รูปแบบของการหยิบจับของ (task constraints) จะเป็นการทำงานของเซลล์สมองบริเวณ pre-SMA (F6)

(lateral) ของ caudal intraparietal sulcus (cIPS) และเซลล์สมองใกล้เคียงคือบริเวณ V3a โดยเซลล์สมองส่วนนี้จะรับรู้ลักษณะเด่นของสิ่งของที่จะหยิบจับ (object features) ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของแกนกลางของลักษณะสิ่งของที่จะหยิบจับ (axis of the objects neurons (AOS neurons)) หรือรูปแบบของลักษณะอื่นๆของสิ่งของที่จะหยิบจับ (surface orientation selective neurons, SOS)

๓. จากสมมุติฐานของ FARS model จะพบการทำงานของเซลล์สมอง AIP ในส่วนของ Mirror neuron model เช่นเดียวกันว่า จะทำงานในการวางแผนการเคลื่อนไหวเพื่อที่จะหยิบจับสิ่งของ (object affordance extraction)
๔. โปรแกรมการเคลื่อนไหวและการรับรู้ในทำนองนั้นๆ (motor program and action recognition) จากการทำงานของเซลล์สมองในส่วนของ F5 โดยมีการทำงานที่สัมพันธ์กับการทำงานของเซลล์สมองส่วนอื่นๆ คือ เซลล์สมองบริเวณ F4 เพื่อการรับรู้ตำแหน่งและรูปแบบของสิ่งของที่จะหยิบจับ (target position), เซลล์สมองบริเวณ the caudal intraparietal sulcus (cIPS) เพื่อรับรู้ลักษณะเด่นของสิ่งของที่จะหยิบจับ (Object features) และเซลล์สมองบริเวณ infero-temporal cortex (IT) เพื่อการรับรู้สิ่งของที่จะหยิบจับ (object recognition)
๕. เกิดการรับรู้จุดที่สิ่งของที่จะหยิบจับวางอยู่ (object location) และรับรู้ถึงระยะทางที่จะเอื้อมสิ่งของที่จะหยิบ จากการทำงานของเซลล์สมองในส่วนของ MIP (medial intraparietal cortex), เซลล์สมองในส่วนของ LIP (lateral intraparietal cortex) และเซลล์สมองในส่วนของ VIP (ventral intraparietal cortex)
๖. เกิดการรับรู้ในการแสดงลักษณะของมือและการเคลื่อนไหวของมือเพื่อที่จะจับสิ่งของ (The hand shape recognition และ hand motion detection) จากการทำงานของ

เซลล์สมองในส่วนของ STS (the cortex of superior temporal sulcus)

๗. จากการรับรู้ในการแสดงลักษณะของมือและการเคลื่อนไหวของมือเพื่อที่จะหยิบจับสิ่งของเป็นการทำงานของเซลล์สมองในส่วนของ STS โดยจะมีการส่งสัญญาณการทำงานไปยังเซลล์สมองบริเวณ 7b เพื่อจัดการการเคลื่อนไหวของมือให้เหมาะสมกับสิ่งของที่จะหยิบจับ (Object affordance-hand state association) ทั้งนี้ เซลล์สมองบริเวณ 7b มีการทำงานสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับเซลล์สมองบริเวณ F5 โดยมีการศึกษาของ Fogassi และคณะ ปี ค.ศ. ๑๙๙๘^{๑๐} พบว่ามีการป้อนข้อมูลกลับไปมาระหว่างเซลล์สมองบริเวณ 7b และเซลล์สมองบริเวณ F5 เมื่อมีการเคลื่อนไหวของมือในการหยิบจับสิ่งของ
๘. จากการมองเห็นการเคลื่อนไหวของการหยิบจับของในการทำงานของส่วนเซลล์สมองส่วน visual cortex ทำให้เกิดการส่งสัญญาณการทำงานไปยังเซลล์สมองบริเวณ IT, cIPS, STS, MIP, LIP และ VIP ตามที่กล่าวมา โดยการทำงานของเซลล์สมองที่ซับซ้อนดังกล่าวจะส่งผลต่อการทำงานของเซลล์สมองบริเวณ 7a ในการวางแผนการเคลื่อนไหวของมือให้เหมาะสมกับสิ่งของที่จะหยิบจับ (hand-object spatial relation analysis) นอกจากนี้ เซลล์สมองบริเวณ 7a ยังส่งข้อมูลไปยังเซลล์สมองบริเวณ 7b เพื่อจัดการเคลื่อนไหวของมือให้เหมาะสมกับสิ่งของที่จะหยิบจับต่อไปอีกด้วย

