

การพัฒนาระบบการทำกายภาพบำบัดทางไกลแบบเน้นฝึกระบบการทรงตัว  
ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังในระยะกึ่งเฉียบพลันด้วยปัญญาประดิษฐ์



นายดุลยวัต วิริยพงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชานวัตกรรม วิศวกรรมแพทย์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2566

DEVELOPMENT OF TELEREHABILITATION WITH AN EMPHASIS ON  
VESTIBULAR REHABILITATION IN THE PATIENTS WITH SUBACUTE  
POSTERIOR CIRCULATION STROKE BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE

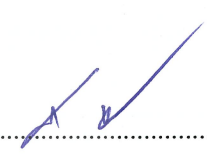


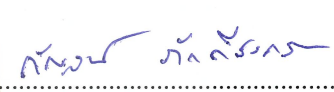
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Biomedical Innovation Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2023

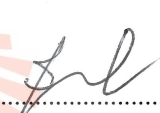
การพัฒนาระบบการทำกายภาพบำบัดทางไกลแบบเน้นฝึกระบบการทรงตัว  
ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังในระยะกึ่งเฉียบพลันด้วยปัญญาประดิษฐ์

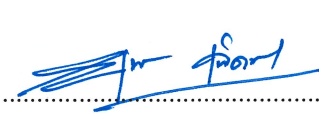
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขเกษม วัชรมัยสกุล)  
ประธานกรรมการ

  
.....  
(นายแพทย์ ดร.กัญจน์ กักดีสงคราม)  
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรวิทย์ วิไลประสิทธิ์พร)  
กรรมการ

  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)  
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล)  
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

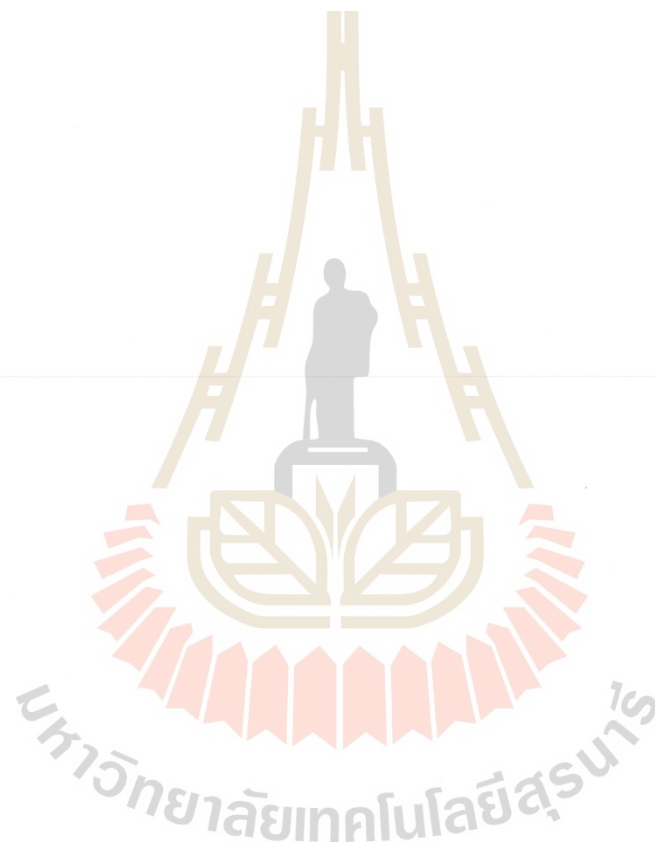
ดุษฎีวิทยานิพนธ์ : การพัฒนาระบบการทำกายภาพบำบัดทางไกลแบบเน้นฝึกระบบการทรงตัว  
ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังในระยะกึ่งเฉียบพลันด้วยปัญญาประดิษฐ์  
(DEVELOPMENT OF TELEREHABILITATION WITH AN EMPHASIS ON VESTIBULAR  
REHABILITATION IN THE PATIENTS WITH SUBACUTE POSTERIOR CIRCULATION  
STROKE BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE)

อาจารย์ที่ปรึกษา: อ. นพ. ดร.กัญจน์ ภักดีสงคราม, 110 หน้า

คำสำคัญ : กายภาพบำบัดทางไกล, การฟื้นฟูระบบการทรงตัว, ปัญญาประดิษฐ์

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและพัฒนาระบบการทำกายภาพบำบัดทางไกลแบบเน้นฝึกระบบการทรงตัว  
สำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังด้วยปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งจะมีการประเมินและการทดสอบ  
ทางคลินิกคือ แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ การทดสอบการเดินทรงตัวร่วมกับการวัดคลื่นไฟฟ้า  
สมอง ชนิด 32 ช่องสัญญาณ การทดสอบการเดินระยะทาง 10 เมตร และการทดสอบการเดินไดนามิก  
โดยนำมาวิเคราะห์ร่วมกับคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยจะมีการสร้างแบบจำลองการเรียนรู้  
ด้วยเครื่อง 5 วิธี ได้แก่ เทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (K-Nearest Neighbors, KNN) เทคนิค  
วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก (logistic regression, LR) เทคนิควิธีการเรียนรู้เบย์ (Naive-  
Bayes, NB) เทคนิควิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) และเทคนิควิธีซัพ  
พอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine, SVM) โดยแสดงผลด้านประสิทธิภาพและความ  
แม่นยำของแบบจำลอง โดยมีผลการศึกษาทางคลินิกพบว่า การทำกายภาพบำบัดแบบเน้นการทรงตัว  
ส่งผลต่อการลดอาการวิงเวียนซึ่งประเมินได้จากการทำแบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะที่คะแนนมีค่า  
ลดลง แสดงถึงด้านกายภาพ ด้านจิตใจ และด้านการใช้ชีวิตประจำวันที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการประเมิน  
ความสามารถการเดิน ด้วยการทดสอบการเดินระยะ 10 เมตร ที่แสดงถึงประสิทธิภาพที่ผู้ป่วยทำ  
ได้มากขึ้น ทั้งอัตราเร็วและจำนวนก้าวต่อนาทีที่เพิ่มขึ้น รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่ลดลง  
อาจกล่าวได้ว่า ผู้ป่วยมีความสามารถในการทรงตัวที่ดี การทดสอบการทรงตัวโดยให้ผู้ป่วยเดินวนข้าง  
ปกติและอ่อนแรงพบว่าผู้ป่วยใช้เวลาในการเดินลดลงหลังจากที่ได้รับการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวทั้ง  
หลังการฝึกและช่วงระยะเวลาติดตาม 1 เดือน การทดสอบการเดินแบบไดนามิก (DGI) พบว่าคะแนน  
เฉลี่ยที่ผู้ป่วยทำได้มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเดินที่ดีขึ้น สามารถทำกิจกรรมต่างๆได้ดี จากผล  
ทั้งหมดทางคลินิก พบว่า การฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวมีส่วนช่วยให้ผู้ป่วยทั้งสองกลุ่ม (กลุ่มฟื้นฟู  
ทางไกลและกลุ่มฟื้นฟูที่โรงพยาบาล) มีการทรงตัวที่มีแนวโน้มที่ดีขึ้น ลดปัญหาการวิงเวียน และความ  
เสี่ยงล้มที่อาจจะเกิดขึ้น ทั้งนี้ผลทางด้านปัญญาประดิษฐ์พบว่า ความสามารถในการทำงานของโมเดล  
ในแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน โดยผลที่ได้คือ การใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (KNN) และ  
โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็น 2 อันดับแรกมีค่าความถูกต้อง  $92.90\% \pm 1.13\%$  และ  $88.00\% \pm 1.26\%$  ตามลำดับ ค่าความแม่นยำ  $91.72\% \pm 1.66\%$  และ  $87.68\% \pm 2.17\%$  ตามลำดับ ค่าความระลึกลับ  $94.36\% \pm 1.81\%$  และ  $88.55\% \pm 3.26\%$  ตามลำดับ ค่าความ  
ถ่วงดุล  $93.00\% \pm 1.13\%$  และ  $88.05\% \pm 1.38\%$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลของช่วงความถี่ 4-  
30 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นจากผลการวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงผลของการฟื้นฟูทางไกลแบบเน้นการทรงตัวและผล

การทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละโมเดลโดยสามารถนำข้อมูลไปต่อยอดพัฒนาระบบการฟื้นฟูทางไกล และระบบทางปัญญาประดิษฐ์ในอนาคตได้เพื่อเพิ่มศักยภาพของการฟื้นฟูทางกายภาพบำบัดให้มี ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



สาขาวิชา นวัตกรรมการดูแลสุขภาพ  
ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนักศึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

DULYAWAT WIRIYAPHONG: DEVELOPMENT OF TELEREHABILITATION WITH AN EMPHASIS ON VESTIBULAR REHABILITATION IN THE PATIENTS WITH SUBACUTE POSTERIOR CIRCULATION STROKE BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE. THESIS ADVISOR: GUN BHAKDISONGKHRAM, M.D., Ph.D., 110 PP.


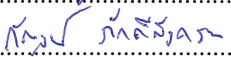
Keyword: Telerehabilitation, Vestibular rehabilitation, Artificial intelligence

This research focuses on a telerehabilitation system emphasizing vestibular rehabilitation for posterior circulation stroke patients using artificial intelligence (AI). Clinical evaluations and tests include assessing vertigo symptoms by dizziness inventory, timed up and go test with 32-channel electroencephalography (EEG), 10-meter walk test, and dynamic gait index. The relationship between clinical outcomes and brainwave data is analyzed using artificial intelligence. Five machine learning models are consisted of K-Nearest Neighbors (KNN), Logistic Regression (LR), Naïve-Bayes (NB), Artificial Neural Networks (ANN), and Support Vector Machine (SVM). Clinical study results indicate that vestibular rehabilitation leads to a reduction in vertigo symptoms, as evidenced by decreased scores on the dizziness handicap inventory, indicating improvements in physical, emotional, and functional activity. Additionally, improvements in walking abilities are observed, including increased walking speed and cadence, as well as reduced testing time. Patients exhibit better postural control, as indicated by reduced walking time, and increased Dynamic Gait Index (DGI) scores post-rehabilitation indicating improved walking ability and better performance in daily activities. From all clinical outcomes, it was observed that vestibular rehabilitation significantly contributed to improved postural stability, reduced dizziness symptoms, and lowered fall risk for both groups (telerehabilitation and hospital-based rehabilitation). In term of artificial intelligence analysis, variations in the performance of different model types were noted. Specifically, the top two performing methods, K-Nearest Neighbors (KNN) and Artificial Neural Networks (ANN), achieved the highest effectiveness. KNN had an accuracy of  $92.90\% \pm 1.13\%$ , followed by ANN with  $88.00\% \pm 1.26\%$ . Similarly, KNN and ANN had the precision rates of  $91.72\% \pm 1.66\%$  and  $87.68\% \pm 2.17\%$ , respectively. Moreover, for recall rates, KNN and ANN scored  $94.36\% \pm 1.81\%$  and  $88.55\% \pm 3.26\%$ , respectively. The F-measure scores were  $93.00\% \pm 1.13\%$  and  $88.05\% \pm 1.38\%$ , respectively. These results were obtained using data from the 4-30 Hertz frequency range. Therefore, the results of this research provide insight into the effects of vestibular rehabilitation with telerehabilitation and the performance of each

machine learning models. These findings can be used to further develop telerehabilitation systems and artificial intelligence in the future to enhance the efficiency and effectiveness of physical therapy.



School of Biomedical Innovation Engineering  
Academic Year 2023

Student's Signature .....   
Advisor's Signature ..... 

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จไปด้วยความมุ่งมั่นตั้งใจ โดยได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก อาจารย์ นพ. ดร.กัญจน์ ภักดีสงคราม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขเกษม วัชรมัยสกุล ประธานหลักสูตร นวัตกรรม วิศวกรรม วิศวกรรมศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณยู กาญจนวัฒนา อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ธีรวิทย์ วิไลประสิทธิ์พร คณะกรรมการ ที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมดที่ส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ ตั้งแต่เก็บข้อมูล ณ แผนกเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลเทคโนโลยีสุรนารี บุคลากรที่เกี่ยวข้อง นักกายภาพบำบัด นักกิจกรรมบำบัด บุคลากรทางการแพทย์อื่น ๆ รุ่นพี่ รวมถึงเพื่อนร่วมงานที่มีส่วนช่วยเก็บข้อมูลการวิจัย

ขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยและอาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรนี้ ที่ได้คิดหลักสูตรนวัตกรรม วิศวกรรมศาสตร์ขึ้น เนื่องจากเป็นสาขาที่มีความสำคัญอีกสาขาหนึ่งในทางการแพทย์ เพื่อคิดค้น พัฒนาระบบสาธารณสุขต่าง ๆ ในหลายมิติ ส่งเสริมให้เทคโนโลยีมีส่วนช่วยการแพทย์ในประเทศไทย ให้พัฒนาขึ้น

ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยสนับสนุน ห่วงใย ให้กำลังใจ และคอยผลักดัน จนทำให้มีวันนี้ ความสำเร็จของผู้วิจัยไม่สามารถเกิดขึ้นได้เลย หากไม่มีคนคอยสนับสนุนเหล่านี้ อีกบุคคลหนึ่ง ซึ่งขาดไม่ได้เลยสำหรับงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือตัวผู้วิจัยเอง ขอขอบคุณที่อดทน มุ่งมั่น ทำตามเป้าหมายที่กำหนด แม้จะยากและเหนื่อยแค่ไหน วันนี้ก็ผ่านมายืนในจุดที่ภาคภูมิใจมากแล้ว สิ่งที่จะทำต่อไปคือ นำความรู้ที่มีไปพัฒนาตัวเอง สังคม สิ่งแวดล้อม และวิชาชีพที่ผู้วิจัยได้ทำอยู่ เพื่อให้คุณภาพชีวิต ระบบการศึกษาและระบบทางการแพทย์ดียิ่งขึ้นไป

ดุลยวัต วิริยพงศ์



# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) .....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....	ค
กิตติกรรมประกาศ .....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ณ
สารบัญรูป .....	ญ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>2 ปรีक्षणวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>4</b>
2.1 กลุ่มโรคหลอดเลือดสมองและระบบการทรงตัว .....	4
2.1.1 โรคหลอดเลือดสมอง .....	4
2.1.2 สาเหตุหรืออาการอื่น ๆ ที่อาจส่งผลให้มีการเสี่ยงล้มในกลุ่มคนไข้ หลอดเลือดสมอง .....	4
2.1.3 ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ที่มีรอยโรคที่หลอดเลือดสมองส่วนหลัง .....	5
2.2 แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะและการทดสอบการทรงตัว .....	6
2.2.1 การทดสอบการทรงตัว (Time Up and Go Test, TUGT) .....	6
2.2.2 การทดสอบการเดิน 10 เมตร (10-meter walk test) .....	7
2.2.3 Dynamic gait index .....	8
2.2.4 แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness handicap inventory) .....	9
2.3 คลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography, EEG) .....	9
2.4 การฟื้นฟูการทรงตัวและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Vestibular Rehabilitation) .....	12
2.5 ระบบการฟื้นฟูทางไกล .....	13
2.6 ปัญญาประดิษฐ์ .....	14
2.6.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) .....	15
2.6.2 รูปแบบการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองคอนฟิวชันเมทริกซ์ .....	18

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

2.6.3	ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพของโมเดล .....	19
2.6.4	การแบ่งข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง.....	21
2.7	งานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้อง .....	23
2.8	โปรแกรมที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย.....	25
<b>3</b>	<b>วิธีการดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>28</b>
3.1	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	28
3.1.1	อุปกรณ์วัด EEG 32 channels ของบริษัท EMOTIV.....	29
3.2	การเก็บข้อมูลทางคลินิก .....	31
3.3	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	35
3.3.1	การเตรียมข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมอง.....	35
3.3.2	สร้างและประเมินประสิทธิภาพของโมเดล.....	36
3.4	วิธีการวัดผลทางคลินิกและทางปัญญาประดิษฐ์ .....	41
3.4.1	วัดผลความเป็นไปได้ (Feasibility study) .....	41
3.4.2	ค่าที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพโมเดล.....	41
<b>4</b>	<b>ผลวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>43</b>
4.1	ข้อมูลของอาสาสมัคร.....	43
4.2	ผลการทดลองทางคลินิก.....	46
4.3	ผลการทดลองทางคลินิกรายบุคคล.....	50
4.3.1	ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 001 .....	50
4.3.2	ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 002 .....	50
4.3.3	ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 003 .....	51
4.3.4	ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 004 .....	52
4.3.5	ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 005 .....	53
4.3.6	ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 006 .....	53
4.3.7	ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 007 .....	54
4.3.8	ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 008 .....	55
4.4	การวัดผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางคลินิก .....	56
4.5	การประเมินผลของโมเดล.....	58

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.1	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (K-Nearest Neighbors, KNN) วิธีการถดถอยลอจิสติก (Logistic regression) วิธีการของเบย์ (Naïve Bayes) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial intelligence, ANN) และวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine).....	59
4.6	อภิปรายผลการวิจัย.....	61
4.7	ข้อจำกัดในงานวิทยานิพนธ์.....	66
<b>5</b>	<b>สรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>67</b>
5.1	สรุปผลงานวิจัย.....	67
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	67
	รายการอ้างอิง.....	69
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. แบบประเมินและแบบทดสอบทางคลินิก.....	76
	ภาคผนวก ข. ข้อมูลโปรแกรม EEGLAB และ Rapidminer.....	84
	ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	93
	ประวัติผู้เขียน.....	110

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion Matrix) .....	18
3.1	เครื่องมือ อุปกรณ์ และแบบประเมินต่าง ๆ ทางคลินิก .....	28
3.2	รายละเอียดของอุปกรณ์การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง .....	29
3.3	ท่าที่ใช้ในการฝึกการทรงตัว (Vestibular Rehabilitation).....	33
4.1	ข้อมูลของอาสาสมัคร (Demographic Data).....	43
4.2	ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร.....	44
4.3	รหัสของอาสาสมัครและรอยโรค.....	45
4.4	ตารางสรุปผลการประเมินและการทดสอบทางคลินิก .....	57
4.5	ตัวอย่างคอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion Matrix) .....	58
4.6	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (K-Nearest Neighbors, KNN).....	59
4.7	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการถดถอยลอจิสติก (Logistic Regression, LR) .....	59
4.8	ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีการของเบย์ (NAÏVE BAYES, NB).....	59
4.9	ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN).....	60
4.10	ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธี ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine, SVM).....	60
4.11	สรุปค่า Accuracy Precision Recall F_measure และ AUC-ROC .....	60
4.12	ผลของการฝึกแบบเน้นการทรงตัวกับลักษณะคลื่นไฟฟ้าสมองในแต่ละย่านความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและสอดคล้องกับผลทางคลินิกที่ดีขึ้น ด้วยวิธีสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman correlation).....	64

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2.1	ภาพตัวอย่างของ MRI ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลัง.....	6
2.2	การทดสอบการทรงตัว (Timed Up And Go Test, TUGT) .....	7
2.3	การทดสอบการเดิน 10 เมตร (10-Meter Walk Test, 10MWT).....	8
2.4	สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองประกอบด้วยคลื่นภายในแต่ละย่านความถี่.....	10
2.5	ตัวอย่างของโมเดล KNN .....	15
2.6	ตัวอย่างของโมเดล Logistic Regression .....	16
2.7	สมการความน่าจะเป็นที่ใช้ใน NAÏVE BAYES .....	16
2.8	รูปแบบของโมเดล ANN.....	17
2.9	ตัวอย่างสำหรับโมเดล SVM.....	18
2.10	เส้นโค้ง ROC.....	20
2.11	พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ของเส้นโค้ง ROC.....	21
2.12	แบบจำลองการทำงานของ K-Fold Cross Validation .....	21
2.13	แบบจำลองการทำงานของ Leave One Out Cross Validation.....	22
2.14	แบบจำลองการทำงานของ Stratified K-Fold Cross Validation .....	23
2.15	โปรแกรม EEGLAB.....	26
2.16	โปรแกรม RAPIDMINER VERSION 9.9.....	27
2.17	หน้าต่างแสดงส่วน ๆ ต่างของโปรแกรม RAPIDMINER .....	27
3.1	ตำแหน่งสี่ฟ้าเป็นตำแหน่ง Electrode ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ตามระบบ International 10–20 System EEG Position .....	29
3.2	การทดสอบการเดินทรงตัวร่วมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง .....	33
3.3	แผนผังแสดงขั้นตอนการนำอาสาสมัครเข้าทำการทดลองและการติดตามผลทางคลินิก.....	35
3.4	การสร้างโมเดล KNN ในโปรแกรม RAPIDMINER.....	37
3.5	การสร้างโมเดล LR ในโปรแกรม RAPIDMINER.....	38
3.6	การสร้างโมเดล NB ในโปรแกรม RAPIDMINER .....	39
3.7	การสร้างโมเดล ANN ในโปรแกรม RAPIDMINER .....	40
3.8	การสร้างโมเดล SVM ในโปรแกรม RAPIDMINER .....	41
4.1	Dizziness handicap inventory Score (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก และ Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล).....	46

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2	Dynamic Gait Index (PRE: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก และ POST: หลังฝึก กายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)..... 46
4.3	อัตราเร็วในการเดิน ใน 10-METER WALK TEST (PRE: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก POST: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: คือกลุ่มที่ฝึก แบบทางไกล) ..... 47
4.4	เวลาในการเดิน 10-Meter Walk Test (PRE: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก POST: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: กลุ่มที่ฝึก แบบทางไกล) ..... 47
4.5	จำนวนก้าวในการเดิน (PRE: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก และ POST: หลังฝึก กายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล) ..... 48
4.6	จำนวนก้าว/นาทีในการเดิน (ภาพขวา) ใน 10-METER WALK TEST (PRE: ก่อนฝึก กายภาพบำบัดครั้งแรก และ POST: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึก ที่โรงพยาบาล X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล) ..... 48
4.7	Timed-Up And Go Test เดินเร็วไปด้านขวาที่ปกติ (PRE: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก; POST: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; F/U: POST 1 MONTH: ที่เวลา 1 เดือน หลังฝึก กายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล; X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)..... 49
4.8	เดินเร็วไปด้านขวาที่อ่อนแรง (PRE: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก; POST: หลังฝึก กายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; F/U: POST 1 MONTH: ที่เวลา 1 เดือน หลังฝึก กายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล; X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล) ..... 49
4.9	ตัวอย่างของกราฟ ROC..... 58

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

EEG	=	Electroencephalography
DHI	=	Dizziness handicap inventory
TUGT	=	Timed-up and go test
10mWT	=	10-meter walk test
AOC	=	Area under the curve
ROC curve	=	Receiver operating characteristic curve
KNN	=	K-Nearest Neighbors
LR	=	Logistic regression
NB	=	Naïve Bayes
ANN	=	Artificial neural network
SVM	=	Support vector machine

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

องค์การอนามัยโลกให้ความหมายโรคหลอดเลือดสมองว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงอาการที่มีลักษณะเฉียบพลันและส่งผลกระทบต่อการทำงานของสมองโดยอาการอาจคงอยู่ได้ 24 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้นจะส่งผลให้มีความเสี่ยงในการเสียชีวิต โดยที่มีสาเหตุจากปัญหาของหลอดเลือดในสมอง โดยมีการศึกษาว่าอัตราการเสียชีวิตหรือความพิการและส่งผลจนถึงปัจจุบัน หลังจากมีภาวะโรคหลอดเลือดสมอง ผู้ป่วยมักมีอาการอ่อนแรง รวมถึงปัญหาด้านการรับรู้ความรู้สึกและมีความจำกัดด้านการเคลื่อนไหว เช่น เดิน ยืนตรง และการลุกยืน โดยลักษณะพื้นฐานกิจกรรมในชีวิตประจำวันคือการลุกยืนตรง การเดินทรงตัว อาจเป็นปัญหาหนึ่งในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง โดยเป็นกิจกรรมที่ทำได้ยากและต้องอาศัยทักษะทั้งในด้านการรับรู้ความรู้สึกและกำลังกล้ามเนื้อเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทรงตัว

ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองโดยเฉพาะผู้ป่วยหลอดเลือดสมองส่วนหลัง (Posterior circulation) อาจส่งผลให้มีอาการผิดปกติของระบบประสาทที่ใช้สำหรับการทรงตัว ซึ่งอาจทำให้มีอาการวิงเวียน คลื่นไส้ อาเจียนหรือบ้านหมุนได้ จนเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเดินที่ไม่มั่นคง ส่งผลให้มีโอกาสเสี่ยงล้มหรือเกิดอุบัติเหตุได้ ซึ่งเกิดจากการทำงานผิดปกติของระบบการทรงตัว การมองเห็น และการรับรู้ความรู้สึก เกิดขึ้นที่ระยะเฉียบพลันและกึ่งเฉียบพลัน ซึ่งเป็นช่วงที่สมองยังปรับตัวได้ยังไม่เต็มที่ จึงจำเป็นต้องเข้ารับการฟื้นฟูการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) นอกเหนือการฝึกกายภาพบำบัดแบบปกติ (Conventional treatment) โดยที่นักกายภาพบำบัดจะทำการประเมินผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ด้วยวิธีการประเมินทางกายภาพบำบัด

อย่างไรก็ตามสมองเป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทจำนวนมากและซับซ้อน โรคหลอดเลือดสมองส่งผลให้เกิดความเสียหายในการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาท ไม่เพียงแต่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง แต่ส่งผลกระทบต่อเซลล์ประสาทบริเวณอื่นๆ ด้วย การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography) ในแต่ละตำแหน่งของสมอง จึงจำเป็นและสำคัญในการติดตามการทำงานเชื่อมต่อกันของสมอง ซึ่งการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงที่มีการเคลื่อนไหวเช่น ลุกนั่ง หรือการเดินส่งผลให้มีสัญญาณรบกวน ซึ่งอาจทำให้มีสัญญาณรบกวนจำนวนมากส่งผลการวิเคราะห์ จึงจำเป็นต้องแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองให้ลดสัญญาณรบกวน และใช้ปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์และจำแนกสัญญาณสมองเพื่อหาความสัมพันธ์กับผลการประเมินทางคลินิก ซึ่งแบบประเมินหรือการทดสอบทางคลินิกมีอยู่หลากหลายรูปแบบ เช่น การทดสอบการทรงตัว (time up and go test) เป็นการทดสอบที่ใช้วัดประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวและการทรงตัว โดยเป็นการลุกขึ้นยืนและเดินเป็นระยะทาง 3 เมตร จากนั้นเดินวนกลับอีก 3 เมตร และกลับมาที่จุดเริ่มต้น ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่ถูก



นำมาใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในกลุ่มที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวเช่น ผู้สูงอายุ โรคหลอดเลือดสมอง และโรคพาร์กินสัน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการประเมินอื่นๆเช่น การเดินเป็นระยะทาง 10 เมตร (10-meter walk test, 10mWT) การทดสอบการเดินไดนามิก (Dynamic gait index, DGI) เป็นต้น ปัจจุบันมีการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองเพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรค เช่น โรคเส้นเลือดสมอง เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการใช้ปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองร่วมกับการประเมินทางคลินิก เพื่อใช้ดูความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นไฟฟ้าสมองและผลทดสอบทางคลินิก ซึ่งอาจทำให้การฟื้นฟูมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเป็นส่วนหนึ่งที่แพทย์หรือนักกายภาพบำบัด ใช้วางแผนการรักษาในลำดับถัดไป

ระบบกายภาพบำบัดผ่านการสื่อสารทางไกล (Tele-rehabilitation) เป็นระบบที่ทำให้ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเข้าสู่ระบบการบำบัดฟื้นฟูได้ โดยจะมีประโยชน์ในด้านการฟื้นฟูกล้ามเนื้อเนื้อ การใช้ชีวิตประจำวัน การสื่อสาร ภาวะทางจิต และปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ ซึ่งมีส่วนช่วยกรณีที่ผู้ป่วยมีการเคลื่อนย้ายลำบาก หรือไม่สะดวกในการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาล ช่วยลดความเสี่ยงโอกาสการติดเชื้อที่โรงพยาบาล (เช่น ช่วงที่มีโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โรงพยาบาลจะมีการลดจำนวนการให้บริการผู้ป่วยไม่ฉุกเฉินและจึงมีผู้ป่วยที่เสียโอกาสในการทำกายภาพบำบัดในโรงพยาบาล ) ลดความเหลื่อมล้ำและลดการเสียโอกาสการเข้ารับการทำกายภาพบำบัดจากปัจจัยด้านอื่นๆ ได้ฝึกกายภาพบำบัดอย่างต่อเนื่องและได้รับคำแนะนำที่ถูกต้องจากแพทย์หรือนักกายภาพบำบัด เพื่อลดอาการบาดเจ็บหรืออุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากบริหารผิดวิธี

ดังนั้นในงานนี้ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาและพัฒนาระบบการทำกายภาพบำบัดทางไกลแบบเน้นฝึกกระบวนการทรงตัวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังในระยะกึ่งเฉียบพลันด้วยปัญญาประดิษฐ์

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย (Research objectives or purposes of the Study)

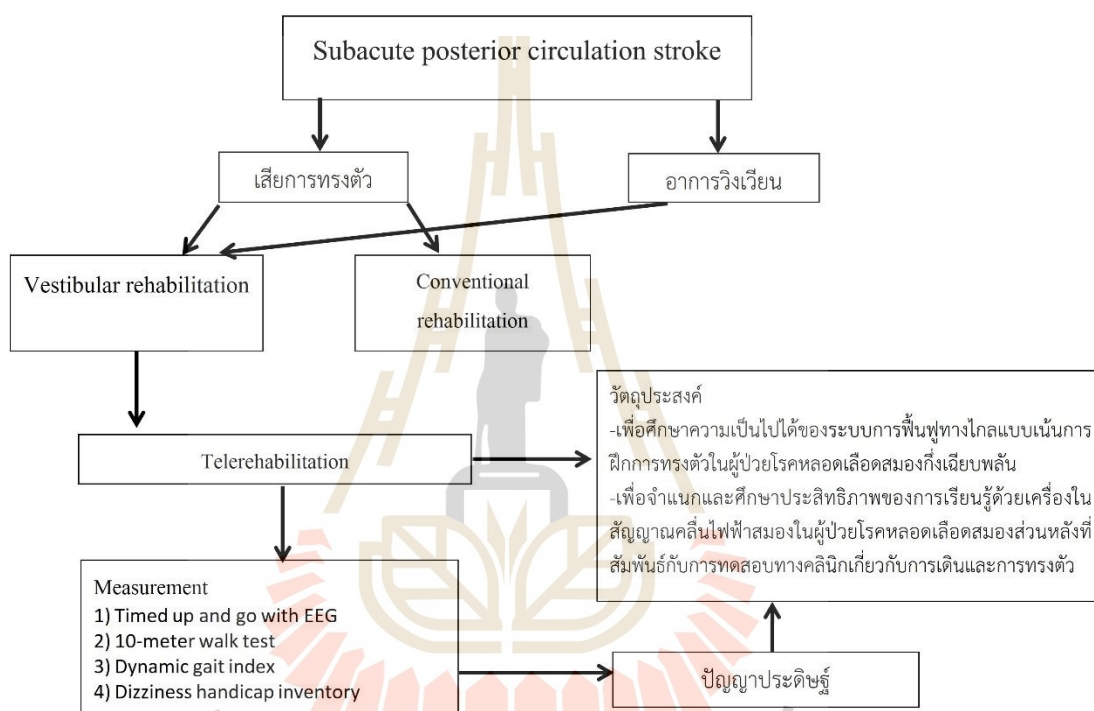
1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในระบบการฟื้นฟูทางไกลในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองกึ่งเฉียบพลันที่มีรอยโรคบริเวณเส้นเลือดสมองส่วนหลังและมีอาการวิงเวียน

1.2.2 เพื่อจำแนกและศึกษาประสิทธิภาพของการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (machine learning) ในสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังที่สัมพันธ์กับการทดสอบทางคลินิกเกี่ยวกับการเดินและการทรงตัว

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรคหลอดเลือดสมองเป็นกลุ่มที่ควรได้รับการฟื้นฟูบำบัดที่สม่ำเสมอเพื่อที่จะทำให้ความสามารถในด้านต่าง ๆ กลับมาเป็นปกติ โดยเฉพาะการใช้ชีวิตประจำวัน ซึ่งในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลัง (Posterior circulation) มักมีปัญหาด้านการทรงตัว รวมถึงการควบคุมการเคลื่อนไหว อาการเวียนศีรษะ คลื่นไส้ และอาเจียน เป็นต้น สามารถเกิดขึ้นได้ในผู้ป่วยกลุ่มนี้ จึงจำเป็นต้องมีการฝึกที่นอกเหนือจากการฟื้นฟูแบบดั้งเดิม (Conventional rehabilitation) คือการฟื้นฟูแบบเน้นฝึกการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) และเพื่อพัฒนาให้ผู้ป่วยที่มีปัญหา

การเดินทางหรือจากสถานการณ์โควิด-19 ที่ทำให้การฝึกที่โรงพยาบาลอาจทำได้ยากกว่าปกติ เนื่องจากมีการจำกัดหรือลดความหนาแน่นในการเข้ารับบริการ งานวิจัยนี้จะมีการฝึกผู้ป่วยกลุ่มหนึ่ง ผ่านทางการฟื้นฟูทางไกล (telerehabilitation) โดยผู้ป่วยจะได้รับการทดสอบ ทำแบบประเมิน อาการเวียนศีรษะและความสามารถในการทรงตัว รวมถึงการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ จากการตรวจประเมินไปวิเคราะห์และจำแนกคลื่นไฟฟ้าสมองกับความสามารถในการทรงตัวขณะเดิน ด้วยปัญญาประดิษฐ์ และเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำกายภาพบำบัดทางไกลแบบเน้นฝึกระบบ การทรงตัวขณะเดินในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังในระยะกึ่งเฉียบพลัน ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขอบเขตของการวิจัย

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected results)

1.4.1 สามารถประเมินความเป็นไปได้ และประสิทธิผลของการทำกายภาพบำบัดทางไกล ซึ่งสามารถนำรูปแบบกายภาพบำบัดทางไกลแบบเน้นฝึกระบบการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) เพื่อฟื้นฟูการเดิน ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลัน ที่มีรอยโรคที่หลอดเลือดสมองส่วนหลัง (Posterior circulation)

1.4.2 ทราบถึงประสิทธิภาพโมเดลทางปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองกับความสามารถในการเดิน

## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การฟื้นฟูระบบการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) ซึ่งมีความจำเป็นในผู้ป่วยที่มีปัญหา ด้านอาการเวียนศีรษะหรือการรักษาสสมดุลการทรงตัว (Balance problem) เช่น ในผู้สูงอายุ ผู้ป่วย โรคหลอดเลือดสมอง ผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับหูชั้นใน เป็นต้น ในกลุ่มผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองยังมี โอกาสเสี่ยงล้มในขณะที่เดิน จากการสำรวจที่ผ่านมาพบว่ามีผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ มีโอกาสเสี่ยงล้มอย่างมากภายหลัง 1 เดือน หลังจากที่มีพยาธิสภาพเกิดขึ้น

#### 2.1 กลุ่มโรคหลอดเลือดสมองและระบบการทรงตัว

##### 2.1.1 โรคหลอดเลือดสมอง

คือ โรคที่ถูกระบุให้ความหมายว่าเป็นโรคที่มีอาการเฉียบพลันมีความผิดปกติทางระบบ ประสาทเฉพาะที่ (Focal neurological deficit) ที่เกิดจากความผิดปกติของหลอดเลือดสมอง เช่น อาการขาดเลือด (Infarction) หรือการเลือดออกจากหลอดเลือดสมอง (hemorrhage) ในระบบ ประสาทส่วนกลาง โดยมีปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคหลอดเลือดสมองสูงคือ ภาวะความดันโลหิตสูงส่วนใหญ่ของโรค (ประมาณ 85%) เกิดจากการขาดเลือด โดยส่วนใหญ่เกิดจากหลอดเลือดขนาดเล็กตีบ แข็ง การอุดตันที่เกิดจากลิ่มเลือดหัวใจ และหลอดเลือดแดงใหญ่แข็ง ส่วนที่เหลือประมาณ 15% ของ โรคหลอดเลือดสมองเกิดจากการเลือดออกในสมองภายใน ซึ่งสามารถเกิดขึ้นในส่วนลึก เช่น เบซัล แกงเกลีย ก้านสมอง และส่วนของสมองน้อย (Murphy, S. J., & Werring, D. J., 2020)

##### 2.1.2 สาเหตุหรืออาการอื่นๆที่อาจส่งผลให้มีการเสี่ยงล้มในกลุ่มคนไข้หลอดเลือดสมอง มีด้วยกันหลายประการดังนี้

2.1.2.1 กล้ามเนื้ออ่อนแรง ฝ่อลีบ ล้าได้ง่าย และภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย (Muscle weakness, Atrophy, Fatigue, and sarcopenia)

2.1.2.2 จากงานวิจัยที่ผ่านของ Juan Li และคณะ (2019) มีรายงานว่าผู้ป่วยที่มี ภาวะโรคหลอดเลือดสมองมีจำนวนถึง 83% ที่มีปัญหาด้านการทรงตัว โดยระบบความไม่มั่นคงของ การทรงท่า (Postural instability) หรือการรักษาสสมดุลเกิดจากองค์ประกอบหลายอย่าง หลักการ โดยทั่วไปในการควบคุมการทรงตัว (Postural control) ต้องอาศัยการทำงานของระบบประสาท ส่วนกลาง (CNS) ส่งกระแสประสาทไปที่ไขสันหลังจากนั้นกระแสประสาทจะถูกส่งเข้าไปบริเวณ กล้ามเนื้อเป้าหมายที่ต้องการเคลื่อนไหว (Muscle activation) ผ่านระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นไปตามรูปแบบทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) จากนั้นร่างกายจะเก็บรวบรวมข้อมูลรวมถึง การรับรู้ความรู้สึก (Sensory) หรือการรับรู้เกี่ยวกับกิริยา (Proprioception) รวมถึงระบบประสาทการ มองเห็น หรือระบบสายตา (Visual system) และระบบการทรงตัว (Vestibular system) เป็นต้น ส่งข้อมูลกลับไปให้สมองเพื่อรับรู้ความรู้สึก รวมถึงรับข้อมูลและประมวลผล

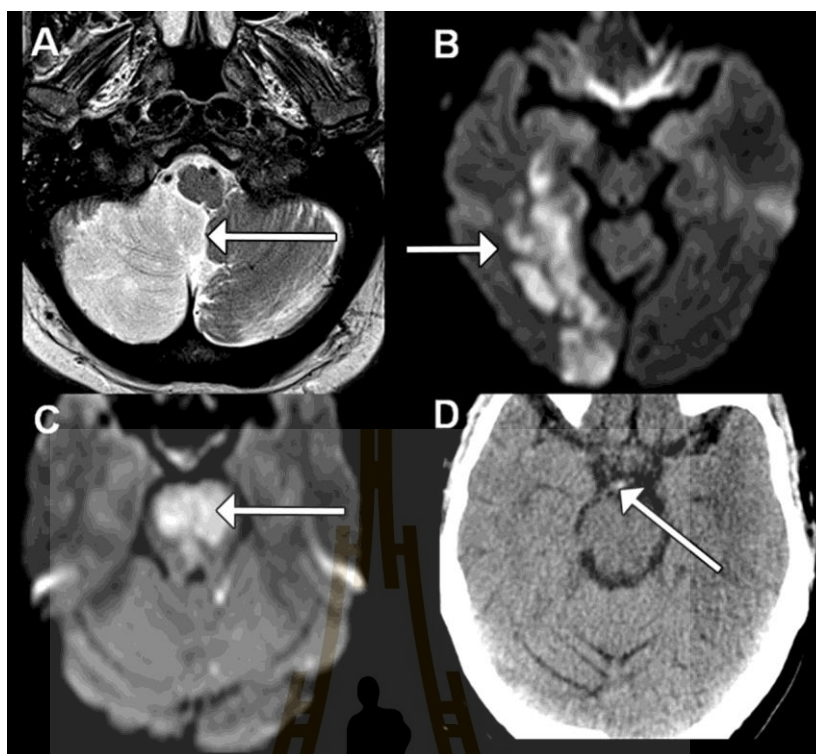
2.1.2.3 ความผิดปกติของระบบประสาทและสมองที่อาจเกิดขึ้นได้ กับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ดังนี้ (Bolognini, N., Russo, C., & Edwards, D. J., 2016)

- 1) ความผิดปกติของระบบประสาทรับความรู้สึกขาเข้า (Sensory afferent deficit) เช่น การรับรู้ตำแหน่งของข้อเท้าที่ผิดปกติ (impaired proprioception)
- 2) ระบบประสาทสั่งการควบคุมการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อผิดปกติ (impaired motor control system)
- 3) อาการเกร็งของกล้ามเนื้อ (spasticity)
- 4) ความผิดปกติของระบบประสาทควบคุมการทรงตัว (abnormal central and Peripheral vestibular system)
- 5) สายตาผิดปกติ (visual deficit)
- 6) ความผิดปกติของการประสานงานระหว่างระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (impaired coordination)
- 7) ความบกพร่องของการรู้คิด (impaired neurocognitive domains)

2.1.2.4 โรคประจำตัว เช่น ข้อเข่าเสื่อม ความผิดปกติของระดับเกลือแร่ในร่างกาย ความบกพร่องด้านความจำและการเรียนรู้ ภาวะหูโชนนาการ อาการปวดกล้ามเนื้อและข้อ ความยาวขา 2 ข้างไม่เท่ากัน เป็นต้น

### 2.1.3 ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ที่มีรอยโรคที่หลอดเลือดสมองส่วนหลัง (Posterior circulation)

อาจมีความผิดปกติของระบบประสาทควบคุมการทรงตัว ทำให้เป็นกลุ่มอาการผิดปกติแบบเฉียบพลันของระบบการทรงตัว (Acute Vestibular Syndrome, AVS) ประกอบด้วยอาการบ้านหมุน (Vertigo) คลื่นไส้ (Nausea) วิงเวียน (Dizziness) อาเจียน (Vomiting) ภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหว (Motion intolerance) และลักษณะการเดินที่ไม่มั่นคง (Gait instability) สามารถเกิดได้นานหลายวัน จนถึงหลายสัปดาห์ และจากการศึกษาแบบ Systematic review พบสาเหตุจากโรคระบบประสาทส่วนปลาย (Vestibular neuritis; ประมาณ 70%) และโรคหลอดเลือดสมอง (Posterior fossa ischemic stroke; ประมาณ 25%) ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีความผิดปกติดังกล่าว มักจะไม่พบความผิดปกติจากตรวจระบบประสาทอื่นๆ (No focal neurologic signs) พบได้ <20% (Kattah, J. C., Talkad, A. v., Wang, D. Z., Hsieh, Y. H., & Newman-Toker, D. E. (2009))



รูปที่ 2.1 ภาพตัวอย่างของ MRI ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลัง (Merwick, Á., and Werring, D., 2014).

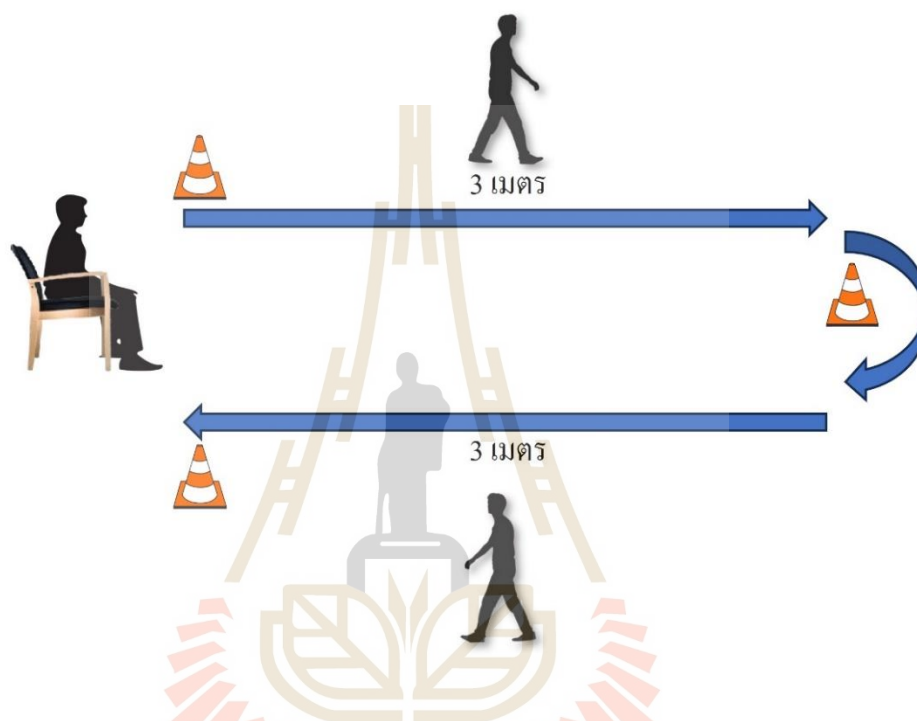
เมื่อมีความผิดปกติในบริเวณหลอดเลือดสมองส่วนหลังของสมอง จะเกิดความผิดปกติตามตำแหน่งที่เกิดโรค เช่น ที่ระบบการทรงตัว การรับรู้ความรู้สึก และการมองเห็นซึ่งมักพบอาการผิดปกติแบบเฉียบพลันของระบบการทรงตัวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะเฉียบพลัน และระยะกึ่งเฉียบพลัน ซึ่งเป็นระยะที่ระบบประสาทของผู้ป่วยยังไม่ทันปรับตัวหลังจากสมองขาดเลือด โดยการถ่ายภาพก๊อปปี้ในผู้ป่วยกลุ่มนี้จึงมีความจำเป็นต้องทำการฝึกเน้นฝึกระบบการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) เพื่อฟื้นฟูการเคลื่อนไหว และการทรงตัว เพื่อลดอาการดังกล่าว

## 2.2 แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะและการทดสอบการทรงตัว

### 2.2.1 การทดสอบการทรงตัว (Timed Up and Go Test, TUGT)

เป็นการทดสอบการทรงตัวในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงในการล้ม การทดสอบเริ่มจากให้ผู้ป่วยนั่งหลังพิงเก้าอี้และแขนวางบนที่วางแขน เวลาที่ถูกลงหน่วยเป็นวินาทีจะเริ่มเมื่อผู้ทำการทดสอบบอกว่า “เริ่ม” และผู้ทดสอบหลังออกจากพนักพิงโดยเดินไปด้านหน้าด้วยอัตราเร็วปกติ ระยะทาง 3 เมตร และทำการหมุนตัวหรือกลับตัวอ้อมกรวยและเดินตรงกลับมาอีก 3 เมตร เพื่อมานั่งที่เก้าอี้ตำแหน่งเดิม เวลาจะหยุดจากเมื่อผู้ป่วยนั่งเก้าอี้และหลังพิงพนักพิงเหมือนเดิม ผู้ป่วยสามารถใช้อุปกรณ์ช่วยเดินได้ โดยจำแนกความเสี่ยงในการล้มในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง เป็น 2 ระดับ

สำหรับ Timed Up and Go Test (TUGT) โดยจำแนกความเสี่ยงในการล้มในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเป็น 2 ระดับ 1. เสี่ยงต่อการล้มมาก เมื่อใช้เวลาทดสอบ มากกว่าหรือเท่ากับ 14 วินาที 2. เสี่ยงต่อการล้มน้อย เมื่อใช้เวลาทดสอบ น้อยกว่า 14 วินาที (Shumway-Cook, A. et. al., 2000) (Flansbjer, U. B. et. al., 2005) อย่างไรก็ตามเกณฑ์ประเมินมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ช่วงอายุ พยาธิสภาพ เป็นต้น



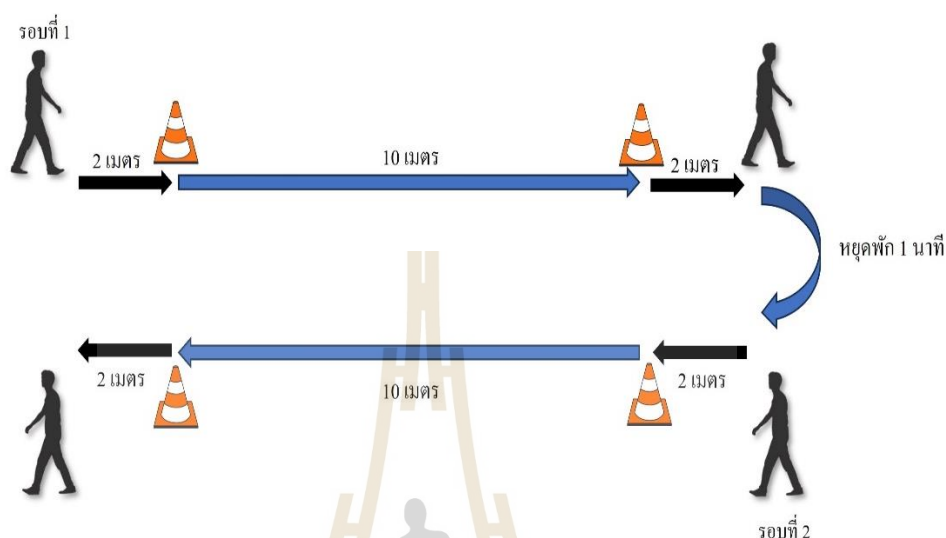
รูปที่ 2.2 การทดสอบการทรงตัว (Timed Up and Go Test, TUGT)

### 2.2.2 การทดสอบการเดิน 10 เมตร (10-meter walk test)

อ้างอิงจาก (Flansbjer et al., 2005) เป็นการทดสอบศักยภาพในการเดิน โดยมีการวัดผลเป็นอัตราเร็วที่ใช้ในการเดินเป็นหลัก รวมถึงสามารถช่วยดูความสามารถในการเดิน (Functional mobility) ลักษณะการเดิน (gait) และการทรงตัว (balance) โดยวิธีการทดสอบคือให้ผู้ป่วยเดินเป็นระยะทาง 10 เมตรโดยเวลาจะเริ่มจับเมื่อผู้ป่วยเดินถึงกรวยแรกซึ่งห่างจากจุดที่ผู้ป่วยยืนอยู่ 2 เมตร จากนั้นเดินต่อเป็นระยะทาง 10 เมตร เวลาจะหยุดเมื่อผู้ป่วยเดินถึงกรวยที่ 2 เมื่อเวลาหยุดจับแล้วผู้ป่วยเดินอีก 2 เมตร เป็นอันสิ้นสุดการทดสอบ โดยมีเกณฑ์ในการประเมินแบ่งเป็น 3 ระดับ (Fritz, S. et. al., 2009) ดังนี้

- 1) ผู้ป่วยสามารถเดินได้เพียงในบ้าน (Household Ambulator) อัตราเร็วที่ใช้้น้อยกว่า 0.40 เมตรต่อวินาที
- 2) ผู้ป่วยที่สามารถเดินในที่ชุมชนได้แต่ยังมีข้อจำกัดในบางกิจกรรม (Limited Community Ambulator) อัตราเร็วที่ใช้้อยู่ระหว่าง 0.40 ถึง 0.80 เมตรต่อวินาที

3) ผู้ป่วยที่สามารถเดินในที่ชุมชนได้ (Community Ambulator) อัตราเร็วที่ใช้มากกว่า 0.8 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 2.3 การทดสอบการเดิน 10 เมตร (10-meter walk test, 10mWT)

### 2.2.3 Dynamic gait index (Jonsdottir J, et. al., 2007)

ใช้ประเมินความสามารถในการทรงตัวของผู้ป่วยขณะเดิน รวมถึงมีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม คำสั่งหรือปัจจัยต่างๆ เป็นการทดสอบที่สามารถใช้ได้ในการประเมินการทรงตัว (Vestibular problem) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผู้ป่วยเสียงล้มหรือเกิดอุบัติเหตุได้ การให้คะแนนจะแบ่งเป็น 4 ระดับ โดยมีคะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 3 โดยมีแบบทดสอบทั้งหมด 8 วิธี โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- 1) การเดินตรงเป็นระยะทาง 20 ฟุต หรือประมาณ 6 เมตร
- 2) การเดินด้วยอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน
- 3) การหันศีรษะขวาและซ้ายขณะเดิน
- 4) การเงยและก้มศีรษะขณะเดิน
- 5) การเดินกลับตัวและหยุดในเวลา 3 วินาที
- 6) การเดินข้ามสิ่งกีดขวาง
- 7) การเดินวนรอบสิ่งกีดขวาง
- 8) การก้าวขึ้นและลงบันได

เมื่อทำการทดสอบ ทั้ง 8 หัวข้อ คะแนนเต็มแต่ละหัวข้อเท่ากับ 3 แล้ว คะแนนเต็มของการทดสอบนี้เท่ากับ 24 เกณฑ์การประเมินที่ใช้ คือผู้ป่วยที่มีคะแนนน้อยกว่า 19 ประเมินว่ามี

ความเสี่ยงในการล้ม และผู้ที่มีคะแนนมากกว่า 22 คะแนน คือผู้ที่มีความปลอดภัยในการเดินและเสี่ยงล้มต่ำ

## 2.2.4 แบบประเมินอาการเวียนศีรษะ (Dizziness handicap inventory)

แบบประเมินที่ใช้ประเมินผลกระทบหรือปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากอาการเวียนศีรษะหรืออาการโคลงเคลง ทรงตัวได้ไม่มั่นคง ใช้ Dizziness Handicap Inventory-Thai version ในการประเมินอาการเวียนศีรษะของผู้ป่วย โดย Dizziness Handicap Inventory-Thai version นี้ได้อ้างอิงจากงานวิจัยของ (Emasithi A et. al., 2022) ซึ่งได้ทดลองศึกษาในผู้ป่วย vestibular dysfunction 28 ราย ที่ได้รับการทำกายภาพบำบัด แบบ vestibular rehabilitation นาน 6-8 สัปดาห์ พบ Cronbach's alpha สำหรับคะแนนรวม (0.87) และคะแนนหมวดย่อย (0.70 physical, 0.73 emotional, and 0.71 functional) test-retest reliability ที่สูง (ICC = 0.91 - 0.97,  $p < 0.001$ ) คะแนน cut-off สำหรับอาการเวียนศีรษะ (dizziness) เท่ากับ 21 คะแนน (98% sensitivity, 94% specificity) สามารถจำแนกผู้ป่วยที่รู้สึกว่ามีอาการเวียนที่ลดลง เทียบกับผู้ป่วยที่รู้สึกว่ามีมากขึ้นได้ (AUC = 0.87) และค่า MCID เท่ากับ 17 คะแนน (82.0% sensitivity, 82.0% specificity)

## 2.3 คลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography, EEG)

การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography หรือ EEG) เป็นวิธีการตรวจที่ไม่มี การรุกรานเข้าไปภายในร่างกายและเป็นวิธีการที่ใช้ในการประเมินด้านประสาทสรีรวิทยาของสมอง การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นการวัดกิจกรรมทางไฟฟ้าของกลุ่มของเซลล์ประสาทจำนวนมาก โดยใช้ อิเล็กโทรดที่วางอยู่บนหนังศีรษะ (Light GA et. al., 2010) โดยสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ประกอบด้วยคลื่นภายในย่านความถี่ 0-60 เฮิร์ตซ์ กิจกรรมของสมอง (brain activity) ที่มีความแตกต่างกันสามารถระบุสถานะได้ตามความถี่ที่แยกออกมาในแต่ละช่วงดังนี้

1) คลื่นเดลต้า (ต่ำกว่า 4 เฮิร์ตซ์) เกี่ยวข้องกับการนอนหลับลึกเป็นช่วงคลื่นที่มีแอมพลิจูดสูง และความถี่ต่ำ โดยสามารถพบได้ในผู้ป่วยวิกฤตหรือผู้ป่วยที่มีภาวะหมดสติระดับรุนแรง

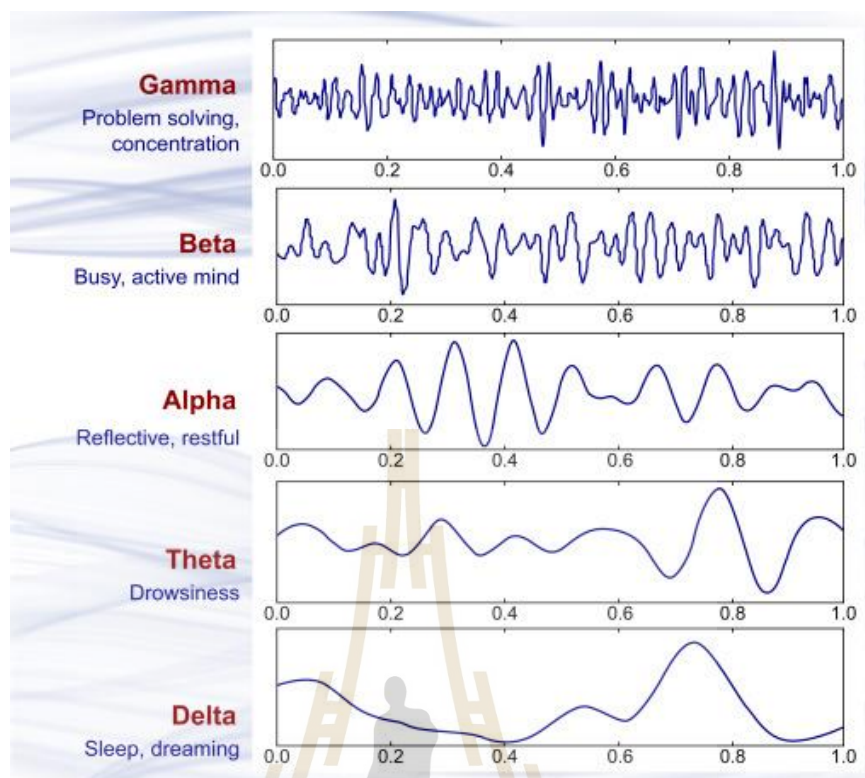
2) คลื่นซีตา (4-7 เฮิร์ตซ์) เกี่ยวข้องกับการฝันและความทรงจำในอดีต และยังสามารถเชื่อมโยงกับภาวะวิตกกังวล (Anxiety) อาการชัก (Epilepsy) การบาดเจ็บของสมอง (Traumatic brain injury) และกระบวนการพุทธิปัญญา (cognitive processing)

3) คลื่นอัลฟา (8-13 เฮิร์ตซ์) เกี่ยวข้องกับความรู้สึกผ่อนคลายโดยที่ความถี่ในช่วงนี้ถูกบันทึก บริเวณสมองส่วนหลัง (Occipital brain zone) โดยที่ช่วงคลื่นอัลฟาจะระหว่าง 10-50 มิลลิโวลต์ และในช่วงความถี่ (8-12 เฮิร์ตซ์) ถูกเรียกว่า sensorimotor rhythm (Mu) ซึ่งสัมพันธ์กับสมองบริเวณ การรับรู้ความรู้สึกและการสั่งการ เกี่ยวข้องกับความตั้งใจ หรือการเตรียมตัวสำหรับการเคลื่อนไหวและใช้ในการจินตนาการการเคลื่อนไหว

4) คลื่นเบต้า (13-30 เฮิร์ตซ์) เกี่ยวข้องกับการเตรียมพร้อม ความตื่นตัว สมาธิและความสนใจ คลื่นเบต้ามีความเร็วแต่แอมพลิจูดต่ำ

5) คลื่นแกมมา (30-50 เฮิร์ตซ์) เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางจิต การแก้ปัญหาและความคิดสร้างสรรค์





รูปที่ 2.4 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองประกอบด้วยคลื่นภายในแต่ละย่านความถี่ (Abhang, P. A., Gawali, B. W., & Mehrotra, S. C., 2016).