จากการอธิบายแผนผัง mirror neuron model จะเห็นว่ามีความเชื่อมโยงและซับซ้อนในการทำงานของสมองส่วนต่างๆ กับเซลล์กระจกเงา ทั้งนี้ Arbib และคณะ ในปี ค.ศ. ๒๐๐๐^๕ ได้ให้ความคิดเห็นถึงความไม่สมบูรณ์ของการอธิบายด้วย mirror neuron model ดังกล่าวไว้ดังนี้

๑. เป็นแผนผังที่มีความยืดหยุ่นในการอธิบายข้อมูลไม่มากนัก (too rigid in assigning

schememas to specific regions) แต่ก็เป็นการเริ่มต้นที่ดีในการที่จะมีการพัฒนาการอธิบายการทำงานของเซลล์กระจกเงาต่อไป

๒. ยังไม่มีการอธิบายหรือแสดงความสัมพันธ์ของเซลล์กระจกเงากับ basal ganglia และ cerebellum ในแผนผัง mirror neuron model ซึ่งได้มีการศึกษาพบความสัมพันธ์ดังกล่าวจาก Bischoff-Grethe, Crowley และ Arbib ในปี ค.ศ. ๒๐๐๐^{๑๒} ทั้งนี้ยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมในความสัมพันธ์ดังกล่าว

จากการอธิบายถึงการทำงานของเซลล์กระจกเงาทำให้นักวิทยาศาสตร์นำแนวคิดดังกล่าวมาพัฒนาใช้และทำการศึกษาวิจัยในคนไม่ว่าจะเป็น นักเดินร่ำ เด็กที่พัฒนาการบกพร่อง เด็กออทิสติก ผู้ที่มีภาวะซึมเศร้า หรือแม้แต่ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง^{๑๓-๑๕} ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง เป็นโรคที่มีโอกาสพบได้บ่อย ส่งผลต่อการสูญเสียปีสุขภาวะ เรียกว่า DALYs (Disability-Adjusted Life Years) ที่ควรจะมีชีวิตอยู่อย่างสุขภาพแข็งแรง ทั้งยังอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตได้อีกด้วย จากการศึกษาของ Pollack และ Disler ปี ค.ศ. ๒๐๐๒^{๑๖} พบว่าหากผู้ป่วยได้รับการดูแลรักษาตั้งแต่วันแรกๆ ที่เกิดการเป็นอัมพาต จะสามารถฟื้นสภาพเป็นไปได้ถึงร้อยละ ๕๐ และกลุ่มที่ได้ประโยชน์จากการฟื้นฟูสมรรถภาพมีร้อยละ ๘๐ กลุ่มที่ไม่ต้องการการฟื้นฟูสมรรถภาพและกลุ่มที่ไม่ได้ผลดีจากการฟื้นฟูสมรรถภาพมีจำนวนใกล้เคียงกันรวมร้อยละ ๒๐ ทั้งนี้จึงอาจนำมาสู่การนำแนวคิดของเซลล์กระจกเงามาเป็นทางเลือกในการฟื้นฟูสมรรถภาพของผู้ป่วยหลอดเลือดสมอง

ในปี ค.ศ. ๒๐๐๖ Buccio G, Solodkin A และ Small SL^{๑๗} ได้ทำการศึกษาการทำงานของเซลล์กระจกเงาในการฟื้นฟูสมรรถภาพผู้ป่วยหลอดเลือดสมองจากการขาดเลือด (ischemic stroke) อายุ ๗๐ ปีขึ้นไปที่มีพยาธิสภาพของ middle cerebral artery แต่ยังคงพื้นฐานการรักษาในการฟื้นฟูสมรรถภาพให้กับผู้ป่วย ด้วยเทคนิคการเคลื่อนไหวด้วยผู้อื่น (passive movements) และการเคลื่อนไหวด้วยตนเอง (active movements) โดยให้ผู้ป่วยสังเกตดูภาพจากวิดีโอทัศน์ประมาณ ๑๕ นาที เช่น ทำท่าทางกำมือกำเท้า หรือการรับประทานแอปเปิ้ล เป็นต้น