จากงานวิจัยของ Foreman, B. และคณะ (2012) อธิบายว่าการทำงานของสมองสามารถตรวจจับได้ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองโดยสามารถแบ่งตามความถี่ของคลื่นได้ ดังนี้ ความถี่ต่ำจะเป็นประเภทเดลต้า (Delta) อยู่ที่ 0.5-3 เฮิร์ตซ์ และ ธีต้า (Theta) อยู่ที่ 4-7 เฮิร์ตซ์ ที่ถูกสร้างขึ้นจากทาลามัสและเซลล์ชั้น 2-4 ของบริเวณคอร์เทกซ์ (Cortex) และความถี่สูงกว่าเป็นประเภท อัลฟา (Alpha) อยู่ที่ 8-12 เฮิร์ตซ์ ที่ถูกสร้างมาจากเซลล์ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ของคอร์เทกซ์ ความถี่เบต้า (Beta) อยู่ที่ 13-30 เฮิร์ตซ์ และ แกมมา (Gamma) อยู่ที่มากกว่า 30 เฮิร์ตซ์ โดยที่ความถี่ทั้งหมดถูกควบคุมโดยระบบการคัดกรองความสนใจของสมอง (Reticular activating system) ที่สามารถตรวจจับได้ผ่านการใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งเซลล์ประสาทชนิดพีระมิด (Pyramidal neurons) ที่พบในชั้น III, V และ VI คือ มีความไวต่อสภาวะออกซิเจนต่ำ เช่น ภาวะขาดเลือดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติหลายอย่างในรูปแบบที่เห็นในการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง จากเหตุผลดังกล่าวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง พยาธิสภาพของโรคนี้ทำให้เกิดการขาดการเลี้ยงของเลือดและออกซิเจนซึ่งทำให้มีผลต่อคลื่นไฟฟ้าสมอง และการทำงานของระบบประสาท

การศึกษาของ Vatinno, A. และคณะ (2022) ที่ผ่านมาได้ศึกษาผลการพยากรณ์การดำเนินโรคของการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง ในผลลัพธ์หลังโรคหลอดเลือดสมองในช่วง 10 ปี พบหลักฐานการพยากรณ์ทั้งในระยะเฉียบพลันและเรื้อรังหลังโรคหลอดเลือดสมองด้วยเวลาเฉลี่ยตั้งแต่มีอาการหรือ

ตรวจพบพยาธิสภาพที่สมองจนถึง 8 ปี ความสามารถในการพยากรณ์โรคที่มีการศึกษามากที่สุดของการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง คือพยากรณ์การดำเนินโรคและศึกษาเพื่อจัดระบบการดูแลผู้ป่วยในแต่ละระดับความรุนแรงของโรคหลอดเลือดสมองเฉียบพลันและกึ่งเฉียบพลัน การศึกษาเหล่านี้ยังได้รับการสนับสนุนโดยมีความเกี่ยวข้องกันสูงระหว่าง การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง และ การวัดระดับของสารชนิดต่างๆ ในเนื้อเยื่อของร่างกาย (Magnetic resonance spectroscopy, MRS) หรือ ระหว่างการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองและ การประเมิน NIHSS (National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS) ที่พบใน meta analysis นอกจากนี้ยังมีหลักฐานว่าการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง ช่วยเพิ่มความสามารถในการประเมินข้อมูลพื้นฐานในทางคลินิกได้ ด้วยความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองคาดว่าจะถูกพัฒนาต่อไป ซึ่งในอนาคต การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองอาจแสดงให้เห็นศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์โรค รวมถึงการจัดการในทางคลินิกเพื่อให้ได้มาตรฐานในการจำแนกวิธีการพยากรณ์โรคหลอดเลือดสมองด้วยวิธีที่ดีและแม่นยำเพิ่มขึ้น

งานวิจัยของ Kai Yuan และคณะ (2021) ศึกษาผลการฝึกผ่านระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain computer interface หรือ BCI) ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเรื้อรังสำหรับผลด้านการทำงานประสานสัมพันธ์กันของกล้ามเนื้อและระบบการจัดการของสมองโดยใช้การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและ การถ่ายภาพด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (fMRI)

1) พบว่ามีผลการเพิ่มของการทำงานของกล้ามเนื้ออย่างมีนัยยะสำคัญหลังจากการบำบัดด้วยการฝึกผ่านระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์

2) ผลการฝึกมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติกับการเชื่อมโยงการทำงานของระบบประสาทส่วนต่าง ๆ (Ipsilesional M1 (iM1) และ Contralateral Brodmann area 6)

3) นอกจากนั้นผลการฝึกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจากส่วนอื่นๆ (cPMA (Premotor area) ถึง iM1 และ SMA (Supplementary motor area) ถึง iM1) จากการวัดด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง

4) ความสอดคล้องของผลลัพธ์การถ่ายภาพด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (fMRI) และ คลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) ที่แสดงโดยความสัมพันธ์สามารถแสดงผลระหว่างการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมโยงกันทางหน้าที่ของระบบประสาท (Functional connectivity) และการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภายในสมอง (Information flow change)

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของสมองหลังจากที่ได้รับการฝึกระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ (BCI) ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเรื้อรังและยังทำให้เข้าใจกลไกของระบบประสาทที่ทำงานเชื่อมต่อกันระหว่างการสั่งงานของสมองและกล้ามเนื้อด้วย นอกจากนี้ทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง และ การถ่ายภาพด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (fMRI) ในการดูผลของการเปลี่ยนแปลงของสมอง (Neuroplasticity)

งานวิจัยของ Li-Ling Hope Pan และคณะ (2018) ศึกษาเรื่องผลของการกระตุ้นกล้ามเนื้อ ร่วมกับการฟื้นฟูการทำงานของกล้ามเนื้อโดยวัดการทำงานของคลื่นไฟฟ้าสมองและคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อรวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมองและกล้ามเนื้อ ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองจำนวน 12 ราย พบว่าในกลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกกล้ามเนื้อ มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญของ corticomuscular coherence (CMC) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการฝึกมือ

อย่างเดียว จากการประเมินผ่านแบบประเมิน Fugl-Meyer Assessment (FMA) พบว่ามีเพียงกลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมด้วย ที่มีค่าของคะแนนที่เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยนี้อาจแสดงให้เห็นว่า การฝึกกล้ามเนื้อมือร่วมกับการ กระตุ้นไฟฟ้าอาจมีผลดีกว่าในแง่การทำงานร่วมกันของสมองและกล้ามเนื้อ

## 2.4 การฟื้นฟูการทรงตัวและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Vestibular rehabilitation)

งานวิจัยของ Elhamrawy และคณะ (2021) ได้ทดลองฝึกการฟื้นฟูการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีภาวะละเลยข้างเดียว (Hemineglect) โดยกลุ่มทดลอง (n=16) ฝึกกายภาพบำบัดรอบละ 60 นาที (กายภาพบำบัดแบบมาตรฐาน 40 นาที และ vestibular rehabilitation จำนวน 20 นาที) จำนวน 4 ครั้งต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 4 สัปดาห์ และมีการฝึกต่อด้วยการทำกายภาพบำบัดแบบมาตรฐาน 60 นาที จำนวน 4 ครั้งต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 4 สัปดาห์ เทียบกับกลุ่มควบคุม (n=16) ที่ไม่ได้ฝึกการฟื้นฟูการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) แต่ได้รับการทำกายภาพบำบัดแบบมาตรฐาน 60 นาที จำนวน 4 ครั้งต่อสัปดาห์ นาน 8 สัปดาห์ วัดผลโดยการวิเคราะห์การเดิน (ระบบกล้อง Microsoft Kinect V2) พบว่ากลุ่มที่ได้ฝึกการฟื้นฟูการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) เดินเร็วขึ้น มีจำนวนก้าวและระยะก้าวมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

งานวิจัยของ Ekvall Hansson และคณะ (2020) ได้ทดลองฝึกการฟื้นฟูการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีภาวะวิงเวียน (Dizziness) โดยกลุ่มทดลอง (n=12 ; แกร็บ n=19 ต่อมา dropout 7) ทำกายภาพบำบัดแบบมาตรฐานร่วมกับการฟื้นฟูการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) ในครั้งเดียวกัน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ นาน 3 เดือน กลุ่มควบคุม (n=10; แกร็บ n= 13 ต่อมา dropout 3) ทำกายภาพบำบัดแบบมาตรฐาน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ นาน 3 เดือน วัดผลการทดลอง (Activities-specific Balance Confidence (ABC) Scale, Berg Balance Scale, Functional Gait Assessment (FGA), EuroQol 5 Dimension index (EQ5D index), EuroQol 5 Dimension Visual Analogue Scale (EQ5D VAS)) พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้วิจัยได้แสดงความเห็นเกี่ยวกับผลนี้ว่า ในงานวิจัยนี้ จำนวนอาสาสมัครน้อย จึงอาจทำให้ไม่เห็นความแตกต่าง และด้านการศึกษาความเป็นไปได้ (feasibility) พบมีการออกกลางคัน (dropout) มาก นอกจากนี้เป็นที่สังเกตว่า ผู้วิจัยไม่ได้ให้รายละเอียดของรอยโรคจากการเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ หรือการถ่ายภาพด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (CT/MRI) และไม่ได้ระบุเวลาที่ใช้ในแต่ละครั้งในการฝึก

งานวิจัยของ Mitsutake และคณะ (2020) ทำการศึกษาแบบการปริทัศน์เป็นระบบ (Systematic review) เกี่ยวกับการฝึก Vestibular rehabilitation ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง

จากงานวิจัยของ Balci และคณะ (2013) ศึกษาผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังระยะเฉียบพลัน เปรียบเทียบกลุ่มการฟื้นฟูระบบการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) (n=6) กับกลุ่มออกกำลังกายเองที่บ้าน (Home exercise) (n=13) โดยทั้ง 2 กลุ่มที่ได้ รับการฝึก 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ นาน 6 สัปดาห์ พบว่าการทดสอบการทรงตัว (Berg Balance Scale (BBS), Time Up and Go (TUG), Dizziness Handicap Inventory (DHI), Dynamic Gait Index (DGI)) ดีขึ้นในทั้ง 2 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีผลที่ดีขึ้นใกล้เคียงกัน

ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการฟื้นฟูระบบการทรงตัวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลัน (Mitsutake et al., 2017) เปรียบเทียบกลุ่มอาสาสมัครที่ได้รับ การฟื้นฟูระบบการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) (n=14) กับกลุ่มที่ได้รับการฟื้นฟูแบบดั้งเดิม (Conventional rehabilitation) (n=14) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเกี่ยวกับผลการทดสอบการเดินและการทรงตัว (10-meter walk test และ timed up and go test)

งานวิจัยของ Tramontano และคณะ (2018) ศึกษาผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะก่อน 6 เดือน เปรียบเทียบกลุ่มที่ได้รับการฟื้นฟูระบบการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) (n=13) กับกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบทั่วไป (Conventional rehabilitation) (n=12) โดยทั้ง 2 กลุ่มที่ได้ รับการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์ พบว่า 10-meter walk test ไม่ดีขึ้นในทั้ง 2 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญ

## 2.5 ระบบการฟื้นฟูทางไกล

โทรเวชกรรม (Telemedicine) ให้ความหมายโดยทั่วไปว่าเป็นการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนระบบสุขภาพโดยเฉพาะกรณีผู้รับการรักษาอยู่ห่างจากสถานพยาบาล การฟื้นฟูทางไกลเกิดขึ้นในช่วงปี 1990 จากนั้นมาก็เริ่มมีการฟื้นฟูทางไกลมากขึ้นจนถึงปัจจุบันซึ่งใช้ในการฟื้นฟูโรคหลอดเลือดสมอง โดยเน้นการฝึกกล้ามเนื้อ การเคลื่อนไหว การสื่อสาร บำบัดภาวะซึมเศร้า และปัจจัยอื่น ๆ (Duncan, P. W. et al., 2021).

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคโนโลยี เช่น โทรศัพท์ หรือ อินเทอร์เน็ต เพื่อช่วยให้ผู้รับบริการสื่อสารกับผู้เชี่ยวชาญด้านการแพทย์โดยอยู่ที่พักอาศัยของตน วิธีนี้เรียกว่า การฟื้นฟูสมรรถภาพทางไกล (Telerehabilitation) ซึ่งอาจเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดกว่าในการให้บริการฟื้นฟูสมรรถภาพ การฟื้นฟูสมรรถภาพทางไกลอาจถูกใช้เพื่อปรับปรุงผลการรักษาที่หลากหลายให้ดีขึ้น รวมถึงสมรรถภาพด้านกายภาพและอารมณ์

จากงานวิจัยของ Annie J Hill และคณะ (2018) ศึกษาการรักษาทางไกลในกลุ่มที่มีภาวะอะเฟเซีย (Aphasia) หรือภาวะเสียการสื่อความ เป้าหมาย การศึกษาเฟส 1 และ 2 นี้มีเป้าหมายที่จะสำรวจความเป็นไปได้ทางคลินิกในการให้การฝึกฟื้นฟูผ่านทาง eSALT และศึกษาปัจจัยที่ขัดขวางและปัจจัยส่งเสริมในกระบวนการนำเข้าสู่ระบบการฟื้นฟูผ่านโทรคลินิกแบบไม่ต้องพบตัวนี้ วิธีการ ผู้ร่วมการศึกษาในการสำรวจความเป็นไปได้นี้ประกอบด้วยบุคคลที่มีภาวะเสียการสื่อความ (ผู้ชาย 4 ราย ผู้หญิง 4 ราย; อายุเฉลี่ย 68.5 ปี เวลาที่ผ่านมาหลังการเกิดโรคหลอดเลือดสมองเฉลี่ย 7.5 ปี) และมีผู้เชี่ยวชาญเข้าร่วมในการศึกษาเพื่อสำรวจความเป็นไปได้นี้ บุคคลที่มีภาวะเสียการสื่อความจะได้รับการประเมินตามแบบประเมินของการวินิจฉัยภาวะการเสื่อมของภาษาและคุณภาพชีวิตก่อนและหลังการทำฝึกเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ นักวิชาการใช้ eSALT เพื่อปรับแต่งการฝึกฟื้นฟูสำหรับแต่ละผู้เข้าร่วม จากนั้นการฝึกจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์เคลื่อนที่ของผู้เข้าร่วมเพื่อให้ผู้เข้าร่วมสามารถเข้าถึงได้ ข้อมูลจากงานฝึกจะถูกส่งกลับมายังนักวิชาการโดยอัตโนมัติ ซึ่งนักวิชาการสามารถดูแลและติดตามความคืบหน้าในการฝึกฟื้นฟูของผู้เข้าร่วมระหว่างระยะเวลา 4 สัปดาห์ผ่านทางไคต์ไลน์ และสามารถทำการเปลี่ยนแปลงงานฝึกตามความต้องการได้ แต่ละบุคคลที่มีภาวะเสียการสื่อความได้ทำแบบสำรวจความพึงพอใจ และนักวิชาการได้รับการสัมภาษณ์เกี่ยวกับประสบการณ์ของพวกเขาในการใช้ eSALT การวิเคราะห์ของการศึกษาเพื่อสำรวจความเป็นไปได้นี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์สถิติ

ระดับกลุ่มที่ไม่เป็นพารามิเตอร์และการตรวจสอบผลลัพธ์บุคคลแต่ละรายบุคคล การศึกษาเฟส 1 และ 2 นี้เปิดเผยว่าบางบุคคลที่มีภาวะเสียการสื่อความอาจได้รับประโยชน์จากการฝึกฟื้นฟูผ่านทางการฟื้นฟูทางไกลที่ควบคุมดูแลโดยผู้เชี่ยวชาญ ทั้งผู้ที่มีภาวะเสียการสื่อความและผู้ที่เป็ นนักวิชาการทางการแพทย์มีความพึงพอใจสูงต่อการรักษาที่ให้ผ่านระบบนี้ (eSALT) และรู้สึกว่ ่าแบบจำลองการฟื้นฟูนี้มีประโยชน์ มีความสามารถปรับให้เหมาะสมกับผู้ป่วยส่งเสริมให้การฝึกเกิด ประสิทธิภาพ

ในช่วงของการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 มีการศึกษาเกี่ยวกับการรักษาผ่านระบบการ ฟื้นฟูทางไกลเพิ่มมากขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมา Harrell และคณะ (2022) ได้มีการศึกษาการรักษา ผ่านระบบทางไกลด้วยวิธีการสำรวจความเห็นของบุคลากรทางการแพทย์ที่มีความเกี่ยวกับการรักษา ในประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้น ข้อดี ข้อเสีย และสิ่งที่ควรพิจารณา โดยแบบสำรวจแบ่งออกเป็นข้อมูล ทั่วไป สิ่งที่ประทับใจในระบบการรักษา ความสะดวกและเหมาะสมในการรักษาของนักกายภาพบำบัด สิ่งที่เป็ นปัญหาและพบได้บ่อยขณะใช้ระบบการฟื้นฟูทางไกล จากการสำรวจทั้ง 159 ฉบับ พบว่า 80% ของนักกายภาพบำบัดพอใจในระบบนี้ จากการสอบถามนักกายภาพบำบัด พบว่า 68% เห็น ด้วกับการรักษาด้วยระบบนี้เมื่อเทียบผลทางคลินิกกับรูปแบบปกติ มากกว่า 50% รู้สึกสบายใจกับ วิธีการรักษาในระบบนี้ โดยอุปสรรคที่พบได้ มักเป็นการที่ในกรณีผู้ป่วยไม่มีผู้ดูแลอยู่ด้วย ซึ่งทำให้ ผู้ตรวจมีความกังวลในการทดสอบการทรงตัวได้ ซึ่งอุปสรรคด้านความปลอดภัยนี้ยังคงต้องคำนึงถึงอยู่ ตลอด อย่างไรก็ตามการรักษาด้วยระบบการฟื้นฟูทางไกลยังคงถูกพัฒนาให้ใกล้เคียงกับการรักษาใน รูปแบบปกติต่อไป

จากงานวิจัยของ Aldawsary N. และคณะ (2023) มีการศึกษาผลของการออกกำลังด้วยวิธี ฝึกความมั่นคงของสายตาและการฝึกการทรงตัวโดยใช้ระบบการฟื้นฟูทางไกล ในผู้ป่วยที่มีปัญหา เกี่ยวกับระบบการทรงตัว ช่วงที่เกิดการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยให้อาสาสมัครที่มี ปัญหาระบบการทรงตัวจำนวน 10 ราย อายุ 25-60 ปี เข้ารับการฝึกด้วยการเพิ่มความมั่นคงในการ มองเห็น และการฝึกการทรงตัว ทั้งหมด 4 สัปดาห์ด้วยระบบการฟื้นฟูทางไกล โดยแบบประเมินที่ใช้ คือ แบบประเมินระดับความมั่นใจในการทรงตัวเวอร์ชันอาหารับ (Activities Specific Balance Confidence scale, A-ABC) การทดสอบการทรงตัว (Berg balance scale, BBS) และแบบประเมิน อาการวิงเวียนศีรษะเวอร์ชันอาหารับ (Dizziness Handicap Inventory, A-DHI) ผลลัพธ์จากการฝึก พบว่า คะแนนการทดสอบการทรงตัว (BBS) และแบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะเวอร์ชันอาหารับ (A-DHI) อยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้นจากก่อนการฝึก แต่คะแนนแบบประเมินระดับความมั่นใจในการทรง ด้วเวอร์ชันอาหารับ (A-ABC) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

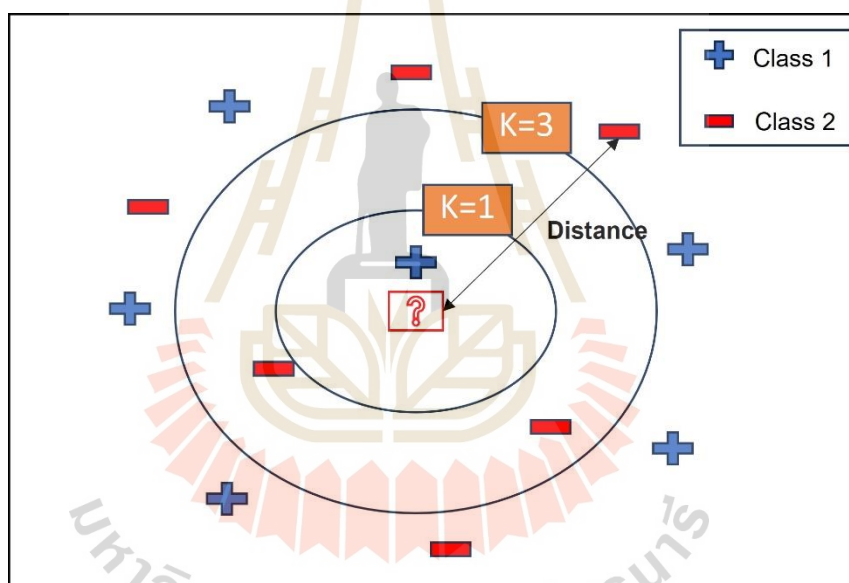
## 2.6 ปัญญาประดิษฐ์

ปัญญาประดิษฐ์เป็นสาขาของวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลทางการแพทย์ ที่ซับซ้อนได้ โดยใช้ความสามารถที่มีเพื่อพัฒนาศักยภาพในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ภายในชุด ข้อมูล และยังสามารถนำมาใช้ในการวินิจฉัยโรค การรักษา และการพยากรณ์ผลลัพธ์ในสถานการณ์ ทางคลินิกหลาย ๆ สถานการณ์ได้ (AN Ramesh et al., 2004) โดยประเภทหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ คือการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) โดยปกติแล้วมีการจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) และการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) จากงานวิจัยที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันนักวิจัยมีการนำการเรียนรู้ด้วยเครื่องมาใช้ในการช่วยสำหรับการตรวจและการวินิจฉัยโรคของแพทย์ มีการนำมาใช้ร่วมกับการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองเพื่อดูผลการประเมินและความแม่นยำในการทำนายโรคสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง (Swati Aggarwal et al., 2022)

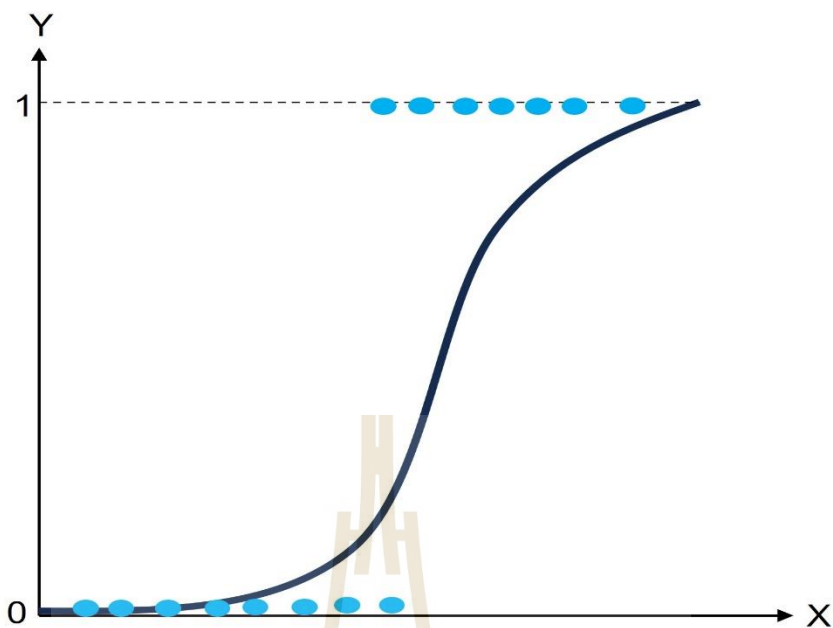
### 2.6.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning)

1) เพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดเค (K-Nearest Neighbors, KNN) คือ วิธีประเภทหนึ่งของการเรียนรู้แบบมีผู้สอนที่ใช้สำหรับการทำนายหรือการจำแนกโดยที่โมเดลพยายามหากลุ่มที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลที่สนใจ โดยมีการวัดระยะทางตามวิธีระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean distance) จากนั้นจะมีการหาจำนวนเค (k) ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการจำแนกกลุ่มเป้าหมายให้อยู่ในกลุ่มที่ใกล้เคียงที่สุด (W. A. Chaovalitwongse, F. Ya-Ju, and R. C. Sachdeo, 2007)



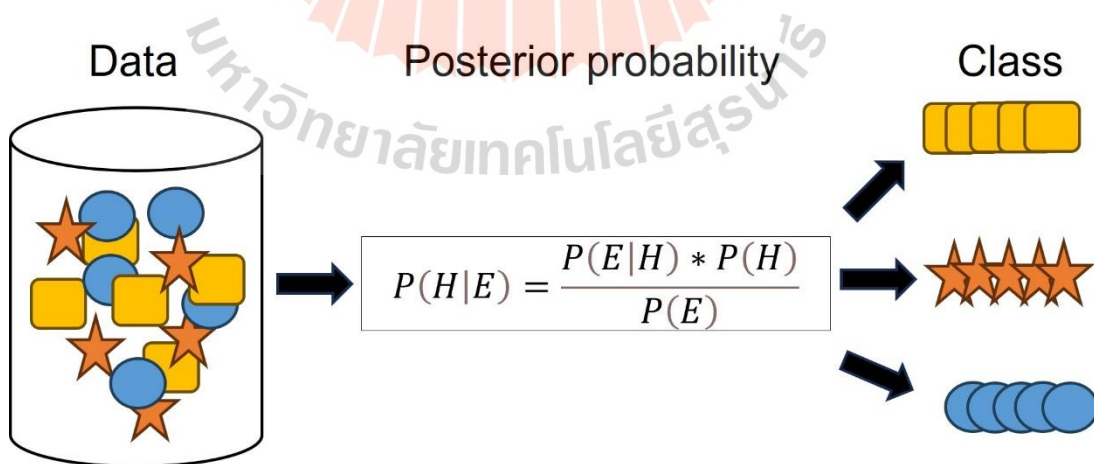
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของโมเดล KNN

2) LR (Logistic regression) คือ โมเดลที่สามารถใช้ในการแบ่งคลาสได้ โดยลักษณะกราฟจะเป็นรูปแบบ S-shape หรือ สมการ sigmoid function ผลลัพธ์ที่ได้จะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส เช่น เดินดีกับเดินไม่ดี เสี่ยงล้มสูงกับเสี่ยงล้มต่ำ เป็นต้น โดยผลลัพธ์จะได้เป็นค่า 0 และ 1 (C.-Y. Peng, K. Lee, and G. Ingersoll, 2002) ดังรูป



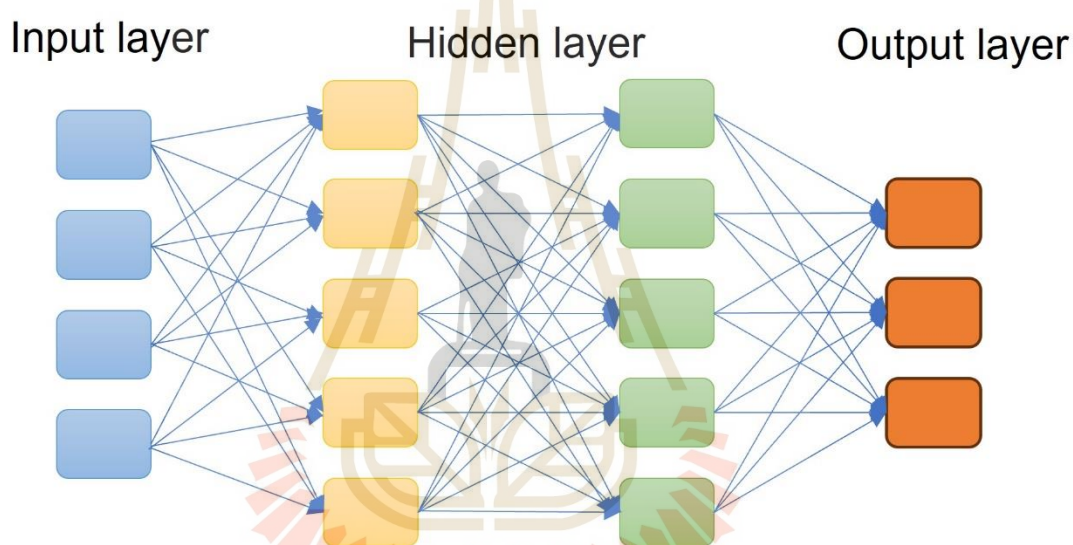
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างของโมเดล logistic regression

3. นาอิว เบย์ (Naive Bayes, NB) (Ren, J., et. al., 2009) คือ โมเดลพื้นฐานที่สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้เพื่อวิเคราะห์ถดถอยหรือจำแนกกลุ่มโดยอาศัยการใช้ทฤษฎีของเบย์ (Bayes theory) ที่อาศัยหลักการความน่าจะเป็นในการคำนวณ โดยอ้างอิงจากสมการดังรูปที่ 2.7 โดยที่เหมาะกับคุณลักษณะ (Attribute) ของข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 2.7 สมการความน่าจะเป็นที่ใช้ใน Naïve Bayes

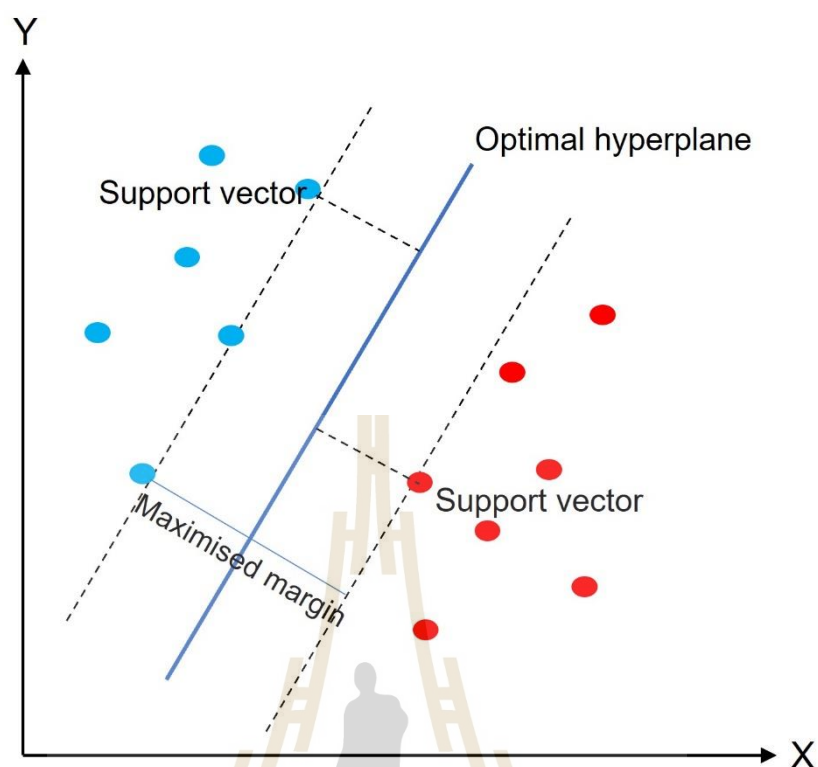
4) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) (Zou, J., et. al, 2008) เป็นโมเดลที่ได้แนวคิดมาจากการทำงานระบบประสาทของมนุษย์ โดยในสมองของมนุษย์จะประกอบไปด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) ที่เชื่อมต่อกันจำนวนมาก ซึ่งจะมีการทำงานเป็นส่วนๆ เช่น ตัวรับข้อมูล (Input) คือ เดรนไดรต์ (Dendrite) ตัวประมวลผลเบื้องต้น คือ โซมา (Soma) และส่วนที่ส่งกระแสประสาทออก (Output) คือ แอกซอน (Axon) โดยมีส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างเซลล์ประสาทจะเกิดการไซแนปส์ หรือเป็นการสื่อสารระหว่างเซลล์ประสาทอื่นๆในสมอง โดย ANN จะแบ่งเป็นชั้นๆ หรือเรียกว่า layer โดยชั้นแรก คือ input layer ซึ่งมีหน้าที่ในการรับข้อมูลเข้ามา จากนั้นจะส่งไปยังชั้น hidden layer ซึ่งจะมีกี่ชั้นก็ได้ ซึ่งอาจส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการเรียนรู้เพิ่มขึ้น และชั้นสุดท้าย คือ output layer ดังรูป



รูปที่ 2.8 รูปแบบของโมเดล ANN

5) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines, SVM) คือ รูปแบบย่อยของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน โมเดลนี้ใช้ในการจำแนกข้อมูล หรือวิเคราะห์ถดถอย (Regression analysis) โดยใช้เส้นตรงในการแบ่งกลุ่มข้อมูล (Hyperplane) และหาเส้นที่เหมาะสมที่สุด สามารถจำแนกข้อมูลที่มีหลายมิติได้ นอกจากนั้นยังมีการใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel function) เพื่อจำแนกข้อมูลที่มีความคลุมเครือได้เนื่องจากในบางครั้งไม่สามารถใช้เส้นตรงในการดำเนินการได้ ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบเคอร์เนล (1. polynomial 2. radial basis function (RBF) และ 3. sigmoid) หลักการของ SVM โดยหา hyperplane ที่แบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม ด้วยระยะที่ห่างมากที่สุด (Maximum margin) โดยยังคงความถูกต้องในการแบ่งชุดข้อมูลให้ได้มากที่สุด (Noble W. S., 2006) (Hosseini, M. P., et. al., 2021)





รูปที่ 2.9 ตัวอย่างสำหรับโมเดล SVM

## 2.6.2 รูปแบบการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองคอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion matrix)

ตารางที่ 2.1 คอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion matrix)

	Actually Positive	Actually Negative
Predicted Positive	True Positive (TP)	False Positive (FP)
Predicted Negative	False Negative (FN)	True Negative (TN)

1) True Positive (TP) คือ โปรแกรมทำนายว่าจริงตรงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง เช่น โปรแกรมทำนายว่าเดินดี และผลทางคลินิกผู้ป่วยเดินดี

2) True Negative (TN) คือ โปรแกรมทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เช่น โปรแกรมทำนายว่าเดินไม่ดี และผลทางคลินิกเดินได้ไม่ดี

3) False Positive (FP) คือ โปรแกรมทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เช่น โปรแกรมทำนายว่าเดินดี แต่ผลทางคลินิกผู้ป่วยเดินได้ไม่ดี

4) False Negative (FN) คือ โปรแกรมทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง เช่น โปรแกรมทำนายว่าเดินไม่ดี แต่ผลทางคลินิกเดินดี

### 2.6.3 ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพของโมเดล

1) ค่าความถูกต้อง (Accuracy) คือ ค่าความสามารถของโมเดลที่สามารถจำแนกข้อมูลได้อย่างถูกต้องเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมด ดังสมการที่ 2.1

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2.1)$$

2) ค่าความแม่นยำ (Precision) คือ ค่าความสามารถของโมเดลในการทำนายกลุ่มเป้าหมายได้อย่างถูกต้องเทียบกับผลรวมของ TP และ FP ดังสมการที่ 2.2

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2.2)$$

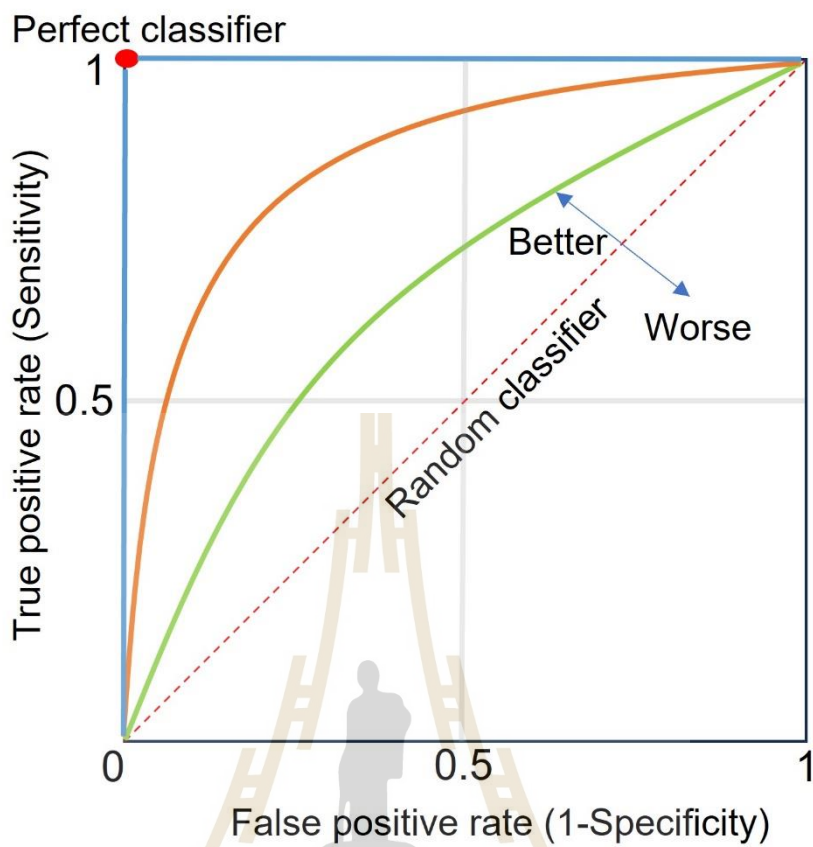
3) ค่าระลึก (Recall) คือ ความถูกต้องของโมเดลในการทำนายสิ่งที่สนใจเทียบกับผลรวมของ TP และ FN ดังสมการที่ 2.3

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2.3)$$

4) ค่าความถ่วงดุล (F-measure) คือ ค่าความสมดุลระหว่างค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) ดังสมการที่ 2.4

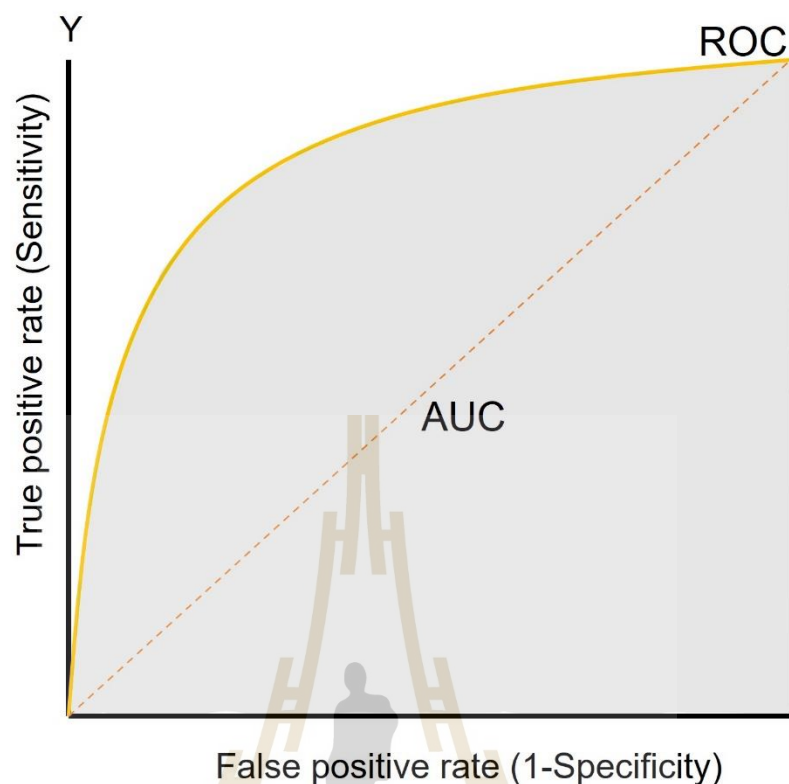
$$F_{measure} = 2 * \frac{Precision*recall}{Precision+Recall} \quad (2.4)$$

5) ROC (Receiver Operating Characteristic) curve คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน y คือ ค่าความไว (Sensitivity) หรือค่าการทำนายที่ถูกต้อง (True positive rate, TPR) และค่าความจำเพาะ (Specificity) โดยแกน x จะแสดง เป็น 1-specificity คือค่าการทำนายผิดว่าเป็น positive (False positive rate, FPR) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.10 เส้นโค้ง ROC

6) AUC (Area Under the Curve) คือ พื้นที่ใต้กราฟของ ROC ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.11 พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ของเส้นโค้ง ROC

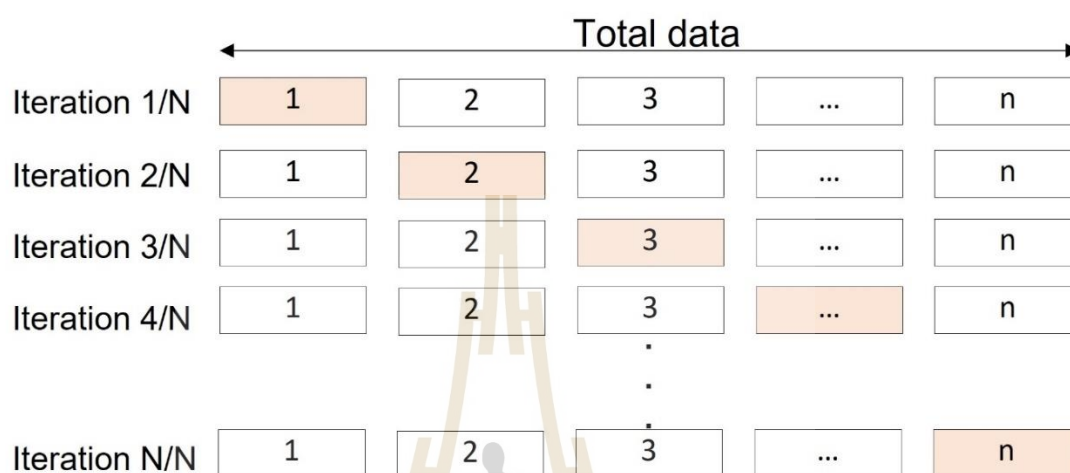
#### 2.6.4 การแบ่งข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Cross-validation)

1) k-fold cross validation คือ การแบ่งข้อมูลทั้งหมดเป็น k ส่วน โดยการแบ่งข้อมูลต้องเกิดจากการสุ่มเพื่อให้ข้อมูลกระจายเท่า ๆ กัน จะมีการแบ่งส่วนสำหรับข้อมูลที่ใช้ในการให้โมเดลเรียนรู้ (Train) และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ (Test) ตัวอย่างดังรูป

	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5
Iteration 1	test	train	train	train	train
Iteration 2	train	test	train	train	train
Iteration 3	train	train	test	train	train
Iteration 4	train	train	train	test	train
Iteration 5	train	train	train	train	test

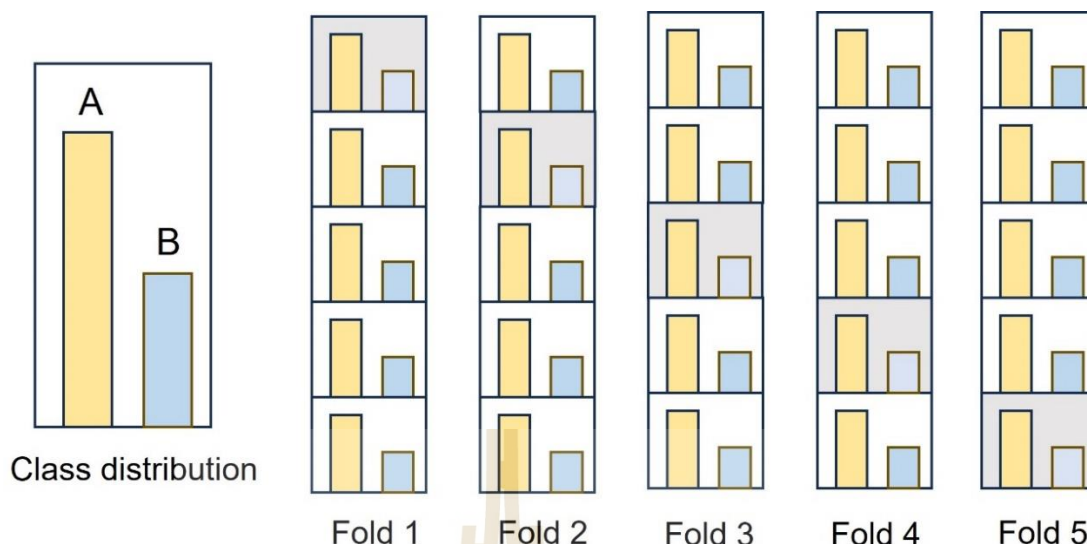
รูปที่ 2.12 แบบจำลองการทำงานของ k-fold cross validation

2) leave one out cross validation คือการแบ่งข้อมูลทั้งหมด โดยเลือก 1 ชุด ข้อมูลออกเป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบ และให้ข้อมูลชุดที่เหลือเป็นข้อมูลในการให้โมเดลเรียนรู้ ทำรูปแบบนี้วนไปจนครบทั้งหมด ตัวอย่างดังรูป



รูปที่ 2.13 แบบจำลองการทำงานของ leave one out cross validation

3) Stratified K-fold cross validation คือ การแบ่งข้อมูลข้อมูลเพื่อลดความไม่สมดุลของเป้าหมายเพื่อให้ผลที่ดีที่สุดมีประสิทธิภาพ โดยเลือกจำนวน folds (k) แบ่งข้อมูลทั้งหมดเป็น k ส่วน โดยแต่ละ fold จะมีเปอร์เซ็นต์ของแต่ละเป้าหมาย (Target class) เท่า ๆ กัน และทำวนไปจนครบทั้งหมด ตัวอย่างดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แบบจำลองการทำงานของ stratified K-fold cross validation

## 2.7 งานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ Wijaya และคณะ (2015) เสนอวิธีการตรวจหาโรคหลอดเลือดสมองตีบผ่านกระบวนการสัญญาณต่าง ๆ และเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจำแนกผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง 40 คน และคนปกติ 40 คน โดยใช้ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองจาก 6 ช่องสัญญาณ ข้อมูลผ่านการประมวลผลสัญญาณประเภทต่าง ๆ เช่น การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fourier transform, FFT), การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet transform, WT), การแปลงฟูเรียร์เวลาสั้น (Short-time Fourier transform, SFFT) และเทคนิคความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลัง (Power spectral density, PSD) และมีการจัดเตรียมข้อมูลในรูปแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron, MLP) และเทคนิคแผนผังการตัดสินใจสำหรับการตรวจหาโรคหลอดเลือดสมองตีบ ระบบที่นำเสนอมีความแม่นยำในการทดสอบ 95%

จากงานวิจัยของ Li และคณะ (2019) แนะนำการจำแนกระดับความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดสมองในการคัดกรองโรคหลอดเลือดสมองแบบจีนและนำเสนอผลการทดลอง โดยเฉพาะการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยอัลกอริธึม การเรียนรู้ของเครื่องมากกว่า 8 แบบ รวมถึงแบบจำลองการถดถอยโลจิสติก (The logistic regression model) ในการทดลองโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic regression) ผลลัพธ์ของการเรียกคืนและความแม่นยำคือ คิดเป็นร้อยละ 99.94 และ 97.33 ตามลำดับ

จากงานวิจัยของ Schneider และคณะ (2019) วิเคราะห์ความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองและลักษณะทั่วไปของคลื่นไฟฟ้าสมองในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่ไม่รุนแรง 20 ราย ผลลัพธ์ของพวกเขายืนยันความหมายการลดลงของคลื่นอัลฟาและการเพิ่มขึ้นของคลื่นเดลต้าในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่ไม่รุนแรง 17 ราย และมีงานวิจัยของ Finnigan และคณะ (2005) รายงานว่ารูปการพบ

รูปแบบคลื่นที่ผิดปกติในช่วงอัลฟาและเดลต้าในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง โดยเฉพาะพบว่าคลื่นเดลต้ามีลักษณะผิดปกติและพบมากกว่าคนปกติในขณะที่คลื่นอัลฟาที่ช้าลงและพบน้อยกว่าปกติ

จากงานวิจัยของ Daidone, M. และคณะ (2024) กล่าวว่าการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มีศักยภาพที่จะเพิ่มความสามารถในการวินิจฉัย การดูแลรักษา และผลลัพธ์ของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองจากการขาดเลือด (Ischemic stroke) อย่างมีนัยสำคัญ การวินิจฉัยและการสืบหารอยโรคที่เกิดจากโรคหลอดเลือดสมองจากการขาดเลือดนั้นเป็นสิ่งมีประโยชน์ต่อการแพทย์ เช่น ภาพจากการสแกนสมอง ประวัติการรักษา หรืออาการต่าง ๆ สามารถใช้การเรียนรู้ด้วยเครื่องในการช่วยวิเคราะห์หรือหารูปแบบที่เหมาะสมได้ ซึ่งอาจส่งผลให้ผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัยที่รวดเร็วและแม่นยำขึ้น ส่งผลต่อผลลัพธ์ของคนไข้ได้นอกจากนี้การเรียนรู้ด้วยเครื่องยังสามารถทำนายความเป็นไปได้ที่จะมีโอกาสเกิดโรคหลอดเลือดสมอง หรือวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยง โดยใช้ข้อมูลจากผู้ป่วยที่ผ่านมาซึ่งได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคหลอดเลือดสมอง

จากงานวิจัยของ Thakkar, H. และคณะ (2020) มุ่งเน้นที่จะศึกษาความแม่นยำและประสิทธิภาพของการเรียนรู้ด้วยเครื่องในการทำนายสมรรถภาพทางกายที่เพิ่มขึ้นทางคลินิกหลังจากการฝึกกิจกรรมอย่างมีเป้าหมายในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเรื้อรังและการระบุตัวทำนายที่สำคัญสำหรับการสร้างโมเดล ในการศึกษาที่มีการใช้โมเดลอยู่ 2 ประเภท คือ k-nearest neighbor (KNN) และ artificial neural network (ANN) มีผู้ป่วยเข้าร่วมจำนวน 239 คน ได้รับการฝึกทั้งหมด 30 ชั่วโมง ประกอบไปด้วย การฝึกแบบจำกัดการเคลื่อนไหวของแขนข้างปกติ (Constraint-induced movement therapy, CIMT) การฝึกแบบใช้แขนทั้งสองข้าง (Bilateral arm training) การฝึกแบบใช้หุ่นยนต์ช่วย (Robot-assisted therapy) และการฝึกแบบกระจก (Mirror therapy) โดยใช้แบบประเมินการใช้แขนและมือ (Fugl-Meyer assessment scale) ผลการศึกษาพบว่า ความถูกต้องในการทำนายของโมเดล KNN คือ 85.42% และพื้นที่ใต้กราฟ (AUC-ROC) คือ 0.89 ความแม่นยำในการทำนายของโมเดล ANN คือ 81.25% และ AUC-ROC คือ 0.77 ผู้วิจัยสรุปว่า โมเดล KNN และ ANN อาจมีประโยชน์ในการทำนายการฟื้นฟูทางการเคลื่อนไหวที่มีนัยสำคัญทางคลินิกในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะเรื้อรังได้

จากงานวิจัยของ Vivaldi, N., และคณะ (2021) ศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้วยเครื่องในการจำแนกผู้ป่วยที่มีภาวะบาดเจ็บที่สมอง (Traumatic brain injury, TBI) จากฐานข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมอง (the Temple University Hospital EEG Corpus repository (v1.1.0)) โดยใช้โมเดล SVM และ KNN โดยมีการจำแนกแบบ 2 กลุ่ม คือ ผู้ป่วยที่บาดเจ็บที่สมองกับคนปกติ และการจำแนกแบบ 3 กลุ่ม คือ ผู้ป่วยที่บาดเจ็บที่สมอง ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง และคนปกติ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ประสิทธิภาพในการจำแนกแบบ 2 กลุ่ม เท่ากับ 0.94 ในรูปแบบ 10-fold cross validation และ 0.76 ในรูปแบบ independent validation ประสิทธิภาพในการจำแนกแบบ 3 กลุ่ม เท่ากับ 0.85 ในรูปแบบ 10-fold cross validation และ 0.71 ในรูปแบบ independent validation โดยจากงานวิจัยกล่าวว่า การใช้โมเดล SVM สามารถใช้ได้ดีกับการจำแนกทั้งแบบ 2 และ 3 กลุ่ม

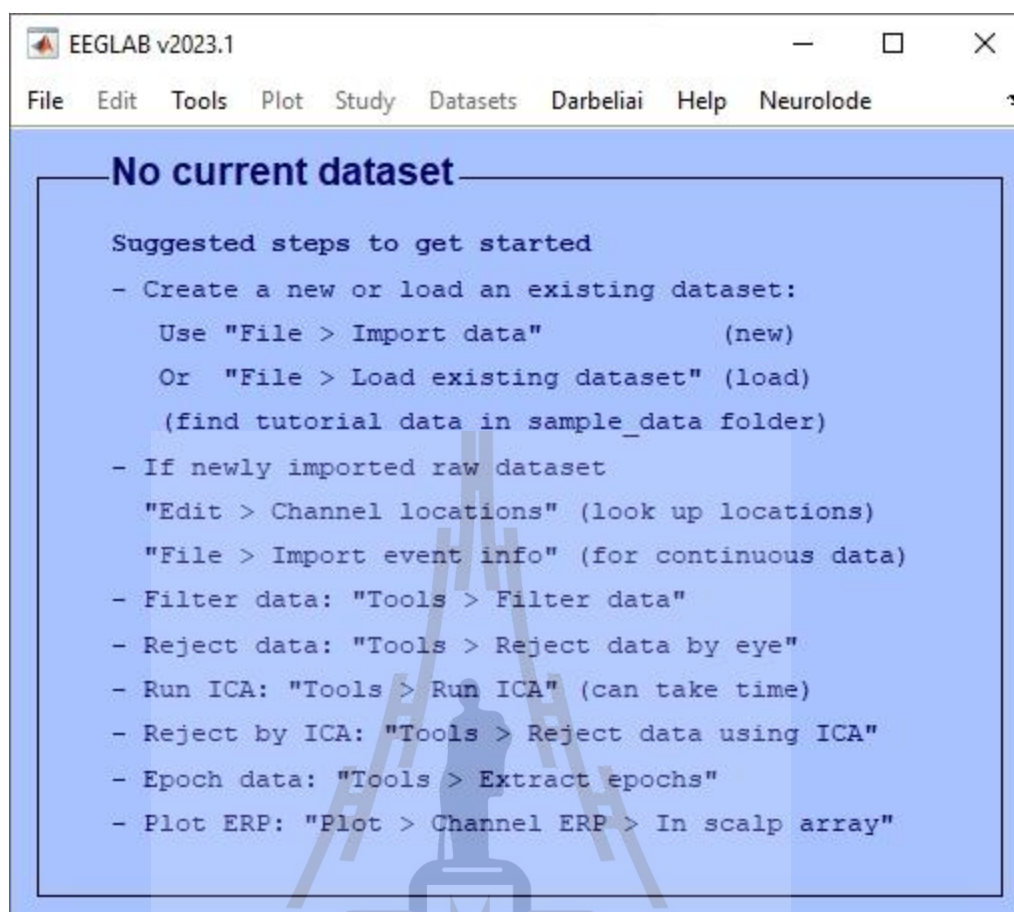
## 2.8 โปรแกรมที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

1) แมทแลป (Matlab) คือภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูงที่ใช้เพื่อคำนวณเชิงตัวเลข หรือออกแบบมาเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ คำนวณ หรือแสดงผล เช่น กราฟต่าง ๆ หรือแบบจำลองในหลากหลายสาขาวิชา โดยที่ยังสามารถพัฒนาระบบ อัลกอริทึม และแอปพลิเคชันได้ เป็นต้น โดยหลักสำคัญของโปรแกรมคือ การทำงานด้วยโค้ดสำหรับโปรแกรมเพื่อให้ดำเนินการประมวลผลหรือวิเคราะห์ต่าง ๆ ได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งภายในโปรแกรมยังมีเครื่องมือหรือฟังก์ชันเสริมสำเร็จรูปในหลากหลายสาขาวิชา รวมถึงมีกล่องเครื่องมือ (Toolbox) เช่นในงานวิจัยด้านการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมอง สามารถเขียนโค้ดเพื่อแสดงผลลัพธ์ได้ และยังมีฟังก์ชันเสริม เช่น EEGLAB ที่สามารถนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมและดำเนินการต่าง ๆ ได้

2) EEGLAB คือโปรแกรมที่ได้จากกล่องเครื่องมือ (Toolbox) โดยเปิดให้ใช้ได้ฟรีสำหรับการประมวลผลต่าง ๆ ด้านคลื่นไฟฟ้าสมองและคลื่นไฟฟ้าอื่นๆที่โปรแกรมรองรับ โดยทั้งยังสามารถวิเคราะห์ส่วนประกอบอิสระ (Independent Component Analysis, ICA) จากนั้นสามารถเลือกหรือแสดงกราฟและรูปภาพต่าง ๆ เช่น ภาพโทโปกราฟี (Topography) ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยสามารถกำหนดย่านความถี่ที่สนใจหรือรายละเอียดเพิ่มเติมได้ รวมถึงยังสามารถใช้ส่วนขยายจากโปรแกรม (extensions) ได้ อาทิ โปรแกรมชื่อ Darbelial ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกในการประมวลผลของไฟล์ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายประเภทไฟล์ (ประเภทไฟล์ \*.set \*.edf \*.cnt และอื่นๆ) โดยสามารถนำไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ จากนั้นเลือกวิธีการต่าง ๆ ในการดำเนินการได้ตามที่กำหนด เมื่อนำข้อมูลดิบผ่านกระบวนการที่ต้องแล้วสามารถนำข้อมูลออกได้







รูปที่ 2.15 โปรแกรม EEGLAB

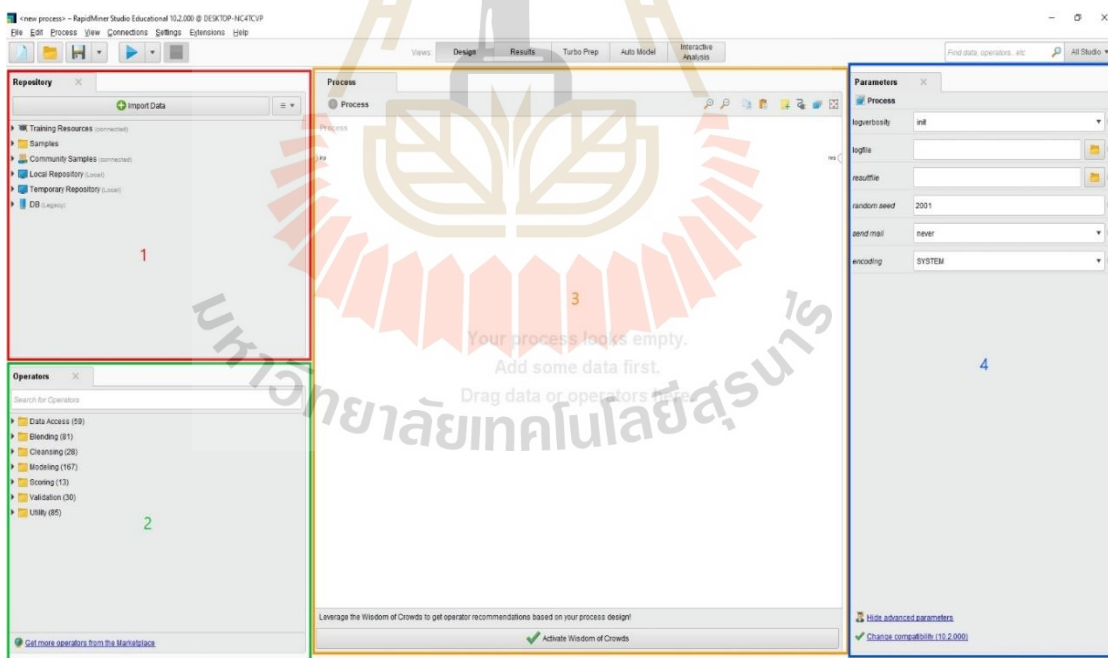
3) Rapidminer คือโปรแกรมทางวิทยาการข้อมูล (Data science) ใช้เพื่อเตรียมข้อมูลวิเคราะห์ผล

การสร้างรูปแบบการเรียนรู้ด้วยเครื่องในโมเดลต่าง ๆ การทำเหมืองข้อมูล (Data mining) และแสดงผลประสิทธิภาพต่างๆของโมเดล ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นักวิเคราะห์ข้อมูลนิยมใช้ ซึ่งมีการจัดรูปแบบโปรแกรมไว้อย่างเป็นระบบ และยังเหมาะกับผู้ใช้งานทั่วไปเนื่องจากการทำงานเป็นประเภทลากคำสั่งหรือข้อมูลและวางเชื่อมต่อกัน โดยมีการแบ่งส่วนต่างๆชื่อโปรแกรมดังนี้

- 1) Repository คือ ส่วนของการเก็บข้อมูลหรือไฟล์ที่ใช้ในโปรแกรม
- 2) Operators คือ ส่วนของคำสั่งหรือวิธีการจัดการต่าง ๆ ถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม หรือสามารถค้นหาคำสั่งที่ต้องการได้
- 3) Process คือ ส่วนที่ใช้แสดงการเชื่อมข้อมูลและส่วนของคำสั่งหรือการจัดการ
- 4) Parameters คือ ส่วนนี้จะใช้แสดงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับคำสั่งที่ผู้ใช้เลือก



รูปที่ 2.16 โปรแกรม Rapidminer version 10.2



รูปที่ 2.17 หน้าต่างแสดงส่วน ๆ ต่างของโปรแกรม Rapidminer

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาความเป็นไปได้ในระบบการฟื้นฟูทางไกลในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองกึ่งเฉียบพลันที่มีรอยโรคบริเวณเส้นเลือดสมองส่วนหลังและมีอาการวิงเวียน รวมถึงพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับการทดสอบทางคลินิกเกี่ยวกับการเดินและการทรงตัว โดยการประเมินทางคลินิกจะมีทั้งในรูปแบบการทดสอบและการทำแบบประเมิน

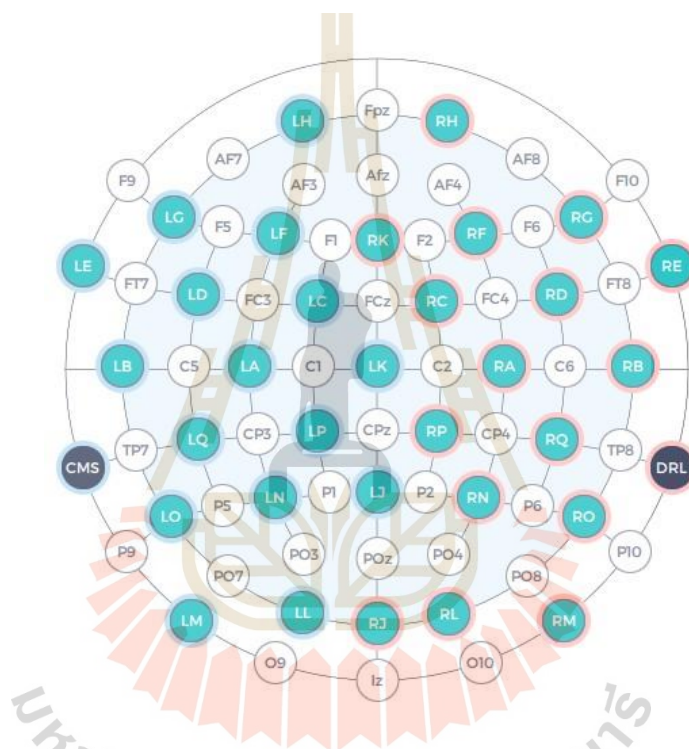
#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และแบบประเมินต่าง ๆ ทางคลินิก

เครื่องมือ
1. เครื่องคอมพิวเตอร์ DESKTOP-NC4TCVP - มีหน่วยประมวลผลกลาง: AMD Ryzen 5 3500X 6-Core Processor 8.00 GB - มีหน่วยความจำขนาด 8.00 GB - ประเภทของระบบ: 64-bit Operating System, x64-based processor - ระบบปฏิบัติการ: Windows 10 Pro
2. อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง EEG 32 channels ของบริษัท EMOTIV รุ่น EMOTIV EPOC FLEX รายละเอียดดังหัวข้อที่ 3.1.1 และตารางที่ 3.1.1
โปรแกรม
1. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB R2023a (โปรแกรมเสริมที่ใช้ใน MATLAB: EEGLAB)
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ RapidMiner Studio version 10.2
แบบประเมินและแบบทดสอบทางคลินิก
1. แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness Handicap Inventory, DHI)
2. การทดสอบการทรงตัว (Timed Up and Go Test, TUGT)
3. การทดสอบการเดิน 10 เมตร (10-meter walk test, 10mWT)
4. การทดสอบการเดินแบบไดนามิก (Dynamic gait index, DGI)

### 3.1.1 อุปกรณ์วัด EEG 32 channels ของบริษัท EMOTIV

รุ่น EMOTIV EPOC FLEX (รูปที่ 1) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไร้สาย และได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถใช้ในงานวิจัยในมนุษย์ได้ (Williams, N. S., McArthur, G. M., de Wit, B., Ibrahim, G., & Badcock, N. A. (2020). “A validation of emotiv EPOC Flex saline for EEG and ERP research”. PeerJ, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.9713>) แสดงรูปและ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (specification) มาตรฐานอุตสาหกรรมและความปลอดภัย และหากเริ่มใช้อุปกรณ์วัด EEG รุ่นใดแล้ว ก็จะใช้อุปกรณ์วัด EEG รุ่นเดียวกันและบริษัทเดียวกันตลอดการทดลอง โดยจัดเรียงอิเล็กโทรดรับสัญญาณ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งสีฟ้าเป็นตำแหน่ง electrode ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ตามระบบ International 10–20 system EEG position (ที่มา: <https://emotiv.gitbook.io/epoc-flex-user-manual/electrodes/example-electrode-placement>)

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของอุปกรณ์การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง

No. of Channels	32 (plus CMS/DRL references)
Channel names	Configurable on standard 72 channel international 10-20 locations.
Sampling method	Sequential sampling. Single ADC
Sampling rate	128 SPS (1024 Hz internal)

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของอุปกรณ์การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (ต่อ)