เป็นเวลา ๒๐ วัน โดยท่าทางในการกำมือกำเท้า จะประกอบไปด้วยท่าทางต่างๆ เช่น การจับแก้ว การใส่น้ำตาล การคน การยกแก้วขึ้นดื่ม และการดื่ม เป็นต้น ระหว่างการฝึกผู้ป่วยจะถูกช่วยเหลือและแนะนำด้วยนักกายภาพบำบัด ให้คงอยู่ในท่าทางที่ถูกต้อง จากนั้นผู้ป่วยจะถูกประเมิน ด้วย Barthel index, Functional Independence Measure, Frenchay Arm Test, Fugl-Meyer ผลการศึกษาพบว่าผู้ป่วยมีพัฒนาการที่ดีของ motor performance ในส่วนของ functional scales

ปี ค.ศ. ๒๐๐๗ Ertelt D, Small S, Solodkin A และคณะ^{๑๘} ได้ทำการศึกษาในกลุ่มผู้ป่วยหลอดเลือดสมองที่ศูนย์การฟื้นฟูสมรรถภาพที่มีพยาธิสภาพในบริเวณ medial cerebral artery นานกว่า ๖ เดือน จำนวนกลุ่มละ ๘ คน และหากอายุมากกว่า ๗๖ ปี, มีพยาธิสภาพของ anterior หรือ/และ posterior cerebral artery, aphasia ระดับปานกลางถึงรุนแรง, มีปัญหาของการรู้สติ (consciousness), anosognosia หรือ neglect, ความจำบกพร่อง (amnesia) (dementia), ภาวะซึมเศร้า (depression) จะถูกคัดออกโดยแบ่งผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองออกเป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับการดูแลที่ศูนย์ที่ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้การเคลื่อนไหวและกลุ่มทดลองได้รับการดูแลที่ศูนย์ที่ให้โปรแกรมการฟื้นฟูสมรรถภาพแบบใหม่ที่เรียกว่า action observation therapy ตามแนวคิดของระบบเซลล์กระจกเงา ในการทำงานของรยางค์แขนเป็นเวลา ๖ นาที โดยฉายซ้ำจำนวน ๒ ครั้ง เป็นเวลา ๑๘ วันการทดลองโดยวัดการเปลี่ยนแปลงจาก functional magnetic resonance imaging (fMRI) เป็น ๔ ช่วงคือ

๑. ในช่วง observation (baseline) ประมาณ ๑๔ วันก่อนการรักษา
๒. ช่วงก่อนการรักษา ๑ วัน
๓. ช่วงให้การรักษา ในช่วงจบการรักษา ๑๘ อาทิตย์
๔. ช่วงหลังการรักษา หลังการจบการรักษา ๘ อาทิตย์ โดยในกลุ่มทดลองเหลือ ๗ คนจาก ๘ คน

ทำการวัดผลด้วย Stroke Impact scale, Frenchay arm test และ Wolf motor function test พบว่ามีการทำงานของแขนที่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วง ๔ อาทิตย์แรกและพัฒนาได้ต่อเนื่องอย่างน้อย ๘ อาทิตย์หลังจากให้ intervention

ปี ค.ศ. ๒๐๐๗ Iacoboni M, Mazziotta JC^๒ ได้ทำการศึกษาการประยุกต์เซลล์กระจกเงาใช้ทางคลินิกในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง โดยดูการทำงานของสมองด้วย fMRI ก่อนและหลังการให้การรักษา ทั้งนี้ได้แบ่งผู้ป่วยออกเป็น ๒ กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองซึ่งได้ดูวิถี-การเคลื่อนไหวของแขนและมือและกลุ่มควบคุมได้ดูวิถี-ทัศนรูปทรงเรขาคณิต และรูปพยัญชนะทุกวัน โดยทั้งสองกลุ่มยังได้รับการรักษาทางกายภาพบำบัดตามปกติ พบว่า