<b>No. of Channels</b>	<b>32 (plus CMS/DRL references)</b>
<b>EEG Resolution</b>	14 bits 1 LSB = 0.51 $\mu$ V (16 bit ADC, 2 bits instrumental noise floor discarded)
<b>Max Slew Rate</b>	32.64 $\mu$ V/sample (Compression required for BLE data transmission)
<b>Bandwidth</b>	0.2 - 45Hz, high attenuation at 50Hz and 60Hz
<b>Filtering</b>	Built in digital 5th order Sinc filter
<b>Dynamic range (input referred)</b>	$\pm$ 4.12 mV
<b>Coupling mode</b>	AC coupled
<b>Connectivity</b>	Proprietary 2.4GHz wireless, BLE(coming soon)
<b>Battery Capacity</b>	LiPo battery 595mAh
<b>Battery life (typical)</b>	6-9 hours
<b>Impedance Measurement</b>	Real-time contact quality using patented system
<b>IMU Part</b>	ICM-20948 3-axis Accelerometer, 3-axis Gyroscope, 3-axis Magnetometer. Data Output 10 channels Quaternions, (Q0, Q1, Q2,Q3), Acceleration (X,Y,Z) and Magnetometer (X,Y,Z)
<b>Motion Sampling</b>	16 Hz
<b>Motion Resolution</b>	8-bit Output
<b>Sensor Material</b>	Sintered Ag/AgCl (EPOC Flex Gel model) can be used with any EEG gel. Electroplated Ag/AgCl (EPOC Flex Saline models) with replaceable polyester felt pads that can be sterilized and re-used (bulk pack available for separate purchase)
<b>CE Certification for Machinery and Equipment (EEG):</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FCC ID Number 2ADIH-FLEX01 and IC ID Number: 12769A-FLEX01.</li> <li>- This device complies with the radio equipment directive (2014/53/EU).</li> <li>- This device complies with part 15 of the FCC Rules.</li> <li>- This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class B digital device, pursuant to part 15 of the FCC Rules.</li> <li>- This Class B digital apparatus complies with Canadian ICES-003.</li> <li>- Cet appareil numérique de la classe B est conforme à la norme NMB-003 du Canada.</li> </ul>

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของอุปกรณ์การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (ต่อ)

No. of Channels	32 (plus CMS/DRL references)
Standards Tested (EEG):	-EMC and Telecom: Class B -ETSI EN 301 489-1 & 489-17 -ETSI EN 301 328 v2.1.1 -AS/NZS CISPR22 :2009 -AS/NZS 4268 :2012, BTLE 4.0 -USA: FCC CFR 47 Part 15B & 15C -Canada: ISED RSS-247: Issue 2, IC RSS-102: Issue 5

### 3.2 การเก็บข้อมูลทางคลินิก

1) ทีมผู้วิจัยค้นหาปัญหาการวิจัย ทบทวนวรรณกรรม เขียนโครงร่างวิจัย และยื่นขอรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

2) เมื่อได้รับการรับรองจริยธรรมวิจัยในมนุษย์แล้ว ทีมผู้วิจัยทำหนังสือขออนุญาตเข้าเก็บข้อมูลวิจัยต่อผู้อำนวยการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3) เมื่อได้รับอนุญาตให้เข้าเก็บข้อมูลได้ ทีมนักวิจัยที่ไม่ใช่แพทย์เจ้าของไข้จะเข้าไปหาผู้ป่วยที่ตีความการเป็นเลิศ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อธิบายข้อมูลโครงการวิจัยและขั้นตอนการปฏิบัติตัวให้อาสาสมัครทราบ หลังจากนั้นจึงขอความยินยอมโดยมีเกณฑ์ดังนี้

#### เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัย (Inclusion criteria)

1) ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลัน (2 สัปดาห์ จนถึง 3 เดือน) โดยวินิจฉัยด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) หรือเครื่องสแกนแม่เหล็กไฟฟ้าพบความผิดปกติบริเวณเส้นเลือดสมองส่วนหลัง (posterior circulation)

2) มีอายุ 40 - 80 ปี

3) หลังจากได้รับการวินิจฉัยเป็นโรคหลอดเลือดสมองแล้วเคยมีอาการเวียนศีรษะโดยอาการเวียนศีรษะไม่หายภายใน 24 ชั่วโมง

4) อาการเกร็งน้อยกว่าระดับ 2 โดยแบบประเมินอาการเกร็ง (Modified Asthworth scale, MAS)

5) ไม่มีอาการชักในระยะเวลา 1 ปี และไม่มีอุปกรณ์ในศีรษะและหัวใจ เช่น สายระบายน้ำไขสันหลังจากโพรงสมองลงสู่ช่องท้อง (Ventriculoperitoneal (VP) shunt) และ เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าหัวใจ

6) สามารถเดินได้เอง และ/หรือ ใช้ไม้เท้าช่วยเดิน (สามารถให้มีคนพยุงเดินได้) โดยเดินได้อย่างน้อย 10 เมตร

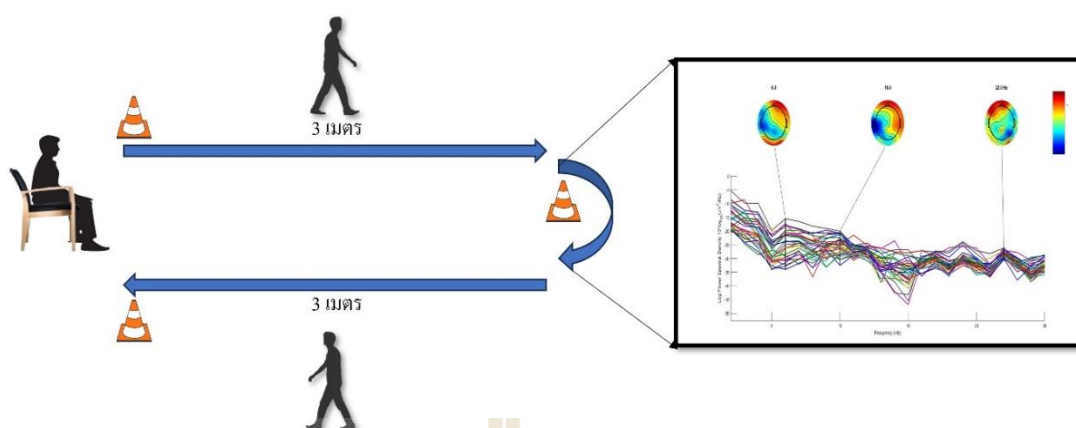
7) ยินยอมสวม เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

### เกณฑ์การคัดออกผู้เข้าร่วมการวิจัย (Exclusion criteria)

- 1) โรคทางระบบประสาทอื่น ๆ นอกเหนือจากโรคหลอดเลือดสมอง เช่น บาดเจ็บไขสันหลัง การบาดเจ็บของเส้นประสาทส่วนปลายที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อขา
- 2) มีความผิดปกติของขาที่ส่งผลต่อการยืน เช่น มีประวัติกระดูกขาหัก หรือมีฝังอุปกรณ์โลหะที่ขาภายใน 1 ปีที่ผ่านมา
- 3) มีอาการปวดมากจนส่งผลต่อการลุกยืน
- 4) ผู้ป่วยโรคอื่น ๆ ที่มีความเสี่ยง เช่น โรคกระดูกงู ไส้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าหัวใจ ผู้ป่วยที่มีภาวะภาวะความดันโลหิตตกขณะเปลี่ยนท่ารุนแรงหรือ โรคความดันโลหิตสูงที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือ หญิงตั้งครรภ์ หรือ ติดเชื้อ มีไข้
- 5) โรคทางจิตเวช ภาวะซึมเศร้ารุนแรง ภาวะโรคสมองเสื่อม
- 6) ผู้ที่มีอาการเวียนศีรษะรุนแรง

### เกณฑ์การถอนผู้เข้าร่วมการวิจัยหรือยุติการเข้าร่วมการวิจัย (Withdrawal or termination criteria)

- 1) ผู้ป่วยไม่สามารถทนต่อการฝึกได้ เช่น คลื่นไส้ วิงเวียน ปวดศีรษะ ขณะฝึก หรือผู้ป่วยขอยุติเอง
- 2) ผู้ป่วยที่ไม่สามารถฝึกตามรูปแบบการฝึกที่กำหนดในงานวิจัยนี้ได้ (อาจเกิดจากภาวะอาการเจ็บป่วย หรือมีเหตุอื่น ๆ เช่น สิ่งแวดล้อมไม่เอื้ออำนวย)
- 3) หลังจากอาสาสมัครลงนามยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยแล้ว ทีมผู้วิจัยจำดำเนินการเตรียมผู้ป่วย ทดสอบ และประเมินผลทั้งข้อมูลทางคลินิกและทางปัญญาประดิษฐ์
- 4) อาสาสมัครทุกรายจะได้รับการแนะนำการฝึก vestibular rehabilitation ในครั้งแรก และแนะนำให้ทำกายภาพบำบัดพื้นฐานที่บ้าน 1 ชั่วโมง/วัน 3 วัน/สัปดาห์ แบ่งอาสาสมัครเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะวิธีการฝึก ดังนี้
  - กลุ่ม C 4 ราย ได้รับการติดตามการฟื้นฟูการทรงตัว (vestibular rehabilitation) จากนักกายภาพบำบัด 3 ครั้ง/สัปดาห์ ที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
  - กลุ่ม X 4 ราย ได้รับการติดตามการฟื้นฟูการทรงตัว (vestibular rehabilitation) 3 ครั้ง/สัปดาห์ ผ่านระบบการฟื้นฟูทางไกลโดยนักกายภาพบำบัด
- 5) เมื่อผู้ป่วยมาถึงโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจะได้รับการประเมินสัญญาณชีพจากนั้นพาผู้ป่วยมานั่งเพื่อติดอุปกรณ์วัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) ขณะติดอุปกรณ์จะมีผู้ช่วยวิจัยสัมภาษณ์ แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness handicap inventory)
- 6) หลังจากติดตั้งอุปกรณ์การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง แล้วผู้ป่วยจะได้รับการประเมินการทรงตัว (Timed-up and go) (ทั้งหมด 6 ครั้ง แบ่งเป็น วนด้านซ้าย 3 ครั้ง และ วนด้านขวา 3 ครั้ง) หลังจากนั้นถอดอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง แล้วทำการประเมินการเดิน (10-meter walk test 2 ครั้ง และ Dynamic gait index 1 ครั้ง) โดยนักกายภาพบำบัด



รูปที่ 3.2 การทดสอบการเดินทรงตัวร่วมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

7) นักกายภาพบำบัด สอนผู้ดูแลผู้ป่วยและผู้ป่วย เรื่องความปลอดภัย เช่น การพยุงคนใช้ขณะฝึก รวมถึงแนะนำสำหรับอาสาสมัครที่ได้รับการฝึกทางไกล เรื่องการวางเครื่องอุปกรณ์ในระยะที่เห็นอาสาสมัครได้เหมาะสมกับการฝึก เพื่อให้ข้อแนะนำปรับการฝึกได้มีประสิทธิภาพสูงสุด แก่ผู้ดูแลและผู้ป่วยโดยปรับท่าเพื่อความเหมาะสมสำหรับการฝึกการทรงตัว โดยวิธี Vestibular rehabilitation (Han et al., 2011) (Sharma, 2020) ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ท่าที่ใช้ในการฝึกการทรงตัว (vestibular rehabilitation)

ประเภทการฝึก	ท่าที่ใช้ในการฝึก
Adaptation exercises:	Gaze stability - Ocular control exercises - Eye movements—at first slow, then quickly (a) Up and down (b) From side to side (c) Focusing on finger moving from 3 feet to 1 foot away from face.
Habituation exercises:	- Horizontal and diagonal head movements - Gait exercise - Walking exercise - Sit to stand - Gait with a Focal Point



ตารางที่ 3.3 ท่าที่ใช้ในการฝึกการทรงตัว (vestibular rehabilitation) (ต่อ)

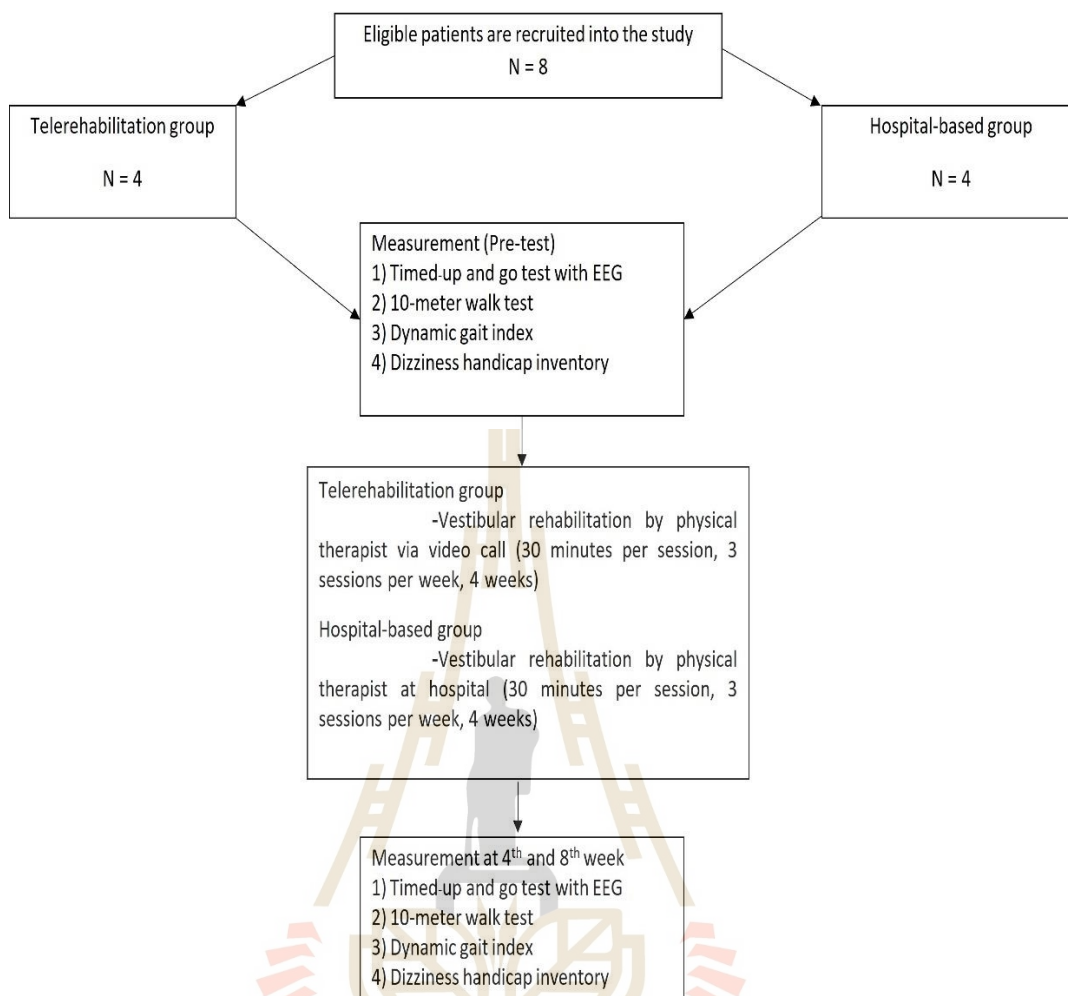
Substitution exercises	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sitting balance</li> <li>- Shoulder shrugging and circling</li> <li>- Bending forwards and picking up objects from the ground</li> <li>- Standing balance</li> </ul>
------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

8) นักกายภาพบำบัด มีการสอบถามอาการอาสาสมัครโดยตลอดเกี่ยวกับความสบาย ความปลอดภัย การปวดเมื่อยหรือล้ากล้ามเนื้อระหว่างและหลังทำการทดลอง อาการปวดศีรษะ รวมถึงอาการอื่น ๆ

9) การประเมินหลังได้รับการทำกายภาพบำบัดครบแล้ว (post-intervention) เมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 4 มีการประเมินเหมือนกับครั้งแรก

10) การประเมินติดตามหลังได้รับการทำกายภาพบำบัดครบแล้ว (post-intervention) เมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 8 มีการประเมินเหมือนกับครั้งแรก





รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการนำอาสาสมัครเข้าทำการทดลองและการติดตามผลทางคลินิก

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์

เป้าหมายการวิเคราะห์ข้อมูลคือ เพื่อหาประสิทธิภาพของข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองกับผลทางคลินิกที่ได้การประเมินและการทดสอบในอาสาสมัครด้วยปัญญาประดิษฐ์ ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ 1) เตรียมข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมอง 2) สร้างและประเมินประสิทธิภาพของโมเดล โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

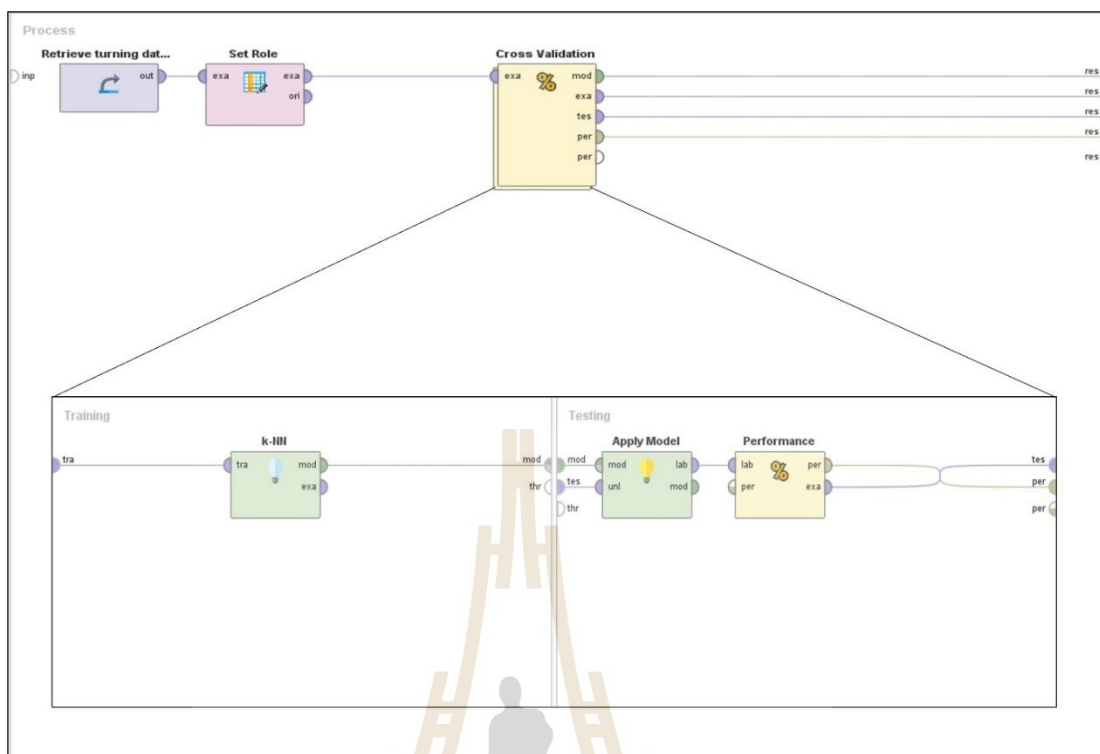
#### 3.3.1 การเตรียมข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมอง

1) เก็บรวบรวมสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองในอาสาสมัคร 8 ราย รายละ 3 ครั้ง ดังนี้ ก่อนทดสอบ หลังการทดสอบ และช่วงหลังการทดสอบ 1 เดือน โดยในแต่ละครั้งมีการเก็บสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองร่วมกับการทดสอบการทรงตัว (Time up and go test) โดยแบ่งเป็นสัญญาณจากการเดินวนด้านซ้าย 3 รอบ และการเดินวนด้านขวา 3 รอบ รวมทั้งหมด 6 รอบ/ครั้ง อาสาสมัคร 1 รายมีข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองทั้งหมด 18 ไฟล์ และในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลเพื่อการสร้างโมเดลการเรียนรู้ทั้งหมด 144 ไฟล์

- 2) นำข้อมูลออกจากโปรแกรม EmotivPro ได้ไฟล์ประเภท .csv
- 3) นำข้อมูลที่ได้นั้นเข้าโปรแกรมแมทแลป (Matlab) และ ปรับข้อมูลให้เหมาะสม (Normalization)
- 4) เปิดโปรแกรมเพิ่มเติมคือ โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEGLAB) ซึ่งเป็นโปรแกรมเสริม (Extension) ในแมทแลป
- 5) นำไฟล์ (.csv) เข้าโปรแกรม EEGLAB จากนั้น ทำการลดสัญญาณรบกวนและปรับค่าพื้นฐาน (Basic FIR filter) 0.5 ถึง 50 เฮิร์ตซ์
- 6) ปรับค่าข้อมูลด้วยวิธีจำแนกข้อมูล (Decompose by Independent component analysis)
- 7) นำออกสัญญาณรบกวนที่เป็นสัญญาณรบกวนจากสายตาหรือจากกล้ามเนื้อที่เกิน 90 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป
- 8) เลือกช่วงเหตุการณ์ (Event) 2 วินาที ที่เป็นช่วงการหมุนตัวขณะทำการทดสอบการเดินทรงตัว (Timed-up and go test)
- 9) นำข้อมูลที่ได้เข้าโปรแกรมเพิ่มเติม (Darbeliai EEGLab plugin) เพื่อเปลี่ยนโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีช่วงความถี่ย่านธิต้า (4-8 เฮิร์ตซ์) อัลฟา (8-12 เฮิร์ตซ์) และ เบต้า (12-30 เฮิร์ตซ์)

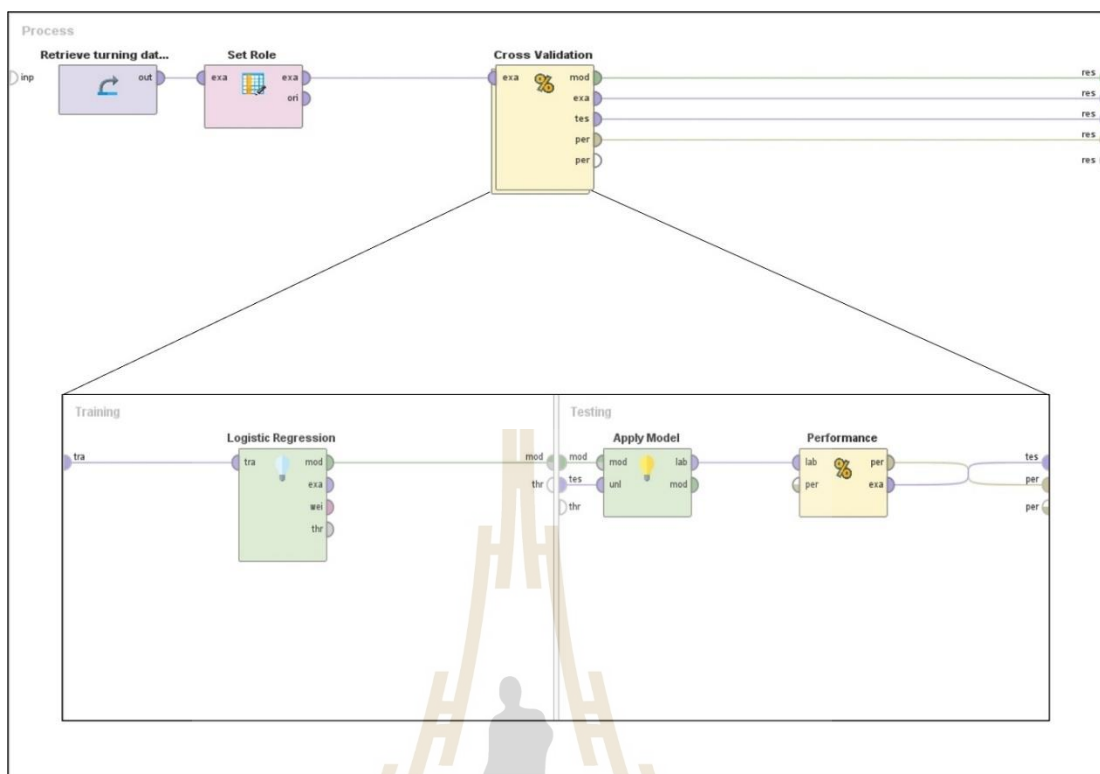
### 3.3.2 สร้างและประเมินประสิทธิภาพของโมเดล

- 1) ทำการเตรียมข้อมูลโดยนำไฟล์ที่ได้จากการขั้นตอน 3.3.1 โดยเลือกข้อมูลในช่วงความถี่ 4-30 เฮิร์ตซ์ (ในรูปแบบไฟล์ excel (.xlsx))
- 2) กำหนดค่าการเดินทรงตัวดีหรือแย่โดยใช้คะแนนการทดสอบการทรงตัว (Timed-up and go test) โดยถ้าคะแนนมากกว่า 17 ให้เป็นการเดินทรงตัวไม่ดีซึ่งจะระบุเป็นคำว่า “Poor” กรณีคะแนนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 17 คะแนน ให้เป็นการเดินทรงตัวดีระบุเป็นคำว่า “Good” คำกำหนดคลาสเหล่านี้จะระบุลงไปในการจัดเตรียมข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่เตรียมไว้ โดยการใช้เกณฑ์ดังกล่าวพิจารณาร่วมกับความเห็นของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ
- 3) นำไฟล์เข้า rapidminer (ประเภทไฟล์ .xlsx) และเลือกรูปแบบการวิเคราะห์ด้วยการเรียนรู้ด้วยเครื่อง
- 4) สร้างโมเดลโดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (K-Nearest Neighbors, KNN) โดยการตั้งค่าแบ่งชุดข้อมูลการเรียนรู้ (Training set) และชุดข้อมูลทดสอบ (Testing set) ด้วยวิธี 10-fold cross validation แบบเป็นชั้นภูมิ (Stratified sampling) ในทุกโมเดล และกำหนดค่า K=5 ในโมเดลนี้ (ค่าเริ่มต้นของโปรแกรม)



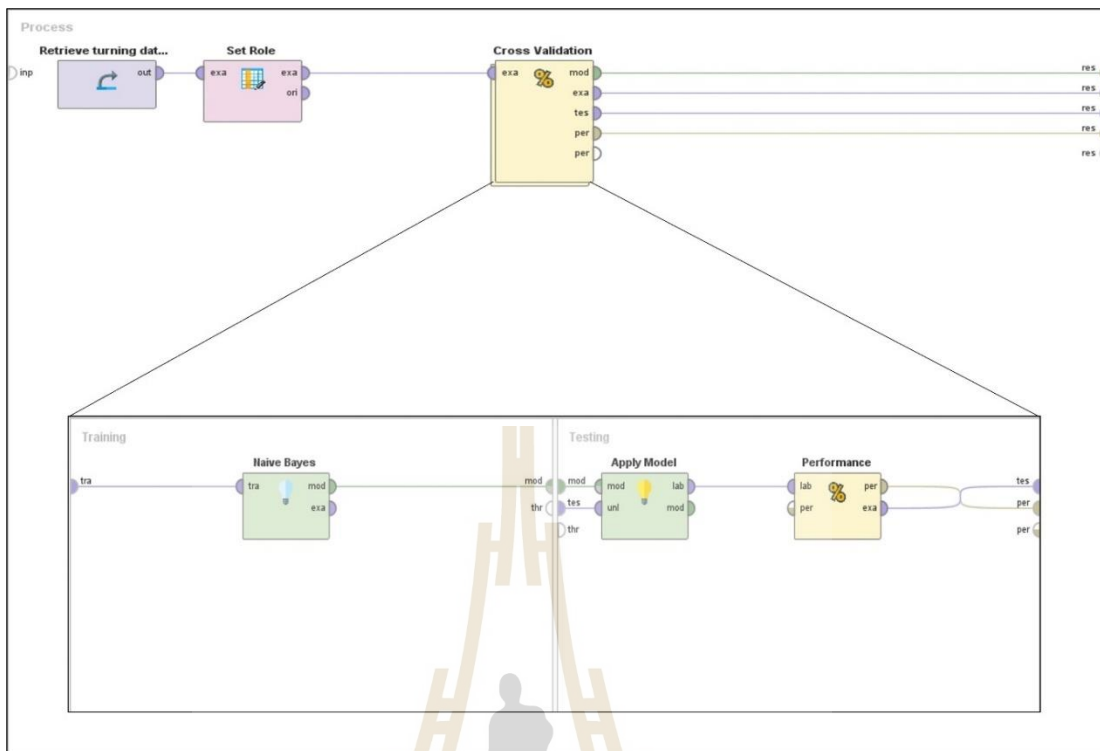
รูปที่ 3.4 การสร้างโมเดล KNN ในโปรแกรม Rapidminer

5) สร้างโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก (Logistic regression, LR)



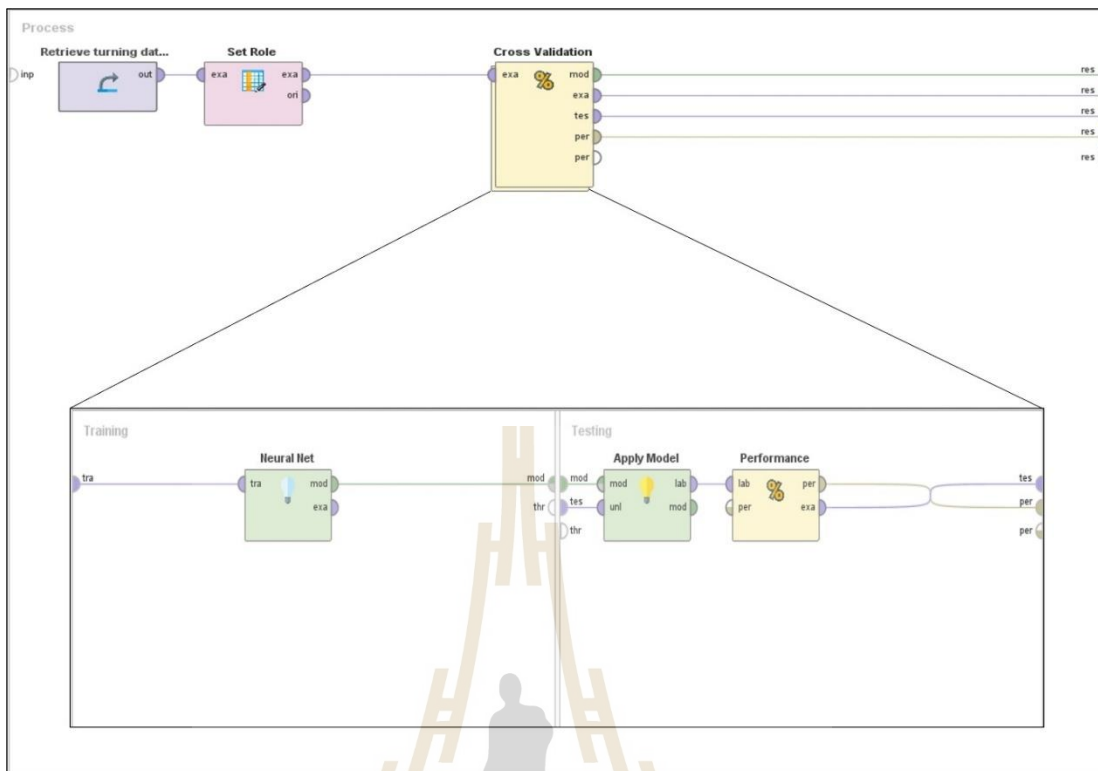
รูปที่ 3.5 การสร้างโมเดล LR ในโปรแกรม Rapidminer

6) สร้างโมเดลโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบ (Naive-Bayes, NB)



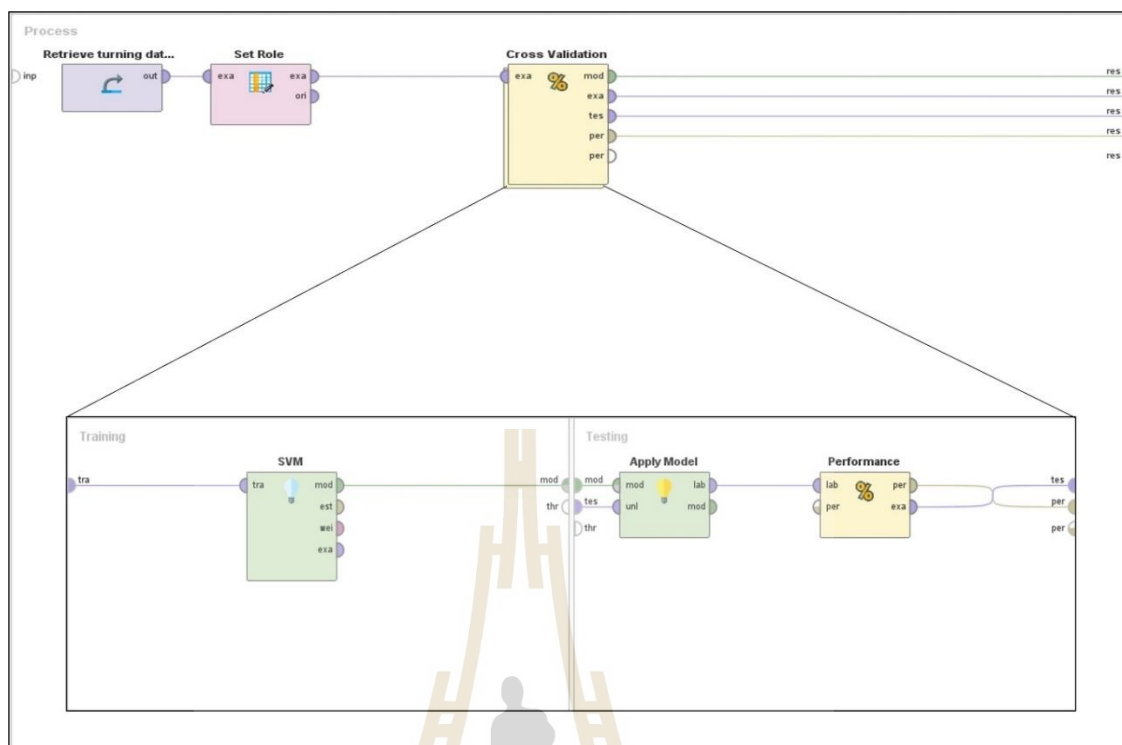
รูปที่ 3.6 การสร้างโมเดล NB ในโปรแกรม Rapidminer

7) สร้างโมเดลโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) ตั้งค่าโมเดล โดยให้ รอบการฝึกโมเดล (Training cycles) = 200 อัตราการเรียนรู้ = 0.01 และ โมเมนตัม = 0.9 เป็นค่าเริ่มต้นจากโปรแกรม (Default setting)



รูปที่ 3.7 การสร้างโมเดล ANN ในโปรแกรม Rapidminer

8) สร้างโมเดลโดยใช้วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine, SVM) ตั้งค่าประเภทเคอร์เนลเป็นพอลิโนเมียล (polynomial)



รูปที่ 3.8 การสร้างโมเดล SVM ในโปรแกรม Rapidminer

### 3.4 วิธีการวัดผลทางคลินิกและทางปัญญาประดิษฐ์

#### 3.4.1 วัดผลความเป็นไปได้ (Feasibility study)

ตามเกณฑ์ ของ Bowen, D. J., Kreuter, M., Spring, B., Linnan, L., Weiner, D., Bakken, S., Kaplan, C. P., Squiers, L., & Fabrizio, C. (2010). NIH Public Access. 36(5), 452–457. โดยเน้นที่

1) ด้านความปลอดภัย (Safety: adverse events, assistance levels, tolerance ) โดยใช้แบบประเมินดังที่แสดงในภาคผนวก

2) ด้านความเหมาะสมของโปรแกรมที่ใช้ฝึก (Compliance with protocol activities: Treatment sessions, Assessments, Sensor usage during treatment sessions) โดยใช้แบบประเมินดังที่แสดงในภาคผนวก

3) การยอมรับของอาสาสมัคร (Participant Acceptability)

4) ประสิทธิภาพของโปรแกรมการฝึก (Efficacy Indicator) แสดงผลในรูปแบบแผนเฉลี่ยว และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละแบบประเมินและการทดสอบทางคลินิก

#### 3.4.2 ค่าที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพโมเดล มีดังนี้

1) ค่าความถูกต้อง (accuracy)

2) ค่าความแม่นยำ (precision)

3) ค่าความระลึก (recall)



- 4) ค่าความถ่วงสมมูล ( $f\_measure$ )
- 5) เส้นโค้ง ROC (receiver operator characteristic curve)
- 6) พื้นที่ใต้กราฟ (area under curve)



## บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

แบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ผลทางคลินิก ผลของการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine learning)

### 4.1 ข้อมูลของอาสาสมัคร

ตารางแสดงข้อมูลด้านประชากร (Demographic data) แสดงสัดส่วนหรือค่าเฉลี่ยของอาสาสมัคร เช่น เพศ อายุ โรคประจำตัว ประเภทของหลอดเลือดสมอง ด้านที่อ่อนแรง ระยะเวลาที่ได้รับวินิจฉัยก่อนเข้ารับการรักษา และอาการทางคลินิก ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของอาสาสมัคร (Demographic data)

เพศ n=8 (%)	
ชาย	7 (87.5)
หญิง	1 (12.5)
อายุ (ปี) (Mean±SD)	62±7.74
โรคประจำตัว (%)	
เบาหวาน	18.18
ความดัน	45.45
ไขมันในเลือดสูง	27.27
ไม่มีโรคประจำตัว	9.09
ประเภทของโรคหลอดเลือดสมอง (%)	
เส้นเลือดสมองตีบ (Ischemic stroke)	100
เส้นเลือดสมองแตก (Hemorrhagic stroke)	0
ด้านที่อ่อนแรง (affected side) (%)	
ซ้าย	50
ขวา	50
ระยะเวลาที่ได้รับการวินิจฉัยก่อนเข้ารับการรักษา (สัปดาห์) (Mean±SD)	7.13±3.68
อาการ (%)	
เวียนศีรษะ	53.33
ไม่มั่นคงในการทรงท่า	46.67

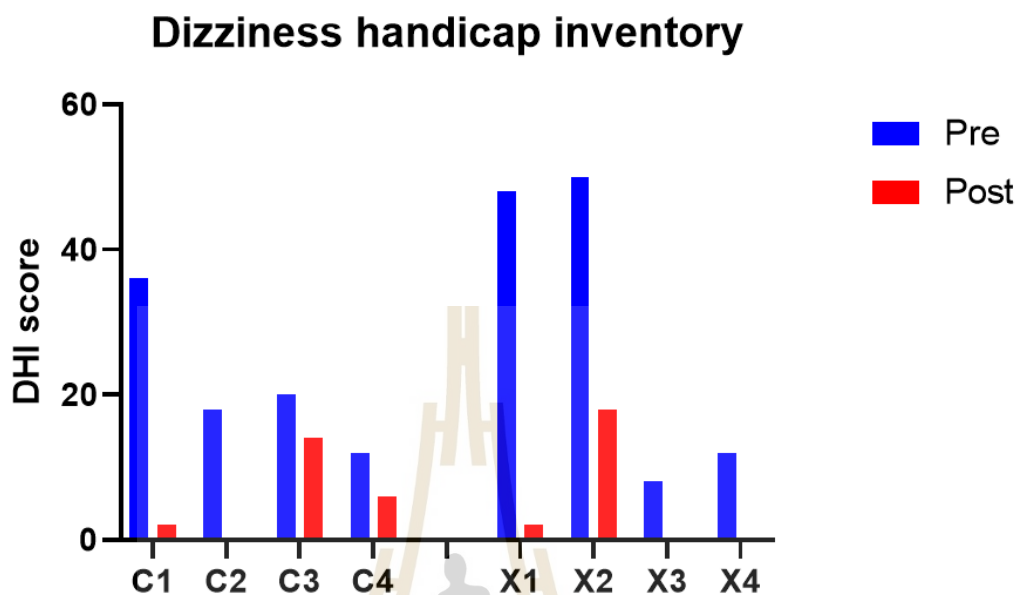
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร

	อายุ (ปี)	เพศ	อ่อนแรงด้าน (ซ้าย/ขวา)	type of stroke/onset of stroke (สัปดาห์)	โรคประจำตัว	อาการ
Hospital-based group						
ผู้ป่วย C1 รหัส 001	46	ชาย	ขวา	เส้นเลือดสมองตีบ/2	เบาหวาน	dizziness, imbalance
ผู้ป่วย C2 รหัส 004	60	ชาย	ขวา	เส้นเลือดสมองตีบ/10	ไม่มี	dizziness
ผู้ป่วย C3 รหัส 006	70	ชาย	ซ้าย	เส้นเลือดสมองตีบ/8	ความดันโลหิตสูง	dizziness, imbalance
ผู้ป่วย C4 รหัส 007	63	ชาย	ซ้าย	เส้นเลือดสมองตีบ	ความดันโลหิตสูง	dizziness, imbalance
Telerehabilitation group						
ผู้ป่วย X1 รหัส 002	68	ชาย	ซ้าย	เส้นเลือดสมองตีบ/2	ความดันโลหิตสูง	dizziness, imbalance
ผู้ป่วย X2 รหัส 003	62	หญิง	ขวา	เส้นเลือดสมองตีบ/6	เบาหวาน ความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง	dizziness, imbalance
ผู้ป่วย X3 รหัส 005	69	ชาย	ขวา	เส้นเลือดสมองตีบ/10	ความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง	dizziness, imbalance
ผู้ป่วย X4 รหัส 008	59	ชาย	ซ้าย	เส้นเลือดสมองตีบ	ไขมันในเลือดสูง	dizziness, imbalance

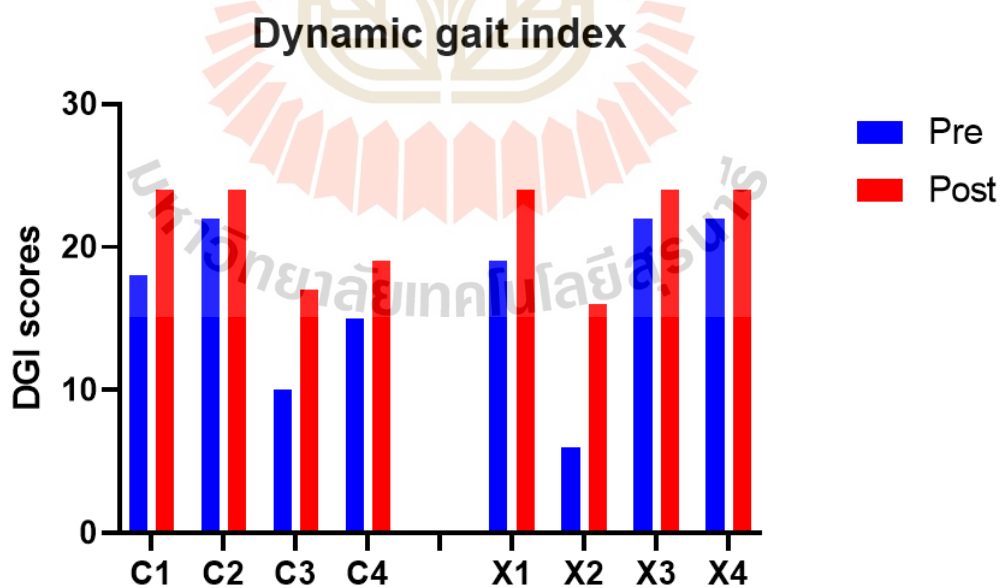
ตารางที่ 4.3 รหัสของอาสาสมัครและรอยโรค

ผู้ป่วยรหัส	รูปแบบการรักษา	เพศ	รอยโรค
001	C1	ชาย	V4 segment of right vertebral artery
002	X1	ชาย	Multiple small hypodense lesions at left corona radiata, left internal capsule, left thalamus and right sided pons
003	X2	หญิง	Bilateral lentiform nucleus, right caudate nucleus and right corona radiata. Wedge-shape old infarctions at inferior left cerebellar hemisphere.
004	C2	ชาย	Left sided pons.
005	X3	ชาย	Acute right basal ganglia hemorrhage with mild perilesional edema. Unchanged old Lacunar infarction at bilateral corona radiatas, left lentiform nucleus, right thalamus and pons.
006	C3	ชาย	Acute infarction at right paramedian pons.
007	C4	ชาย	Right centrum semiovale.
008	X4	ชาย	Right fronto-parieto-temporal and right occipital lobes.

## 4.2 ผลการทดลองทางคลินิก

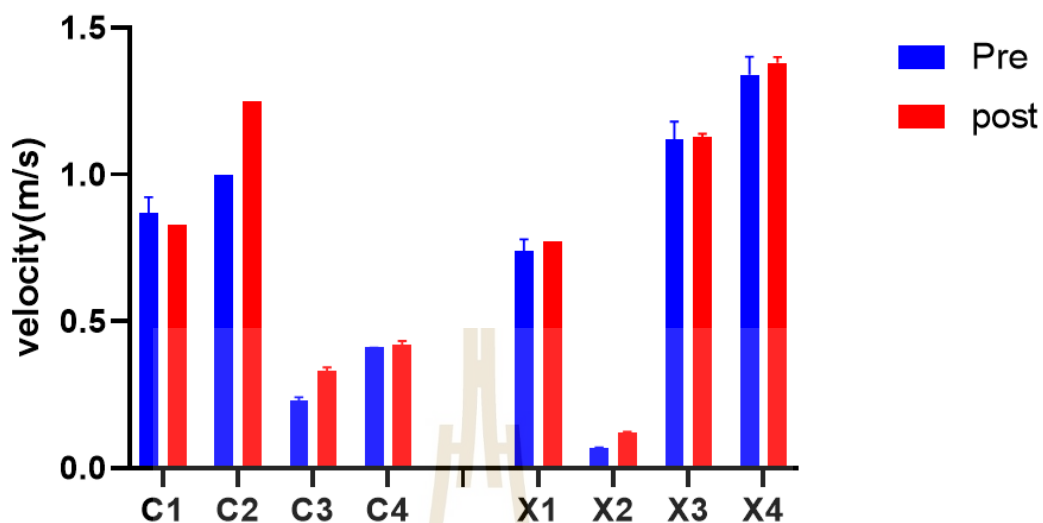


รูปที่ 4.1 Dizziness handicap inventory Score (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก และ Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)



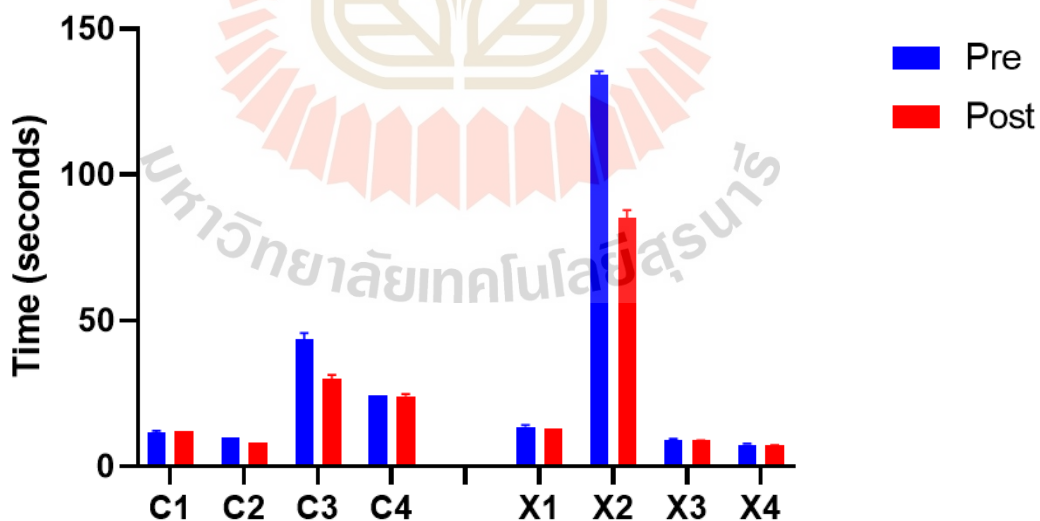
รูปที่ 4.2 Dynamic gait index (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก และ Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C:กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)

### 10-Meter Walk Test: Velocity



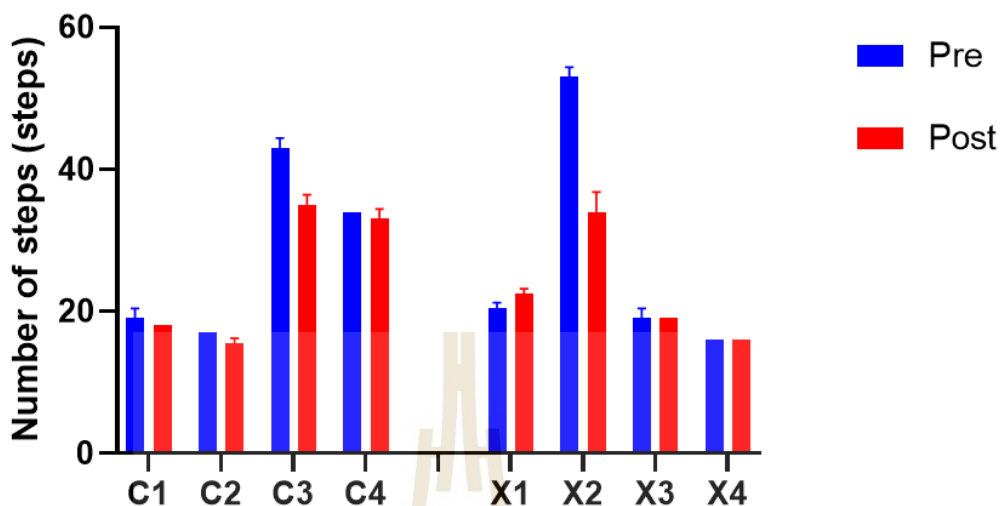
รูปที่ 4.3 อัตราเร็วในการเดิน ใน 10-Meter Walk test (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: คือกลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)

### 10-Meter Walk Test: Time



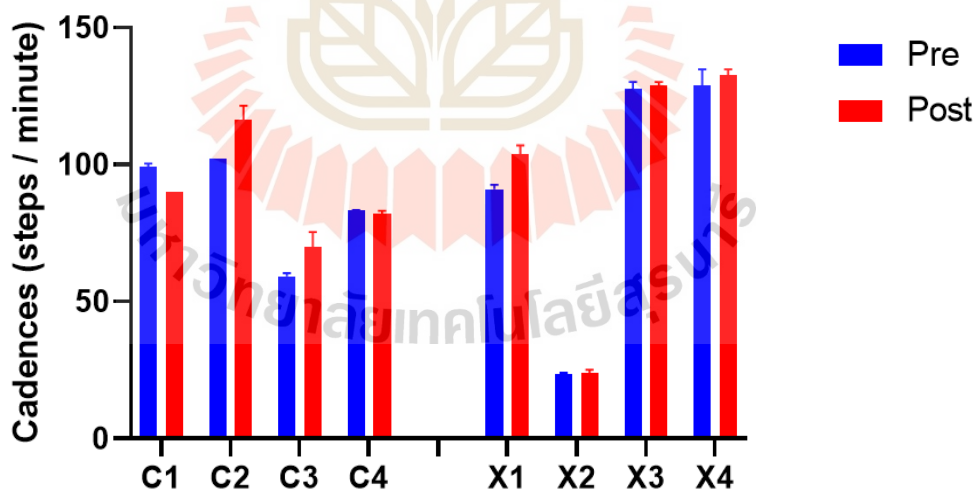
รูปที่ 4.4 เวลาในการเดิน 10-Meter Walk test (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)

### 10-Meter Walk Test: Steps



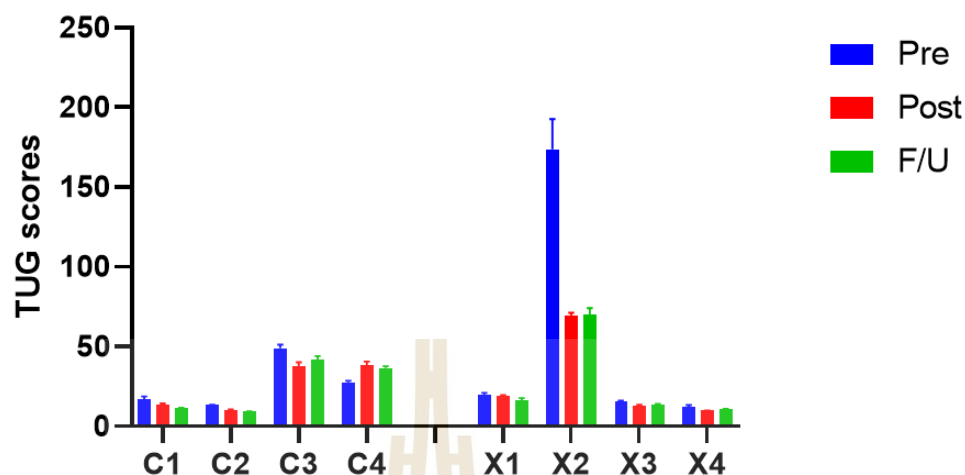
รูปที่ 4.5 จำนวนก้าวในการเดิน (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก และ Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C : กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X : กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)

### 10-Meter Walk Test: Cadence



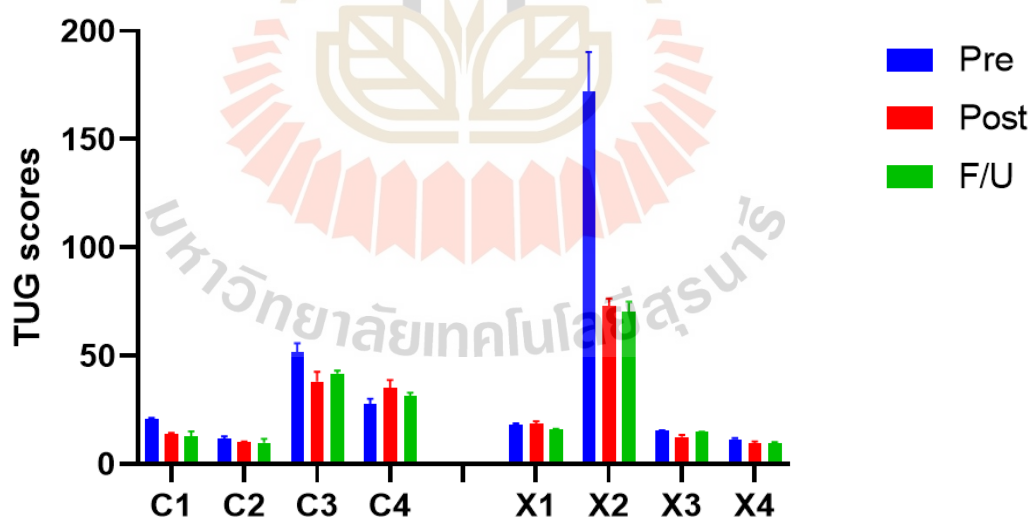
รูปที่ 4.6 จำนวนก้าว/นาทีในการเดิน ใน 10-Meter Walk test (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก และ Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)

### Timed up and go test (Turn around normal side)



รูปที่ 4.7 Timed-Up and Go test เดินเลี้ยวไปด้านขวาที่ปกติ (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก; Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; F/U: Post 1 month: ที่เวลา 1 เดือน หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล; X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)

### Timed up and go test (Turn around weak side)



รูปที่ 4.8 เดินเลี้ยวไปด้านขวาที่อ่อนแรง (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก; Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; F/U: Post 1 month: ที่เวลา 1 เดือน หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล; X: กลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)



### 4.3 ผลการทดลองทางคลินิกกรายบุคคล

#### 4.3.1 ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 001

1) แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness Handicap Inventory) คะแนนเต็ม 100 คะแนนอาสาสมัครที่ได้ 54 คะแนนขึ้นไปถือว่ามีความเสี่ยงสูง ก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกอาสาสมัครรหัส 001 ได้ 36 คะแนน หลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง (3 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งหมด 4 สัปดาห์ รวมเป็นทั้งหมด 12 ครั้ง) พบว่าหลังฝึกได้ 2 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำ

2) การทดสอบการทรงตัว (Timed up and go test) มีเกณฑ์ประเมินอยู่ที่ 14 วินาที ถ้าใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า 14 วินาที ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ แต่ถ้าใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า 14 วินาทีถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง เวลาเฉลี่ยก่อนเข้า รับโปรแกรมการฝึกในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 20.88 และ 17.01 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง พบว่า ได้เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 13.87 และ 13.65 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ หลังจากนั้นมีการติดตามอาสาสมัครในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 12.87 และ 11.38 วินาที ตามลำดับ อาสาสมัครมีความเสี่ยงล้มต่ำ

3) 10-meter walk test มีการบันทึกผลดังนี้

จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 19 ก้าว หลังฝึก 18 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 1 ก้าว ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 11.5 วินาที หลังฝึก 12 วินาที ใช้เวลาเพิ่มขึ้น 0.5 วินาที

อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.83 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.83 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเท่าเดิม

cadence (จำนวนก้าวต่อนาที) ก่อนฝึก 99 ก้าวต่อนาที หลังฝึก 90 ก้าวต่อนาที ซึ่งมีจำนวนก้าวลดลงในเวลา 9 ก้าวต่อนาที

4) Dynamic gait index (DGI) (ซึ่งคะแนนเต็ม 24) ในอาสาสมัครรหัส 001 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 18 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ

5) ไม่มีอาการผิดปกติเกิดขึ้นในผู้ป่วยระหว่างการทดสอบในอาสาสมัครรหัส 001

#### 4.3.2 ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 002

1) แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness Handicap Inventory) คะแนนเต็ม 100 คะแนน อาสาสมัครที่ได้ 54 คะแนนขึ้นไปถือว่ามีความเสี่ยงสูง ก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกอาสาสมัครรหัส 002 ได้ 48 คะแนนถือเป็นการเสี่ยงล้มระดับกลาง หลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง (3 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งหมด 4 สัปดาห์ รวมเป็นทั้งหมด 12 ครั้ง) พบว่าหลังฝึกได้ 2 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำ

2) การทดสอบการทรงตัว (Timed up and go test) มีเกณฑ์ประเมินอยู่ที่ 14 วินาที ถ้าใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า 14 วินาที ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ แต่ถ้าใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า 14 วินาทีถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง เวลาเฉลี่ยก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 19.67 และ 18.23 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง พบว่า ได้เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 18.84 และ 18.69 วินาที ตามลำดับ ผลการทดสอบก่อนและหลังฝึกไม่ต่างกันมาก หลังจากนั้นมีการติดตามอาสาสมัครในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 16.44 และ 15.96 วินาที ตามลำดับ อาสาสมัครใช้เวลาในการทดสอบน้อยลง

3) 10-meter walk test มีการบันทึกผลดังนี้

จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 20.5 ก้าว หลังฝึก 22.5 ก้าว จำนวนก้าวเพิ่มขึ้น 2 ก้าว

ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 13.5 วินาที หลังฝึก 13 วินาที ใช้เวลาดลดลง 0.5 วินาที

อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.74 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.77 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.03 เมตรต่อวินาที

cadence (จำนวนก้าวต่อนาที) ก่อนฝึก 91 ก้าวต่อนาที หลังฝึก 104 ก้าวต่อนาที ซึ่งมีจำนวนก้าวเพิ่มขึ้น 13 ก้าวต่อนาที

4) Dynamic gait index (DGI) (ซึ่งคะแนนเต็ม 24) ในอาสาสมัครรหัส 002 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 19 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ

5) ไม่มีอาการผิดปกติเกิดขึ้นในผู้ป่วยระหว่างการทดสอบในอาสาสมัครรหัส 002

#### 4.3.3 ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 003

1) แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness Handicap Inventory) คะแนนเต็ม 100 คะแนน อาสาสมัครที่ได้ 54 คะแนนขึ้นไปถือว่ามีความเสี่ยงสูง ก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกอาสาสมัครรหัส 003 ได้ 50 คะแนนถือเป็นการเสี่ยงล้มระดับกลาง หลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง (3 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งหมด 4 สัปดาห์ รวมเป็นทั้งหมด 12 ครั้ง) พบว่าหลังฝึกได้ 18 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำ

2) การทดสอบการทรงตัว (Timed up and go test) มีเกณฑ์ประเมินอยู่ที่ 14 วินาที ถ้าใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า 14 วินาที ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ แต่ถ้าใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า 14 วินาทีถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง เวลาเฉลี่ยก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 172.07 และ 173.60 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง พบว่า ได้เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 73.11 และ 69.15 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการติดตามอาสาสมัครในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 70.45 และ 69.82 วินาที ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

3) 10-meter walk test มีการบันทึกผลดังนี้

จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 53 ก้าว หลังฝึก 34 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 19 ก้าว

ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 134 วินาที หลังฝึก 85 วินาที  
ใช้เวลาลดลง 49 วินาที

อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.07 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.12 เมตรต่อ  
วินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.05 เมตรต่อวินาที

cadence (จำนวนก้าวต่อนาที) ก่อนฝึก 24 ก้าว หลังฝึก 24 ก้าว จำนวนก้าวต่อ  
นาทีเท่ากัน

4) Dynamic gait index (DGI) (ซึ่งคะแนนเต็ม 24) ในอาสาสมัครรหัส 003 ได้  
คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 6 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 16 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้ม  
โดยมีคะแนนที่ดีขึ้น 10 คะแนนจากก่อนฝึก

5) ไม่มีอาการผิปกตติเกิดขึ้นในผู้ป่วยระหว่างการทดสอบในอาสาสมัครรหัส 003

#### 4.3.4 ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 004

1) แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness Handicap Inventory) คะแนน  
เต็ม 100 คะแนนอาสาสมัครที่ได้ 54 คะแนนขึ้นไปถือว่ามีความเสี่ยงสูง ก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึก  
อาสาสมัครรหัส 004 ได้ 18 คะแนนถือเป็นการเสี่ยงล้มระดับต่ำ หลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา  
12 ครั้ง (3 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งหมด 4 สัปดาห์ รวมเป็นทั้งหมด 12 ครั้ง) พบว่าหลังฝึกได้ 0 คะแนน ซึ่ง  
ถือเป็นความเสี่ยงต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง

2) การทดสอบการทรงตัว (Timed up and go test) มีเกณฑ์ประเมินอยู่ที่ 14  
วินาที ถ้าใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า 14 วินาที ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ แต่ถ้าใช้เวลาในการ  
ทดสอบมากกว่า 14 วินาทีถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง เวลาเฉลี่ยก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกในการ  
ทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 11.80 และ 13.24 วินาที ตามลำดับ ถือ  
ว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ ผลหลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง พบว่า ได้เวลาเฉลี่ยเดินวน  
ทางขวาและวนทางซ้ายคือ 9.88 และ 9.97 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการติดตามอาสาสมัครใน  
สัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 9.75 และ 9.02 วินาที ตามลำดับ  
เวลาที่ใช้ในการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

3) 10-meter walk test มีการบันทึกผลดังนี้

จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 17 ก้าว หลังฝึก 15.5 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 1.5  
ก้าว

ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 10 วินาที หลังฝึก 8 วินาที ใช้  
เวลาลดลง 2 วินาที

อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 1 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 1.25 เมตรต่อวินาที  
อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.25 เมตรต่อวินาที

cadence (จำนวนก้าวต่อนาที) ก่อนฝึก 102 ก้าว หลังฝึก 116 ก้าว จำนวนก้าว  
ต่อนาทีเพิ่มขึ้น 14 ก้าวต่อนาที

4) Dynamic gait index (DGI) (ซึ่งคะแนนเต็ม 24) ในอาสาสมัครรหัส 004 ได้  
คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 22 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ  
มากหรือแทบไม่มีความเสี่ยง

5) ไม่มีอาการผิดปกติเกิดขึ้นในผู้ป่วยระหว่างการทดสอบในอาสาสมัครรหัส 004

#### 4.3.5 ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 005

1) แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness Handicap Inventory) คะแนนเต็ม 100 คะแนนอาสาสมัครที่ได้ 54 คะแนนขึ้นไปถือว่ามีความเสี่ยงสูง ก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกอาสาสมัครรหัส 005 ได้ 8 คะแนนถือเป็นการเสี่ยงล้มระดับต่ำมาก หลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง (3 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งหมด 4 สัปดาห์ รวมเป็นทั้งหมด 12 ครั้ง) พบว่าหลังฝึกได้ 0 คะแนน ซึ่งถือเป็นการเสี่ยงต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง

2) การทดสอบการทรงตัว (Timed up and go test) มีเกณฑ์ประเมินอยู่ที่ 14 วินาที ถ้าใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า 14 วินาที ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ แต่ถ้าใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า 14 วินาทีถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง เวลาเฉลี่ยก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 15.45 และ 15.50 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง พบว่า ได้เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 12.47 และ 12.91 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการติดตามอาสาสมัครในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 14.72 และ 13.60 วินาที ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 มีความเสี่ยงล้มต่ำ

3) 10-meter walk test มีการบันทึกผลดังนี้

จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 19 ก้าว หลังฝึก 19 ก้าว จำนวนก้าวที่ใช้เท่าเดิม

ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 8.94 วินาที หลังฝึก 8.84 วินาที ใช้เวลาลดลง 0.105 วินาที

อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 1.12 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 1.13 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.01 เมตรต่อวินาที

cadence (จำนวนก้าวต่อนาที) ก่อนฝึก 128 ก้าว หลังฝึก 129 ก้าว

4) Dynamic gait index (DGI) (ซึ่งคะแนนเต็ม 24) ในอาสาสมัครรหัส 005 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 22 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำมากหรือแทบไม่มีความเสี่ยง

5) ไม่มีอาการผิดปกติเกิดขึ้นในผู้ป่วยระหว่างการทดสอบในอาสาสมัครรหัส 005

#### 4.3.6 ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 006

1) แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness Handicap Inventory) คะแนนเต็ม 100 คะแนนอาสาสมัครที่ได้ 54 คะแนนขึ้นไปถือว่ามีความเสี่ยงสูง ก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกอาสาสมัครรหัส 006 ได้ 20 คะแนนถือเป็นการเสี่ยงล้มระดับต่ำ หลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง (3 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งหมด 4 สัปดาห์ รวมเป็นทั้งหมด 12 ครั้ง) พบว่าหลังฝึกได้ 14 คะแนน ซึ่งถือเป็นการเสี่ยงต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง

2) การทดสอบการทรงตัว (Timed up and go test) มีเกณฑ์ประเมินอยู่ที่ 14 วินาที ถ้าใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า 14 วินาที ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ แต่ถ้าใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า 14 วินาทีถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง เวลาเฉลี่ยก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 48.83 และ 51.72 วินาที ตามลำดับ ถือ

ว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง พบว่า ได้เวลาเฉลี่ยเดินทางขวาและวนทางซ้ายคือ 37.38 และ 38.13 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการติดตามอาสาสมัครในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินทางขวาและวนทางซ้ายคือ 41.54 และ 41.72 วินาที ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 มีความเสี่ยงล้มสูงแต่ใช้ระยะเวลาลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการเข้ารับการฝึก

3) 10-meter walk test มีการบันทึกผลดังนี้

จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 43 ก้าว หลังฝึก 35 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 8 ก้าว  
ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 43.50 วินาที หลังฝึก 30.1

วินาที ใช้เวลาลดลง 13.40 วินาที

อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.23 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.33 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.1 เมตรต่อวินาที

cadence (จำนวนก้าวต่อนาที) ก่อนฝึก 59 ก้าว หลังฝึก 70 ก้าว จำนวนก้าวต่อนาทีเพิ่มขึ้น 11 ก้าวต่อนาที

4) Dynamic gait index (DGI) (ซึ่งคะแนนเต็ม 24) ในอาสาสมัครรหัส 006 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 10 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 17 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มปานกลางแต่ผลการประเมินอาสาสมัครได้คะแนนสูงขึ้น ความเสี่ยงล้มลดลงจากก่อนการฝึก

5) ไม่มีอาการผิดปกติเกิดขึ้นในผู้ป่วยระหว่างการทดสอบในอาสาสมัครรหัส 006

#### 4.3.7 ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 007

1) แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness Handicap Inventory) คะแนนเต็ม 100 คะแนนอาสาสมัครที่ได้ 54 คะแนนขึ้นไปถือว่ามีความเสี่ยงสูง ก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกอาสาสมัครรหัส 007 ได้ 12 คะแนนถือเป็นการเสี่ยงล้มระดับต่ำมาก หลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง (3 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งหมด 4 สัปดาห์ รวมเป็นทั้งหมด 12 ครั้ง) พบว่าหลังฝึกได้ 6 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง

2) การทดสอบการทรงตัว (Timed up and go test) มีเกณฑ์ประเมินอยู่ที่ 14 วินาที ถ้าใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า 14 วินาที ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ แต่ถ้าใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า 14 วินาทีถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง เวลาเฉลี่ยก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกในการทดสอบมีการเดินทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 27.60 และ 27.69 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง พบว่า ได้เวลาเฉลี่ยเดินทางขวาและวนทางซ้ายคือ 38.11 และ 38.13 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการติดตามอาสาสมัครในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินทางขวาและวนทางซ้ายคือ 36.58 และ 31.44 วินาที ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 เพิ่มจากก่อนฝึกเนื่องจากอาสาสมัครมีอาการปวดกล้ามเนื้อ

3) 10-meter walk test มีการบันทึกผลดังนี้

จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 34 ก้าว หลังฝึก 33 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 1 ก้าว  
ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 24.48 วินาที หลังฝึก 24.08

วินาที ใช้เวลาลดลง 0.40 วินาที

อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.41 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.42 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.01 เมตรต่อวินาที

cadence (จำนวนก้าวต่อนาที) ก่อนฝึก 83 ก้าว หลังฝึก 82 ก้าว จำนวนก้าวต่อนาทีลดลง 1 ก้าวต่อนาที

4) Dynamic gait index (DGI) (ซึ่งคะแนนเต็ม 24) ในอาสาสมัครรหัส 007 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 15 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 19 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงลัมปานกลาง

5) มีอาการผิดปกติเกิดขึ้นในผู้ป่วยระหว่างการทดสอบในอาสาสมัครรหัส 007 คืออาการปวดกล้ามเนื้อ

#### 4.3.8 ผลการทดสอบทางคลินิกของอาสาสมัครรหัส 008

1) แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness Handicap Inventory) คะแนนเต็ม 100 คะแนนอาสาสมัครที่ได้ 54 คะแนนขึ้นไปถือว่ามีความเสี่ยงสูง ก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกอาสาสมัครรหัส 008 ได้ 12 คะแนนถือเป็นการเสี่ยงลัมระดับต่ำมาก หลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง (3 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งหมด 4 สัปดาห์ รวมเป็นทั้งหมด 12 ครั้ง) พบว่าหลังฝึกได้ 0 คะแนน ซึ่งถือเป็นการเสี่ยงต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง

2) การทดสอบการทรงตัว (Timed up and go test) มีเกณฑ์ประเมินอยู่ที่ 14 วินาที ถ้าใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า 14 วินาที ถือว่ามีความเสี่ยงลัมต่ำ แต่ถ้าใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า 14 วินาทีถือว่ามีความเสี่ยงลัมสูง เวลาเฉลี่ยก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึกในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 12.22 และ 11.39 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงลัมต่ำ ผลหลังจากผ่านการฝึกเป็นระยะเวลา 12 ครั้ง พบว่า ได้เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 9.80 และ 9.47 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการติดตามอาสาสมัครในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 10.48 และ 9.74 วินาที ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 มีความเสี่ยงลัมต่ำ

3) 10-meter walk test มีการบันทึกผลดังนี้  
จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 16 ก้าว หลังฝึก 16 ก้าว จำนวนก้าวที่ใช้เท่าเดิม  
ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 7.46 วินาที หลังฝึก 7.23 วินาที ใช้เวลาลดลง 0.23 วินาที

อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 1.34 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 1.38 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.04 เมตรต่อวินาที

cadence (จำนวนก้าวต่อนาที) ก่อนฝึก 129 ก้าว หลังฝึก 133 ก้าว จำนวนก้าวต่อนาทีเพิ่มขึ้น 4 ก้าวต่อนาที

4) Dynamic gait index (DGI) (ซึ่งคะแนนเต็ม 24) ในอาสาสมัครรหัส 008 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 22 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงลัมต่ำมากหรือแทบไม่มีความเสี่ยง

5) ไม่มีอาการผิดปกติเกิดขึ้นในผู้ป่วยระหว่างการทดสอบในอาสาสมัครรหัส 008

#### 4.4 วัดผล feasibility study ของการทำกายภาพบำบัดระยะไกล

ตามเกณฑ์ ของ Bowen, D. J., Kreuter, M., Spring, B., Linnan, L., Weiner, D., Bakken, S., Kaplan, C. P., Squiers, L., & Fabrizio, C. (2010). NIH Public Access. 36(5), 452–457. ได้แก่

##### 1) Safety: adverse events, assistance levels, tolerance

ในการวิจัยครั้งนี้ ไม่พบความผิดปกติรุนแรงใดๆขณะทำการทดสอบ รวมไปถึงการฟื้นฟูที่โรงพยาบาลและการฟื้นฟูทางไกล มีเพียงการเมื่อยล้าจากการทดสอบ ซึ่งผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำและอาสาสมัคร สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำและการฝึกได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย โดยจากแบบประเมินพบว่าผู้ป่วยและผู้ดูแลให้คะแนนหัวข้อด้านความปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 100 (คะแนนเฉลี่ย 5 จาก 5) และ ผลจากแบบประเมินหัวข้ออาการไม่พึงประสงค์ก่อนและหลังฝึก (Mean±SD.) คือ  $2.23 \pm 0.45$  และ  $1.08 \pm 0.15$  ตามลำดับโดยที่กลุ่มที่อาการไม่พึงประสงค์ก่อนและหลังฝึกที่โรงพยาบาล คือ  $2.35 \pm 0.3$  และ  $1.15 \pm 0.19$  กลุ่มที่ได้รับการฟื้นฟูทางไกล คือ  $2.1 \pm 0.58$  และ  $1 \pm 0.00$  ตามลำดับ

##### 2) Compliance with protocol activities: Treatment sessions, Assessments, Sensor usage during treatment sessions

ผู้ป่วยสามารถฝึกได้ตามเป้าหมาย ในแง่ระยะเวลา ความถี่ และความเข้มข้นของการฝึก โดยผู้ป่วยสามารถจัดเวลาในการฝึกตามเวลาที่สะดวก โดยจากแบบประเมินพบว่าผู้ป่วยและผู้ดูแลให้คะแนนหัวข้อรูปแบบการฝึกและความเหมาะสมคิดเป็นร้อยละ 90.7 (คะแนนเฉลี่ย 4.54 จาก 5)

##### 3) Participant Acceptability

ผู้ป่วยยอมรับและสนใจที่จะฝึกต่อเนื่อง เนื่องจากรู้สึกว่าการฝึกแล้วสามารถเดินได้ดีขึ้น วิงเวียนลดลง

##### 4) Efficacy Indicators

จากแบบประเมินพบว่าผู้ป่วยและผู้ดูแลให้คะแนนหัวข้อสิ่งที่ได้รับคิดเป็นร้อยละ 95 (คะแนนเฉลี่ย 4.75 จาก 5)

การประเมินผลกระทบอาการเวียนศีรษะต่อการดำรงชีวิตประจำวัน โดยใช้ แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness handicap inventory) พบว่าอาสาสมัครทุกราย วิงเวียนลดลง

การประเมินผลการเดิน 10-meter walk test, timed up and go, dynamic gait index พบว่าความสามารถในการเดินดีขึ้น

เมื่อตรวจติดตามการเดินโดยการประเมินการทดสอบการทรงตัว (Timed up and go test) หลังสิ้นสุดการทำกายภาพบำบัด และตรวจติดตาม ที่ 1 เดือนหลังสิ้นสุดการทำกายภาพบำบัด ครั้งสุดท้าย พบว่าผลการเดินที่ดีขึ้นนี้มีผลคงอยู่นานถึง 1 เดือน

ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปผลการประเมินและการทดสอบทางคลินิก

Clinical test	Hospital-based (Mean±SD.)			Telerehabilitation (Mean±SD.)		
	Pre	Post	F/U	Pre	Post	F/U
DHI	21.5±10.25	2±2.83	-	29.5±22.59	5±8.72	-
10mWT -Velocity	0.63±0.37	0.71±0.42	-	0.82±0.56	0.85±0.55	-
10mWT -Time	22.37±15.51	18.54±10.30	-	40.97±62.07	28.52±37.74	--
10mWT -Steps	28.25±12.42	25.38±10.04	-	27.13±17.35	22.88±7.88	-
10mWT -Cadence	85.95±19.56	89.57±19.65	-	92.78±49.24	97.44±50.62	-
TUGT วนข้างปกติ	26.67±15.98	24.78±15.05	24.63±16.81	55.25±78.96	27.68±27.90	27.59±15.23
TUGT วนข้างอ่อนแรง	28.02±17.08	24.30±14.48	23.95±15.23	54.29±78.57	28.44±30.03	27.72±28.61
DGI	16.25±5.06	21±3.56	-	17.25±7.63	22±4	-

หมายเหตุ DHI คือ แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ; 10mWT คือ การทดสอบการเดินระยะ 10 เมตร (Velocity คือ ความเร็วที่ใช้; Time คือ เวลาที่ใช้; Steps คือ จำนวนก้าวที่ใช้; Cadence คือจำนวนก้าวต่อนาที); TUGT คือ การทดสอบการเดินทรงตัว; DGI คือ การทดสอบการเดินแบบไดนามิก

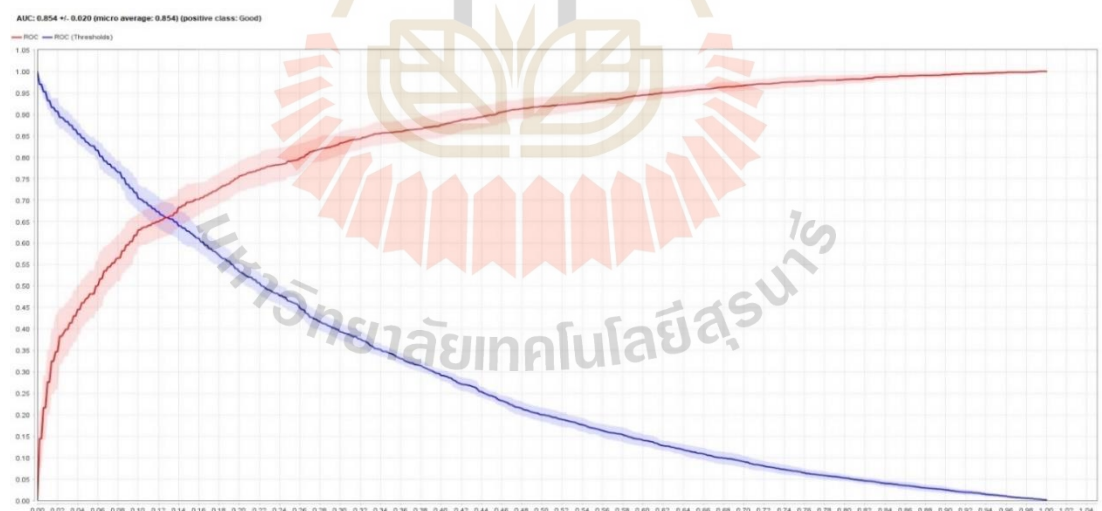


#### 4.5 การประเมินผลของโมเดล

จากการประเมินโมเดล แบ่งผลลัพธ์ออกเป็น 4 รูปแบบ คือ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และ ค่าความถ่วงดุล (F-measure) โดยการตั้งค่าในโปรแกรม rapidminer โดยข้อมูล ทั้งหมด 4,608 ข้อมูล โดยการใช้วิธี 10-fold cross validation โดยมีการสุ่มข้อมูลแบบชั้นภูมิ (Stratified sampling) โดยตัวอย่างผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยคอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion matrix) ดังตารางที่ 4.5 และการแสดงผลด้วย Receiver Operator Characteristic (ROC) curve และค่าพื้นที่ใต้กราฟ (Area under the curve, AUC) ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างคอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion matrix)

	true Good	true Poor	class precision
pred. Good	1778	503	77.95%
pred. Poor	526	1801	77.40%
class recall	77.17%	78.17%	



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างของกราฟ ROC

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้ทราบถึงค่าความถูกต้อง คือ  $77.67\% \pm 2.36\%$  ค่าความแม่นยำ คือ  $77.50\% \pm 3.36\%$  ค่าเรียกคืน คือ  $78.17\% \pm 1.54\%$  ค่าความถ่วงดุล คือ  $77.80\% \pm 2.04\%$  และค่าพื้นที่ใต้กราฟ จากรูปที่ มีค่าเท่ากับ  $0.854 \pm 0.020$

- 4.5.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (K-Nearest Neighbors, KNN) วิธีการถดถอยลอจิสติก (Logistic regression) วิธีการของเบย์ (Naïve Bayes) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial intelligence, ANN) และวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine)

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (K-Nearest Neighbors, KNN)

	true Good	true Poor	class precision
pred. Good	2107	130	94.19%
pred. Poor	197	2174	91.69%
class recall	91.45%	94.36%	

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการถดถอยลอจิสติก (Logistic regression, LR)

	true Good	true Poor	class precision
pred. Good	1778	503	77.95%
pred. Poor	526	1801	77.40%
class recall	77.17%	78.17%	

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีการของเบย์ (Naïve Bayes, NB)

	true Good	true Poor	class precision
pred. Good	1646	734	69.16%
pred. Poor	658	1570	70.47%
class recall	71.44%	68.14%	

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network, ANN) Accuracy

	true Good	true Poor	class precision
pred. Good	2015	264	88.42%
pred. Poor	289	2040	87.59%
class recall	87.46%	88.54%	

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธี ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine, SVM)

	true Good	true Poor	class precision
pred. Good	1974	346	85.09%
pred. Poor	330	1958	85.58%
class recall	85.68%	84.98%	

ตารางที่ 4.11 สรุปค่า Accuracy Precision Recall F\_measure และ AUC-ROC

Models	Accuracy	Precision	Recall	F_measure	AUC-ROC
KNN	92.90% ± 1.13%	91.72% ± 1.66%	94.36% ± 1.81%	93.00% ± 1.13%	0.980 ± 0.006
LR	77.67% ± 2.36%	77.50% ± 3.36%	78.17% ± 1.54%	77.80% ± 2.04%	0.854 ± 0.020
NB	69.79%±1.84%	70.50% ± 2.16%	68.14% ± 2.98%	69.27% ± 2.02%	0.715 ± 0.030
ANN	88.00%±1.26%	87.68% ± 2.17%	88.55% ± 3.26%	88.05% ± 1.38%	0.944 ± 0.010
SVM	85.33%±1.52%	85.19% ± 2.73%	85.67% ± 1.97%	85.39% ± 1.37%	0.924 ± 0.011

จากตารางที่ 4.11 พบว่าความสามารถในการทำงานของโมเดลในแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน โดยผลที่ได้คือ การใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (KNN) มีค่าความถูกต้องคือ  $92.90\% \pm 1.13\%$  ค่าความแม่นยำคือ  $91.72\% \pm 1.66\%$  ค่าความระลึคือ  $94.36\% \pm 1.81\%$  ค่าความถ่วงดุลคือ  $93.00\% \pm 1.13\%$  และ ค่า AUC คือ  $0.980 \pm 0.006$  ประสิทธิภาพของวิธี logistic regression มีค่าความถูกต้องคือ  $77.67\% \pm 2.36\%$  ค่าความแม่นยำคือ  $77.50\% \pm 3.36\%$  ค่าความระลึคือ  $78.17\% \pm 1.54\%$  ค่าความถ่วงดุลคือ  $77.80\% \pm 2.04\%$  และค่า AUC คือ  $0.854 \pm 0.020$  ประสิทธิภาพของวิธี naïve bayes มีค่าความถูกต้องคือ  $69.79\% \pm 1.84\%$  ค่าความแม่นยำคือ  $70.50\% \pm 2.16\%$  ค่าความระลึคือ  $68.14\% \pm 2.98\%$  ค่าความถ่วงดุลคือ  $69.27\% \pm 2.02\%$  และค่า AUC คือ  $0.715 \pm 0.030$  ประสิทธิภาพของวิธี artificial neural network มีค่าความถูกต้องคือ  $88.00\% \pm 1.26\%$  ค่าความแม่นยำคือ  $87.68\% \pm 2.17\%$  ค่าความระลึคือ  $88.55\% \pm 3.26\%$  ค่าความถ่วงดุลคือ  $88.05\% \pm 1.38\%$  และค่า AUC คือ  $0.944 \pm 0.010$  ประสิทธิภาพของวิธี support vector machine มีค่าความถูกต้องคือ  $85.33\% \pm 1.52\%$  ค่าความแม่นยำคือ  $85.19\% \pm 2.73\%$  ค่าความระลึคือ  $85.67\% \pm 1.97\%$  ค่าความถ่วงดุลคือ  $85.39\% \pm 1.37\%$  และค่า AUC คือ  $0.924 \pm 0.011$

#### 4.6 อภิปรายผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในระบบการฟื้นฟูทางไกลในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองกึ่งเฉียบพลันที่มีรอยโรคบริเวณเส้นเลือดสมองส่วนหลังและมีอาการวิงเวียนโดยมีผู้ป่วยจำนวน 8 ราย ประกอบด้วยผู้ป่วยที่ได้รับการทำการฟื้นฟูการทรงตัวที่โรงพยาบาล 4 ราย และการฟื้นฟูการทรงตัวทางไกล 4 ราย โดยผู้ป่วยทุกคนจะได้รับการแนะนำการทำกายภาพบำบัดพื้นฐานที่เหมือนกัน และจะได้รับการฝึกฟื้นฟูการทรงตัวด้วย vestibular rehabilitation ทั้ง 2 กลุ่ม ผลการประเมินด้วยแบบประเมินและการทดสอบทางคลินิก พบว่า ผู้ป่วยทั้ง 2 กลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยวิธีดังกล่าวมีแนวโน้มการฟื้นตัวที่ดีขึ้น ทั้งการประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ การทดสอบการเดินในรูปแบบต่างๆ ซึ่งผลที่ได้ก็นั้นสอดคล้องกับผลของงานวิจัย (Elhamrawy et al., 2021) ที่มีการใช้การฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวในผู้ป่วยหลังเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ที่มีการละเลยครึ่งซีก (hemineglect) และนำมาวิเคราะห์ค่าที่สำคัญสำหรับการเดินที่เกี่ยวข้องกับระยะทางและเวลา (Spatio-temporal gait parameters) พบว่า หลังสัปดาห์ที่ 4 และ 8 ผู้ป่วยที่เป็นกลุ่มทดลองมีการเพิ่มขึ้นของระยะความยาวก้าวของขา ด้านอ่อนแรงและด้านปกติ ความเร็วที่ใช้ในการเดิน ระยะก้าวต่อนาทีของผู้ป่วย (cadence) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการทดสอบการเดินทรงตัวโดยวนข้างปกติและอ่อนแรง (TUGT) พบว่าผู้ป่วยใช้เวลาในการเดินลดลงหลังจากที่ได้รับการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวทั้งหลังการฝึกและช่วงระยะเวลาติดตาม 1 เดือน การทดสอบการเดินแบบไดนามิกที่มีแบบทดสอบใกล้เคียงกับการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น เดินซิกแซก การเดินหมุนตัว การเดินข้ามสิ่งกีดขวาง เป็นต้น คะแนนเฉลี่ยที่ผู้ป่วยทำได้มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเดินที่ดีขึ้น สามารถทำกิจกรรมนั้นได้ดี โดยมีความสอดคล้องกับงานวิจัย (Balci et al., 2013) ที่ใช้การฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองส่วนหลัง พบว่ามีการทรงตัวและการเดินที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยประเมินจากแบบทดสอบต่างๆ (Berg Balance Scale (BBS), time-up and go test (TUGT), dizziness handicap

inventory (DHI), and dynamic gait index (DGI)) โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา (Nikolaev, V. A., & Nikolaev, A. A., 2022). ในช่วงปี 2018 ถึง 2021 มีการศึกษาเกี่ยวกับการฟื้นฟูทางไกลในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง พบว่าการฟื้นฟูทางไกลมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในผู้ป่วยที่มีความบกพร่องของรยางค์แขนและขา (Upper and lower disabilities) ผู้ป่วยที่มีปัญหาการทรงตัว (Balance problems) ผู้ป่วยที่มีภาวะละเลยครึ่งซีก (neglect) ภาวะบกพร่องทางพุทธิปัญญา (cognitive impairments) ภาวะบกพร่องทางการสื่อสาร (Aphasia) และปัญหาทางด้านการพูดและภาษา จากงานวิจัย Cramer, S. C., (2019). ศึกษาการฟื้นฟูทางไกลในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีปัญหาด้านการสั่งการกล้ามเนื้อ ในกลุ่มอายุ  $61 \pm 14$  ปี หลังจากเกิดพยาธิสภาพ 4-36 สัปดาห์ โดยมีแบบทดสอบการตรวจแรงกล้ามเนื้อแขน (Fugl meyer arm motor scale) โดยมีการแบ่งกลุ่ม เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ฝึกที่คลินิก และกลุ่มที่ฝึกทางไกล ระยะเวลาฝึก 6-8 สัปดาห์ มีทั้งหมด 36 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลา 70 นาที และพัก 10 นาที ทั้ง 2 กลุ่มจะได้รับการฝึกประเภทเดียวกัน การแนะนำที่เหมือนกัน ผลลัพธ์ของคะแนนแบบทดสอบการตรวจแรงกล้ามเนื้อแขน พบว่า ที่การเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 2 กลุ่มในสัปดาห์ที่ 4 อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ได้ฟื้นฟูทางไกลมีความพึงพอใจและมีแรงกระตุ้นมากกว่ากลุ่มที่ฝึกที่คลินิก งานวิจัยนี้ยังกล่าวอีกว่า ระบบการฟื้นฟูทางไกลมีส่วนช่วยให้เข้าถึงระบบสุขภาพมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีการพัฒนาเรื่องระบบสัญญาณ รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับการฟื้นฟูในอนาคต โดยมีการศึกษาการฟื้นฟูทางไกลเพื่อฟื้นฟูปัญหาการทรงตัว (Balance problems) จากการศึกษา (Chen, S. C., et al., 2021) การฝึกการทรงตัวของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะเรื้อรัง โดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง (ฟื้นฟูทางไกล) และกลุ่มควบคุม (ฟื้นฟูที่โรงพยาบาล) ใช้ระยะเวลาในการฟื้นฟู 40 นาที/ครั้ง 3 ครั้ง/สัปดาห์ รวม 4 สัปดาห์ ผลลัพธ์พบว่าการเพิ่มขึ้นของคะแนนการประเมินการทรงตัว (Berg balance scale) ทั้ง 2 กลุ่ม แต่ในกลุ่มที่ฟื้นฟูทางไกลมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของการทรงสอบการเดินทรงตัว (Timed-up and go test) จากผลทั้งหมดทางคลินิกของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังในงานวิจัยนี้ พบว่าการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวมีส่วนช่วยให้ผู้ป่วยทั้งสองกลุ่ม (กลุ่มฟื้นฟูทางไกลและกลุ่มฟื้นฟูที่โรงพยาบาล) มีการทรงตัวที่มีแนวโน้มที่ดีขึ้น ลดปัญหาการวิงเวียน และความเสื่องล้มได้ จากผลทางคลินิกทำให้ทราบว่าการฝึกแบบเน้นการทรงตัวมีความสำคัญและส่งเสริมให้ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังมีการเดินที่ดีขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ลดปัญหาผู้ป่วยติดเตียงหรือทุพพลภาพ โดยที่ระบบการฟื้นฟูทางไกลเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผู้ป่วยที่มีภาวะโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังได้รับการฟื้นฟูหรือทำกายภาพบำบัดได้ โดยลดปัญหาการเดินทาง โดยที่ยังสามารถเข้าถึงการทำกายภาพบำบัดได้อย่างถูกต้องจากนักกายภาพบำบัดหรือแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

จากวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับการทดสอบทางคลินิกเกี่ยวกับการเดินและการทรงตัว ผลของกระบวนการสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ด้วยเครื่องจากโปรแกรม Rapidminer พบว่าผลการศึกษาด้านปัญญาประดิษฐ์ที่มีการใช้การเรียนรู้ด้วยเครื่องทดสอบประสิทธิภาพพบว่า วิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (KNN) และ โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็น 2 อันดับแรก โดยวิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (KNN) มีค่าความถูกต้องคือ  $92.90\% \pm 1.13\%$  ค่าความแม่นยำคือ  $91.72\% \pm 1.66\%$  ค่าความระลึกคือ  $94.36\% \pm 1.81\%$  ค่าความถ่วงดุลคือ  $93.00\% \pm 1.13\%$  และ ค่า AUC