๑. กลุ่มควบคุมไม่พบความแตกต่างของการทำงานของสมองในก่อนและหลังการให้ดูวิถีทัศน์
๒. กลุ่มทดลองพบการทำงานของสมองเพิ่มขึ้นในเซลล์กระจกเงาและกระจายไปในส่วนอื่นของสมองที่ควบคุมการทำงานของเซลล์ประสาทยนต์ (motor neuron)
๓. พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบการทำงานของสมองส่วนของเซลล์กระจกเงาส่วน inferior frontal lobule และ inferior parietal lobule รวมไปถึงส่วนที่ทำงานร่วมด้วยคือ insula และ superior temporal gyrus

ปี พ.ศ. ๒๕๕๒ ภครตี ชัยวัฒน์ และคณะ^๔ ได้พัฒนาโปรแกรมการฟื้นฟูสมรรถภาพผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกเหตุสมองขาดเลือดตามแนวคิดของเซลล์กระจกเงาในรูปวิถีทัศน์ โดยใช้ Qualitative approach จากการทบทวนวรรณกรรมได้มีการศึกษาในสัตว์และมนุษย์ ในท่าทางต่างๆ เช่น การดูดน้ำ (sucking), การทำเสียงดังจากริมฝีปาก (lip-smacking), การกินแอปเปิ้ล, การเคี้ยวอาหาร, การดื่มกาแฟ, การเปิดและปิดก๊อกน้ำ, การจับลูกบอล, การก้มตัว, การเหยียบเบรก, การเตะลูกบอล และการเดิน และในการพัฒนาโปรแกรมการฟื้นฟูสมรรถภาพในการวิจัยครั้งนี้จะปฏิบัติตามแนวคิดของเซลล์กระจกเงา โดยปรับท่าทางให้เหมาะสมกับผู้ป่วยและความเป็นอยู่ของคนไทย จากนั้นได้ศึกษาประสิทธิผลของโปรแกรมในการฟื้นฟูสมรรถภาพที่บ้านสำหรับผู้ป่วยโรคอัมพาตครึ่งซีกจากสมองขาดเลือดจำนวน ๔๐ คน โดยทำการสุ่มผู้ป่วยเป็น ๒ กลุ่มคือกลุ่มที่ได้รับโปรแกรมในการฟื้นฟูสมรรถภาพที่บ้านตามแนวคิดของเซลล์กระจกเงาและกลุ่มการรักษาปกติ โดยจะเก็บ

ข้อมูลเป็นเวลา ๓ เดือน โดยใช้ Barthel Index, modified Rankin Scale, TMSE, HADs และ EQ-5D เพื่อประเมินความสามารถในการทำงาน ความพิการ ภาวะสมองเสื่อม ภาวะซึมเศร้าและคุณภาพชีวิตด้านสุขภาพตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า ผลการประเมินรูปแบบ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่ได้รับโปรแกรมในการฟื้นฟูสมรรถภาพที่บ้านตามแนวคิดของเซลล์กระจกเงาและกลุ่มการรักษาปกติ ยกเว้น TMSE โดยในเดือนที่ ๓ ผู้ป่วยในกลุ่มทดลองสามารถช่วยเหลือตัวเองได้ (independency) มากกว่าผู้ป่วยในกลุ่มควบคุมเป็นร้อยละ ๕๕ (ช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับร้อยละ ๕๕ เป็นร้อยละ ๘๒.๒๐ ถึงร้อยละ ๑๐๗.๘๐) จะเห็นได้ว่าในช่วง ๓ เดือนหลังจากที่ผู้ป่วยโรคอัมพาตครึ่งซีกจากสมองขาดเลือดถูกจำหน่ายจากโรงพยาบาลได้รับโปรแกรมในการฟื้นฟูสมรรถภาพที่บ้านตามแนวคิดของเซลล์กระจกเงาทันทีที่จะมีโอกาสในการเพิ่มความสามารถและลดความพิการได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการดูแลปกติ

ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าเซลล์กระจกเงาเพิ่งถูกค้นพบมาไม่นานนัก จึงยังมีสิ่งที่น่าสนใจและคำถามมากมายที่ยังรอคำตอบ ไม่ว่าจะเป็นการทำงานของเซลล์กระจกเงามีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของขาหรือไม่ การพัฒนาโปรแกรมการฟื้นฟูสมองผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่บ้านด้วยแนวคิดของเซลล์กระจกเงา หรือการศึกษาในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองถึงการทำงานของเซลล์กระจกเงากับการฟื้นฟูสมองด้วย Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) ซึ่งขณะนี้ผู้เขียนและทีมวิจัยกำลังดำเนินการวิจัยในส่วนนี้อยู่ เพื่อใช้ในการพัฒนาองค์ความรู้และเป็นทางเลือกในการรักษาแก่ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเพื่อให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

๑. di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: A neurophysiological study. *Exp Brain Res* 1992;91:176-80.
๒. Iacoboni M, Mazziotta JC. Mirror neuron system: Basic finding and clinical applications. *Ann Neurol* 2007;2:213-8.

๓. Pineda JA. Mirror neuron systems: The role of mirroring process in social cognition. New York: Humana Press, 2009.
๔. Keysers C, Perrett DI. Demystifying social cognition: A Hebbian perspective. *T Cog Sci* 2004;8:501-7.
๕. Arbib MA, Billard A, Iacoboni M, Oztot E. Synthesis brain imaging: grasping, mirror neurons and imitation. *Neural Networks* 2000;13:975-97.
๖. Dominey PF, Arbib MA. A cortico-subcortical model for generation of spatially accurate sequential saccades. *Cerebr Cort* 1992; 2:153-75.
๗. Arbib MA, Bischoff A, Fagg A, Grafton S. Synthetic PET: analyzing large-scale properties of neural networks. *Hum Br Map* 1995;2:225-33.
๘. Oztot E, Rizzolatti G, Arbib MA. Mirror neuron system for grasping: a computational model. *Neural Networks* 2006;19:254-71.
๙. Sakata H, Taira M, Kusunoki M, Murata A, Tanaka Y. The parietal association cortex in depth perception and visual control of action. *Tr Neurosci* 1997;20:350-7.
๑๐. Sakata H, Taira M, Murata A, Gallese V, Tanaka Y, Shikata E, Kusunoki M. In P. Their & H.O. Karnath, Parietal visual neurons coding three-dimensional characteristics of objects and their relation to hand action, parietal lobe contributions to orientation in 3D space. Heidelberg: Springer. 1997.
๑๑. Fogassi L, Gallese V, Fadiga L, Rizzolatti G. Neurons responding to the sight of goal-directed hand/arm actions in the parietal area PF (7b) of the macaque monkey. 28th Annual Meeting of Society for Neuroscience. 1998.
๑๒. Bischoff-Grethe A, Crowley MG, Arbib MA. Movement inhibition and next sensory state prediction in the basal ganglia. *IBAGS Proceedings*, Chapter 23. 2000.
๑๓. Berrol CF. Neuroscience meets dance/movement therapy: Mirror neurons, the therapeutic process and empathy. *Art Psychother* 2006;33:302-15.
๑๔. Williams JH, Whiten A, Suddendorf T, Perrett DI. Imitation, mirror neurons and autism. *Neurosci Biobehav Rev* 2001;25:287-95.
๑๕. Dapretto M, Davies MS, Pfeifer JH, Scott AA, Sigman M, Bookheimer SY, Iacoboni M. Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neurosc* 4:e10, 2005.
๑๖. Emery NJ, Perrett DI. How can studies of the monkey brain help us understand “theory of mind” and autism in humans. In: S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg and DJ Cohen (Eds). *Understanding Other Minds-perspectives from developmental cognitive neuroscience*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 2000.
๑๗. Buccino G, Solodkin A, Small SL. Functions of the mirror system: Implications for neurorehabilitation. *Cog Behav Neurol* 2006;19: 55-63.
๑๘. Ertelt D, Small S, Solodkin A, Dettmers C, McNamara A, Binkofski F, Buccino G. Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke. *NeuroImage* 2007;36:164-73.
๑๙. Chaiyawat P, Kulkantrakorn K, Sritipsukho P. Effectiveness of Individual rehabilitation program for ischemic stroke: mirror neurone concept. *Thammasat Med J* 2009;9:111-20.
๒๐. Pollack M, Diasler P. Rehabilitation of patients after stroke. *MJA* 2002;177:452-6.