คือ  $0.980 \pm 0.006$  และผลจากวิธี artificial neural network ซึ่งมีค่าความถูกต้องคือ  $88.00\% \pm 1.26\%$  ค่าความแม่นยำคือ  $87.68\% \pm 2.17\%$  ค่าความระลึกคือ  $88.55\% \pm 3.26\%$  ค่าความถ่วงดุลคือ  $88.05\% \pm 1.38\%$  และค่า AUC คือ  $0.944 \pm 0.010$  ซึ่งทั้งสองโมเดลมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Md Isa, N. E. Z. et. al., 2017) กล่าวว่าการใช้โมเดล KNN ในการจำแนกข้อมูลมีความถูกต้องและเหมาะสมกับข้อมูลในรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมอง รวมถึงมีงานวิจัยที่ใช้โมเดล (Birjandtalab, J., et. al., 2017). KNN ในการจำแนกคลื่นไฟฟ้าสมองในคนที่มีภาวะลมชัก และไม่มีภาวะลมชัก จากการศึกษาที่ผ่านมา (Mustafa, M. et. al., 2012) พบว่าค่าความถูกต้องของการใช้โมเดล KNN และ ANN ในการจำแนกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองอยู่ในช่วงร้อยละ 78 ถึง 98 จากงานวิจัย (Krishnan, N., et. al., 2016) โดยงานวิจัยที่ผ่านมานี้มุ่งเน้นการจำแนกสัญญาณสำหรับใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยเก็บสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองขณะกะพริบตาจากอุปกรณ์ Emotiv Epoc แบบ 14 ช่องจากคนสุขภาพดี 10 ราย โดยมีการใช้ โมเดล 2 ประเภท คือ KNN และ ANN ผลพบว่า ANN ให้ความถูกต้อง (accuracy) เท่ากับ  $98.58\%$  และความไว (sensitivity) เท่ากับ  $94\%$  เมื่อเปรียบเทียบกับตัวจำแนกด้วยวิธี KNN ที่ให้ความถูกต้อง (accuracy) เท่ากับ  $96.06\%$  และความไว เท่ากับ  $87.42\%$  ซึ่งประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ทั้ง 2 วิธี จากงานวิจัยของ (Saeidi, M. et. al., 2021) ที่ศึกษาวิธีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ที่มีการใช้ในการศึกษาค้นคว้าสมองโดยส่วนใหญ่จะใช้โมเดล SVM KNN และ NN ใช้ศึกษาในหลากหลายหัวข้อ เช่น ด้านการนอน ด้านอารมณ์ ด้านการใช้การจินตนาการ ด้านวินิจฉัยอาการชัก เป็นต้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ซึ่งมีผลลัพธ์เป็น 3 อันดับแรกที่มีประสิทธิภาพสูง โดยงานวิจัยในอดีตพบว่า ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการจัดกลุ่มสำหรับข้อมูลในกลุ่มอาการความเสื่อมของระบบประสาท (Neurodegenerative conditions) คือ KNN และ SVM ในอีกทางหนึ่งมีการใช้ LR และ NB เป็นส่วนน้อยหรือการศึกษาเฉพาะด้าน เช่น ในด้านการจินตนาการการเคลื่อนไหว (Motor imagery, MI) หรือการศึกษาทางด้านอารมณ์ อย่างไรก็ตามการใช้ LR และ NB มีข้อจำกัดในการจัดการข้อมูลที่มีความซับซ้อนและมีหลายมิติ ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังร่วมกับผลทางคลินิก และนำมาจำแนกโดยปัญญาประดิษฐ์ทั้งนี้งานวิจัยที่ผ่านมามีได้อธิบายเกี่ยวกับการใช้โมเดล KNN ว่าเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนมากแต่ให้ประสิทธิภาพสูง จัดการสัญญาณรบกวนได้ดี และสำหรับโมเดล ANN สามารถใช้กับข้อมูลที่ไม่ได้เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น รวมถึงสามารถวิเคราะห์ชุดข้อมูลที่มีความซับซ้อน เช่น คลื่นไฟฟ้าสมองได้ รวมไปถึงวิธี SVM ที่มีการใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางคลื่นไฟฟ้าสมองอย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพสูง และมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์หรือฟังก์ชันเพิ่มเติมให้สามารถจำแนกข้อมูลที่ไม่เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นได้ ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้ขึ้นกับปัจจัยหลากหลายด้าน เช่น ข้อมูล เรื่องที่ต้องการศึกษา รวมถึงขั้นตอนการจำแนกและกระบวนการเตรียมข้อมูลก่อนเข้าสู่กระบวนการทางปัญญาประดิษฐ์ รวมถึงการกำหนดค่าต่าง ๆ ในโมเดลซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

ตารางที่ 4.12 ผลของการฝึกแบบเน้นการทรงตัวกับลักษณะคลื่นไฟฟ้าสมองในแต่ละย่านความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและสอดคล้องกับผลทางคลินิกที่ดีขึ้น ด้วยวิธีสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman correlation)

	EEG while turning to normal side during time up and go		EEG while turning to hemiparetic side during time up and go	
	hemisphere with stroke lesions	hemisphere without stroke lesions	hemisphere with stroke lesions	hemisphere without stroke lesions
dynamic gait index (DGI)	- decreased alpha activity at C3, C4 - decreased alpha activity at O1, O2 - decreased alpha activity at P9, P10	-decreased alpha activity at FC5, FC6		
		- decreased beta activity at FC5, FC6	- decreased beta activity at F7, F8 - decreased beta activity at FT9, FT10	
		- increased theta activity at FC5, FC6	- increased theta activity at FT9, FT10	
Timed up and go	- decreased alpha activity at P3, P4, P7, P8	- decreased alpha activity at CP1, CP2, FC1, FC2	- decreased alpha activity at P3, P4, P7, P8	- decreased alpha activity at CP1, CP2, FC1, FC2
Dizziness handicap inventory		- increased alpha activity at P9, P10	- increased alpha activity at FP1, FP2, P7, P8	- decreased alpha activity at FT9, FT10

ตารางที่ 4.12 ผลของการฝึกแบบเน้นการทรงตัวกับลักษณะคลื่นไฟฟ้าสมองในแต่ละย่านความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและสอดคล้องกับผลทางคลินิกที่ดีขึ้นด้วยวิธีสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman correlation) (ต่อ)

	EEG while turning to normal side during time up and go		EEG while turning to hemiparetic side during time up and go	
	hemisphere with stroke lesions	hemisphere without stroke lesions	hemisphere with stroke lesions	hemisphere without stroke lesions
	- increased beta activity at F3, F4, P7, P8	- increased beta activity at FP1, FP2, P7, P8	- increased beta activity at FC1, FC2, O1, O2, P9, P10	- increased beta activity at C3, C4, P3, P4, CP5, CP6, FT9, FT10, O1, O2, P7, P8
	- decreased theta activity at FT9, FT10, FP1, FP2, O1, O2, P7, P8, P9, P10	- decreased theta activity at C3, C4, FP1, FP2, O1, O2, P7, P8	- decreased theta activity at F3, F4, CP5, CP6, FP1, FP2, O1, O2, P7, P8, P9, P10	- decreased theta activity at C3, C4

จากตารางที่ 4.12 แสดงถึงผลของการฝึกแบบเน้นการทรงตัวกับลักษณะคลื่นไฟฟ้าสมองในแต่ละย่านความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับผลทางคลินิกที่ดีขึ้นด้วยวิธีสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน โดยผลลัพธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองกับการทดสอบการเดินแบบไดนามิก พบว่ามีการลดลงของคลื่นอัลฟาในสมองด้านที่มีรอยโรคซึ่งสัมพันธ์กับสมองด้านการสั่งการ ด้านการมองเห็น และด้านการรับรู้ความรู้สึก การลดลงของคลื่นอัลฟาและเบต้า แต่เพิ่มขึ้นในคลื่นอีต้าในสมองด้านที่ไม่มีรอยโรคสัมพันธ์กับสมองด้านการตอบสนองการเคลื่อนไหว (Motor response) และการตรวจจับเป้าหมายจากการมองเห็น (Visual target detection) การลดลงของคลื่นเบต้าและเพิ่มขึ้นของคลื่นอีต้าในสมองด้านที่มีรอยโรคสัมพันธ์กับสมองส่วนการเคลื่อนไหวภายใต้อำนาจของจิตใจและการคิดเชิงบริหาร นอกจากนี้คลื่นอีต้าที่เพิ่มขึ้นยังสัมพันธ์กับการทำงานของสมองด้านความตั้งใจ ความจำ และการตัดสินใจ ผลลัพธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองกับการทดสอบการทรงตัว (TUGT) พบว่า มีการลดลงของคลื่นอัลฟาในสมองทั้ง 2 ด้าน ที่มีความสัมพันธ์กับสมองด้านการสั่งการ ด้านการมองเห็น และด้านการรับรู้ความรู้สึก ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองกับการแบบประเมินอาการวิงเวียน พบว่ามีความสัมพันธ์กับสมองทั้งสองด้านในช่วงคลื่นอีต้า อัลฟา และเบต้า จากงานวิจัยที่ผ่านมา (Edwards, A. E. et. al., 2018) มีการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นอีต้า พบว่า มีการเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีความจำเป็นต้องรักษาสมดุลในการทรงตัวมากขึ้น



บริเวณสมองกลีบข้าง (Parietal lobe) และสมองส่วนหน้า (Frontal lobe) นอกจากนี้ การลดลงของคลื่นอัลฟาสัมพันธ์กับความยากของกิจกรรมที่เพิ่มขึ้นโดยเป็นการแสดงให้เห็นถึงการทำงาน เพื่อส่งข้อมูลของสมองส่วนทาลามัสกับสมองกลีบข้าง (Thalamo-cortical information transfer) และแสดงถึงการทำงานของสมองที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งการเดินยังมีความเกี่ยวข้องกับคลื่นเบต้า จากการศึกษาที่ผ่านมา (Bruijn, S. M. et. al., 2015) เกี่ยวกับการทำงานของสมองในการทรงตัว พบว่าเมื่อให้อาสาสมัครเดินบนคานทรงตัว (Balance beam) มีผลทำให้เกิดการลดลงของคลื่นเบต้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสมองทั้งสองข้าง (Sensory motor cortex) และมีการเพิ่มขึ้นของคลื่นอีต้าบริเวณสมองส่วนต่าง ๆ (Anterior cingulate, anterior parietal, superior dorsolateral-prefrontal, and medial sensorimotor cortex) ซึ่งมีงานวิจัยแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของคลื่นอีต้าในสมองส่วนหน้า (Frontal) ส่วนกลาง (Central) และด้านข้าง (Parietal) เมื่อจำเป็นต้องมีการรักษาการทรงตัวที่ยากขึ้น ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของคลื่นไฟฟ้าสมองมีความจำเพาะในแต่ละช่วงความถี่ ส่วนต่าง ๆ ของสมอง และลักษณะของกิจกรรม เป็นต้น

ในการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นรูปแบบที่จะสามารถช่วยพัฒนาระบบการฟื้นฟูทางไกลและด้านปัญญาประดิษฐ์ โดยทางด้านคลินิกสามารถศึกษาต่อยอดวิธีการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวได้ รวมถึงเข้าใจประโยชน์ของการฟื้นฟูทางไกลทั้งนี้เพื่อลดปัญหาด้านการเดินทาง ลดความเสี่ยงล้มและอาการเวียนศีรษะขณะผู้ป่วยมีการเคลื่อนไหว หรือนั่งยานพาหนะได้ ลดความแออัดหรือการมาโรงพยาบาลโดยไม่จำเป็น เพิ่มโอกาสที่ผู้ป่วยที่มีภาวะโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังจะได้รับการบริการทางกายภาพบำบัดสม่ำเสมอเพื่อให้ผลการรักษามีประสิทธิภาพ รวมถึงผู้ป่วยสามารถสอบถามข้อสงสัยในการฟื้นฟูได้โดยไม่ต้องรอรอกันต์ของนักกายภาพบำบัดหรือแพทย์ในครั้งถัดไป นอกจากนี้ผลลัพธ์ทางคลินิกที่ได้ยังสามารถนำไปวิเคราะห์ร่วมกับคลื่นไฟฟ้าสมองโดยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ได้เพื่อจำแนกความสามารถในการเดินทรงตัวและประเมินโอกาสเสี่ยงล้มในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังร่วมกับประเมินหรือการทดสอบแบบดั้งเดิมของแพทย์หรือนักกายภาพบำบัดได้ ซึ่งผู้ป่วยแต่ละรายที่เป็นโรคหลอดเลือดสมองอาจมีปัญหาในด้านต่างๆที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถออกแบบการฟื้นฟูที่มีประสิทธิภาพในคนไข้รายบุคคลได้ (Tailor-made rehabilitation) นอกจากการหมุนกลับตัวผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยทางระบบประสาทยังมีโอกาสเสี่ยงล้มได้ทั้งขณะลุกยืน หรือการนั่งลงได้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไปสำหรับงานวิจัยในอนาคต โดยวัตถุประสงค์ที่ได้มาซึ่งผลลัพธ์ของการวิจัยนี้เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาเพื่อช่วยแพทย์นักกายภาพบำบัดหรือบุคลากรทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นฟู ได้นำไปศึกษาหรือพัฒนาต่อยอดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดแก่ผู้ป่วย

### ข้อจำกัดในงานวิทยานิพนธ์

การตั้งค่าการฝึกโมเดล (Training set) จากอาสาสมัครจำนวน 8 ราย ซึ่งไม่ได้ใช้วิธี leave-one (subject) out cross validation อาจทำให้ข้อมูลมีความทับซ้อนกัน ระหว่างข้อมูลการฝึกและการทดสอบได้ โดยวิธี leave-one (subject) out cross validation คือการนำข้อมูลอาสาสมัครออกจากทั้งหมดจำนวน 1 รายเพื่อเป็นกลุ่มทดสอบ (Testing set) และอาสาสมัครที่เหลือเป็นกลุ่มสำหรับการฝึก (Training set) ซึ่งเป็นประเด็นที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมสำหรับงานวิจัยในอนาคต

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในระบบการฟื้นฟูทางไกลในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองกึ่งเฉียบพลันที่มีรอยโรคบริเวณเส้นเลือดสมองส่วนหลังและมีอาการวิงเวียนและเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (machine learning) สำหรับจำแนกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังที่สัมพันธ์กับการทดสอบทางคลินิกเกี่ยวกับการเดินและการทรงตัว

จากการศึกษาและผลการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้พบว่าการทำกายภาพบำบัดแบบเน้นการทรงตัวส่งผลต่อการลดอาการวิงเวียนซึ่งประเมินได้จากการทำแบบประเมินอาการวิงเวียน (DHI) ซึ่งคะแนนมีแนวโน้มลดลง แสดงถึงผลลัพธ์ด้านกายภาพ ด้านจิตใจ และด้านการใช้ชีวิตประจำวันที่ดีขึ้น ผลการทดสอบการเดินระยะ 10 เมตร (10mWT) แสดงถึงประสิทธิภาพของผู้ป่วยที่ทำได้มากขึ้น อาทิ ความเร็วที่ใช้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผู้ป่วยมีความสามารถในการทรงตัวที่ดี การทดสอบการทรงตัว (TUGT) ที่ทดสอบผู้ป่วยโดยการเดินวนข้างปกติและข้างอ่อนแรง พบว่าผู้ป่วยใช้เวลาในการเดินลดลงหลังจากที่ได้รับการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวทั้งหลังการฝึกและช่วงระยะเวลาติดตาม 1 เดือนเมื่อเทียบกับก่อนการฟื้นฟู และการทดสอบการเดินแบบไดนามิก (DGI) พบว่าคะแนนเฉลี่ยที่ผู้ป่วยทำได้มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเดินที่ดีขึ้น สามารถทำกิจกรรมนั้นได้ดี จากผลทั้งหมดทางคลินิก พบว่าการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวมีส่วนช่วยให้ผู้ป่วยทั้งสองกลุ่ม (กลุ่มฟื้นฟูทางไกลและกลุ่มฟื้นฟูที่โรงพยาบาล) มีการทรงตัวที่มีแนวโน้มที่ดีขึ้น ลดปัญหาการวิงเวียน และความเสี่ยงล้มที่อาจจะเกิดขึ้นได้ อีกทั้งการฟื้นฟูทางไกลมีส่วนช่วยในการทำกายภาพบำบัดให้กับผู้ป่วยได้ ลดปัญหาการเดินทางการแออัดที่โรงพยาบาล เพิ่มความสามารถทางกายและส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลัง นอกจากนี้ผลทางปัญญาประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองชุดนี้คือ วิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (K-Nearest Neighbors) ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบฟื้นฟูทางกายภาพบำบัดในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเพื่อช่วยแพทย์หรือนักกายภาพบำบัดในการวิเคราะห์ผลของคลื่นสมองและผลการทดสอบทางคลินิกสำหรับวางแผนการรักษาที่เหมาะสมในผู้ป่วยแต่ละรายได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เพิ่มจำนวนอาสาสมัครที่ใช้ในการศึกษาในแต่ละกลุ่มเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการฟื้นฟูรวมถึงประสิทธิภาพของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ รวมถึงจัดให้มีการเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างกลุ่ม หรือเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการฝึก

5.2.2 ศึกษาในขณะลุกยืน หรือ ขณะนั่งลงเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองกับผลทางคลินิก

5.2.3 ศึกษาการทำงานของคลื่นไฟฟ้าสมองและผลทางคลินิกในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีรอยโรคบริเวณต่างๆ

5.2.4 ศึกษารูปแบบการฝึก การทดสอบโมเดล และค่าการตั้งค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ผลที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลได้



## รายการอ้างอิง

- Abhang, P. A., Gawali, B. W., & Mehrotra, S. C. (2016). Technological Basics of EEG Recording and Operation of Apparatus. Introduction to EEG- and Speech-Based Emotion Recognition, 19–50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804490-2.00002-6>
- Aggarwal, S., & Chugh, N. (2022). Review of Machine Learning Techniques for EEG Based Brain Computer Interface. In Archives of Computational Methods in Engineering (Vol. 29, Issue 5, pp. 3001–3020). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09684-6>
- Aldawsary, N., & Almarwani, M. I. (2023). The combined effect of gaze stability and balance exercises using telerehabilitation in individuals with vestibular disorders during the COVID-19 pandemic: A pilot study. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282189>
- Balci, B. D., Akdal, G., Yaka, E., & Angin, S. (2013). Vestibular rehabilitation in acute central vestibulopathy: A randomized controlled trial. Journal of Vestibular Research: Equilibrium and Orientation, 23(4–5), 259–267. <https://doi.org/10.3233/VES-130491>
- Birjandtalab, J., Baran Pouyan, M., Cogan, D., Nourani, M., & Harvey, J. (2017). Automated seizure detection using limited-channel EEG and non-linear dimension reduction. Computers in biology and medicine, 82, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2017.01.011>
- Bolognini, N., Russo, C., & Edwards, D. J. (2016). The sensory side of post-stroke motor rehabilitation. Restorative Neurology and Neuroscience, 34(4), 571–586. <https://doi.org/10.3233/RNN-150606>
- Bowen, D. J., Kreuter, M., Spring, B., Cofta-Woerpel, L., Linnan, L., Weiner, D., Bakken, S., Kaplan, C. P., Squiers, L., Fabrizio, C., & Fernandez, M. (2009). How we design feasibility studies. American journal of preventive medicine, 36(5), 452–457. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2009.02.002>
- Bruijn, S. M., Van Dieën, J. H., & Daffertshofer, A. (2015). Beta activity in the premotor cortex is increased during stabilized as compared to normal walking. *Frontiers in human neuroscience*, 9, 593. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00593>

- Chaovalitwongse, W. A., Fan, Y. J., & Sachdeo, R. C. (2007). On the time series K-nearest neighbor classification of abnormal brain activity. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 37(6), 1005–1016. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2007.897589>
- Chen, S. C., Lin, C. H., Su, S. W., Chang, Y. T., & Lai, C. H. (2021). Feasibility and effect of interactive telerehabilitation on balance in individuals with chronic stroke: a pilot study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 18(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00866-8>
- Cramer, S. C., (2019). Efficacy of Home-Based Telerehabilitation vs In-Clinic Therapy for Adults After Stroke: A Randomized Clinical Trial. *JAMA neurology*, 76(9), 1079–1087. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2019.1604>
- Noble W. S. (2006). What is a support vector machine?. *Nature biotechnology*, 24(12), 1565–1567. <https://doi.org/10.1038/nbt1206-1565>
- Daidone, M., Ferrantelli, S., Tuttolomondo, A., Daidone, M., & Daidone, M. (2024). Machine learning applications in stroke medicine: Advancements, challenges, and future prospective. In *Neural Regeneration Research* (Vol. 19, Issue 4, pp. 769–773). Wolters Kluwer Medknow Publications. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.382228>
- Duncan, P. W., & Bernhardt, J. (2021). Telerehabilitation: Has Its Time Come? *Stroke*, 52(8), 2694–2696. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.121.033289>
- Ekvall Hansson, E., Pessah-Rasmussen, H., Bring, A., Vahlberg, B., & Persson, L. (2020). Vestibular rehabilitation for persons with stroke and concomitant dizziness - A pilot study. *Pilot and Feasibility Studies*, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s40814-020-00690-2>
- Edwards, A. E., Guven, O., Furman, M. D., Arshad, Q., & Bronstein, A. M. (2018). Electroencephalographic Correlates of Continuous Postural Tasks of Increasing Difficulty. *Neuroscience*, 395, 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.10.040>
- Elhamrawy, M. Y., Mohamed, S., Bahnasy, W., Saif, M. Y., Elkholy, A., & Said, M. (2021). Effect of vestibular rehabilitation therapy on spatio-temporal gait parameters in elderly patients with post-stroke hemineglect. *Advances in Rehabilitation*, 35(3), 17–24. <https://doi.org/10.5114/AREH.2021.107421>
- Emasithi, A., Pakdee, S., Isaradisaiikul, S. K., & Uthai khup, S. (2022). Translation and Validation of the Dizziness Handicap Inventory into Thai Language. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 43(2), e252–e258. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003391>

- Flansbjerg, U. B., Holmbäck, A. M., Downham, D., Patten, C., & Lexell, J. (2005). Reliability of gait performance tests in men and women with hemiparesis after stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 37(2), 75–82. <https://doi.org/10.1080/16501970410017215>
- Foreman, B., & Claassen, J. (2012). Quantitative EEG for the detection of brain ischemia. *Critical care (London, England)*, 16(2), 216. <https://doi.org/10.1186/cc11230>
- Fritz, S., & Lusardi, M. (2009). White paper: "walking speed: the sixth vital sign". *Journal of geriatric physical therapy* (2001), 32(2), 46–49.
- Harrell, R. G., Schubert, M. C., Oxborough, S., & Whitney, S. L. (2022). Vestibular Rehabilitation Telehealth During the SAEA-CoV-2 (COVID-19) Pandemic. *Frontiers in Neurology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.781482>
- Hill, A. J., & Breslin, H. M. (2018). Asynchronous telepractice in aphasia rehabilitation: outcomes from a pilot study. *Aphasiology*, 32 ( sup1 ) , 90 – 92 . <https://doi.org/10.1080/02687038.2018.1484877>
- Hosseini, M. P., Hosseini, A., & Ahi, K. (2021). A Review on Machine Learning for EEG Signal Processing in Bioengineering. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 14, 204–218. <https://doi.org/10.1109/RBME.2020.2969915>
- Jonsdottir, J., & Cattaneo, D. (2007). Reliability and Validity of the Dynamic Gait Index in Persons With Chronic Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(11), 1410–1415. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.08.109>
- Kattah, J. C., Talkad, A. v., Wang, D. Z., Hsieh, Y. H., & Newman-Toker, D. E. (2009). HINTS to diagnose stroke in the acute vestibular syndrome: Three-step bedside oculomotor examination more sensitive than early MRI diffusion-weighted imaging. *Stroke*, 40(11), 3504–3510. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.109.551234>
- Krishnamurthi, R. V., Ikeda, T., & Feigin, V. L. (2020). Global, Regional and Country-Specific Burden of Ischaemic Stroke, Intracerebral Haemorrhage and Subarachnoid Haemorrhage: A Systematic Analysis of the Global Burden of Disease Study 2017. *Neuroepidemiology*, 54(2), 171–179. <https://doi.org/10.1159/000506396>
- Krishnan, N., Karthikeyan, M., Institute of Electrical and Electronics Engineers. Madras Section. Podhigai Subsection, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Madras Section. Signal Processing/Computational Intelligence/Computer Joint Societies Chapter, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2016). 2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research : 2016 December 15-17.
- Li, J., Zhong, D., Ye, J., He, M., Liu, X., Zheng, H., Jin, R., Zhang, S., & cite, T. (2019). Rehabilitation for balance impairment in patients after stroke: a protocol of a

- systematic review and network meta-analysis. *BMJ Open*, 9, 26844. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-026844>
- Light, G. A., Williams, L. E., Minow, F., Sprock, J., Rissling, A., Sharp, R., Swerdlow, N. R., & Braff, D. L. (2010). Electroencephalography (EEG) and event-related potentials (ERPs) with human participants. In *Current Protocols in Neuroscience* (Issue SUPPL. 52). <https://doi.org/10.1002/0471142301.ns0625s52>
- Li, J., Zhong, D., Ye, J., He, M., Liu, X., Zheng, H., Jin, R., Zhang, S., & cite, T. (2019). Rehabilitation for balance impairment in patients after stroke: a protocol of a systematic review and network meta-analysis. *BMJ Open*, 9, 26844. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-026844>
- Md Isa, N. E. Z., Amir, A., Ilyas, M. Z., & Razalli, M. S. (2017). The Performance Analysis of K-Nearest Neighbors (K-NN) Algorithm for Motor Imagery Classification Based on EEG Signal. *MATEC Web of Conferences*, 140. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201714001024>
- Merwick, Á., & Werring, D. (2014). Posterior circulation ischaemic stroke. In *BMJ* (Online) (Vol. 348). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.g3175>
- Mitsutake, T., Sakamoto, M., Ueta, K., Oka, S., & Horikawa, E. (2017). Effects of vestibular rehabilitation on gait performance in poststroke patients: a pilot randomized controlled trial. *International journal of rehabilitation research. Internationale Zeitschrift fur Rehabilitationsforschung. Revue internationale de recherches de readaptation*, 40(3), 240–245. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000234>
- Mitsutake, T., Imura, T., & Tanaka, R. (2020). The Effects of Vestibular Rehabilitation on Gait Performance in Patients with Stroke: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 29(11), 105214. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105214>
- Mustafa, M., Nasir Taib, M., Murat, Z. H., & Sulaiman, N. (2012). Comparison between KNN and ANN Classification in Brain Balancing Application via Spectrogram Image. *Journal of Computer Science & Computational Mathematics*. 2. 17-22. [10.20967/jcscm.2012.04.004](https://doi.org/10.20967/jcscm.2012.04.004).
- Murphy, S. J., & Werring, D. J. (2020). Stroke: causes and clinical features. *Medicine (Abingdon, England : UK ed.)*, 48(9), 561–566. <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2020.06.002>
- Nikolaev, V. A., & Nikolaev, A. A. (2022). Recent trends in telerehabilitation of stroke patients: A narrative review. *NeuroRehabilitation*, 51(1), 1–22. <https://doi.org/10.3233/NRE-210330>
- Pan, L. H., Yang, W. W., Kao, C. L., Tsai, M. W., Wei, S. H., Fregni, F., Chen, V. C., & Chou, L. W. (2018). Effects of 8-week sensory electrical stimulation combined with

- motor training on EEG-EMG coherence and motor function in individuals with stroke. *Scientific reports*, 8(1), 9217. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27553-4>
- Peng, C. Y. J., Lee, K. L., & Ingersoll, G. M. (2002). An introduction to logistic regression analysis and reporting. *Journal of Educational Research*, 96(1), 3–14. <https://doi.org/10.1080/00220670209598786>
- Ramesh, A. N., Kambhampati, C., Monson, J. R. T., & Drew, P. J. (2004). Artificial intelligence in medicine. In *Annals of the Royal College of Surgeons of England* (Vol. 86, Issue 5, pp. 334–338). <https://doi.org/10.1308/147870804290>
- Ren, J., Lee, S. D., Chen, X., Kao, B., Cheng, R., & Cheung, D. (2009). Naive bayes classification of uncertain data. *Proceedings - IEEE International Conference on Data Mining, ICDM*, 944–949. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2009.90>
- Saeidi, M., Karwowski, W., Farahani, F. v., Fiok, K., Tair, R., Hancock, P. A., & Al-Juaid, A. (2021). Neural decoding of eeg signals with machine learning: A systematic review. In *Brain Sciences* (Vol. 11, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/brainsci11111525>
- Shumway-Cook, A., Brauer, S., & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical therapy*, 80(9), 896–903.)
- The World Health Organization MONICA Project (monitoring trends and determinants in cardiovascular disease): a major international collaboration. WHO MONICA Project Principal Investigators. (1988). *Journal of clinical epidemiology*, 41(2), 105–114. [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(88\)90084-4](https://doi.org/10.1016/0895-4356(88)90084-4)
- Thakkar, H. K., Liao, W. W., Wu, C. Y., Hsieh, Y. W., & Lee, T. H. (2020). Predicting clinically significant motor function improvement after contemporary task-oriented interventions using machine learning approaches. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00758-3>
- Tramontano, M., Bergamini, E., Iosa, M., Belluscio, V., Vannozzi, G., & Morone, G. (2018). Vestibular rehabilitation training in patients with subacute stroke: A preliminary randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation*, 43(2), 247–254. <https://doi.org/10.3233/NRE-182427>
- Vatinno, A. A., Simpson, A., Ramakrishnan, V., Bonilha, H. S., Bonilha, L., & Seo, N. J. (2022). The Prognostic Utility of Electroencephalography in Stroke Recovery: A Systematic Review and Meta-Analysis. In *Neurorehabilitation and Neural Repair* (Vol. 36, Issues 4–5, pp. 255–268). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/15459683221078294>



- Vivaldi, N., Caiola, M., Solarana, K., & Ye, M. (2021). Evaluating Performance of EEG Data-Driven Machine Learning for Traumatic Brain Injury Classification. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 68(11), 3205–3216. <https://doi.org/10.1109/TBME.2021.3062502>
- Williams, N. S., McArthur, G. M., de Wit, B., Ibrahim, G., & Badcock, N. A. (2020). A validation of Emotiv EPOC Flex saline for EEG and ERP research. <https://doi.org/10.7717/peerj.9713>
- Yuan, Kai & Chen, Cheng & Wang, Xin & Chu, Winnie & Tong, Raymond Kai-Yu. (2021). BCI Training Effects on Chronic Stroke Correlate with Functional Reorganization in Motor-Related Regions: A Concurrent EEG and fMRI Study. *Brain Sciences*. 11. 56. [10.3390/brainsci11010056](https://doi.org/10.3390/brainsci11010056).
- Zou, J., Han, Y., & So, S. S. (2008). Overview of artificial neural networks. *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.), 458, 15–23. [https://doi.org/10.1007/978-1-60327-101-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-60327-101-1_2)





ภาคผนวก ก  
แบบประเมินและแบบทดสอบทางคลินิก



## แบบประเมินอาการวิงเวียนศีรษะ (Dizziness handicap inventory, DHI)

ชื่อ-สกุล.....

วันที่.....

### แบบประเมินผลกระทบอาการเวียนศีรษะต่อการดำรงชีวิตประจำวัน

แบบประเมินนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาความยากลำบากที่คุณอาจจะประสบในช่วงหนึ่งสัปดาห์ที่ผ่านมาเนื่องจากอาการเวียนศีรษะ หรืออาการโคลงเคลง ทรงตัวได้ไม่มั่นคง กรุณาตอบคำถามโดยการทำเครื่องหมายถูก / ในช่องคำตอบ “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” หรือ “บางครั้ง” ให้ตอบคำถามที่สัมพันธ์กับปัญหาเรื่องอาการเวียนศีรษะ หรืออาการโคลงเคลง ทรงตัวไม่มั่นคง เท่านั้น

ข้อ	คำถาม	ใช่	ไม่ใช่	บางครั้ง
P1	การเงยหน้ามองขึ้นด้านบน ทำให้คุณมีปัญหาเพิ่มขึ้นหรือไม่ ?			
E2	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ทำให้คุณรู้สึกหงุดหงิดหรือไม่ ?			
F3	จากปัญหาที่คุณมีอยู่จำกัดการเดินทางเพื่อทำธุรกิจ หรือการพักผ่อนของคุณหรือไม่ ?			
P4	การเดินทางในช่องทางเดิน ของห้างสรรพสินค้าทำให้คุณมีปัญหาเพิ่มขึ้นหรือไม่ ?			
F5	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ คุณมีความยากลำบากในการลุกขึ้นจากที่นอนหรือเอนตัวลงนอนหรือไม่ ?			
F6	คุณรู้สึกว่าอาการเวียนศีรษะจำกัดการเข้าร่วมกิจกรรมทางสังคม เช่น การออกไปรับประทานอาหารนอกบ้าน การออกไปโรงพยาบาล ตรวจรักษาหรืองานเลี้ยงต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ?			
F7	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ ทำให้คุณมีความยากลำบากในการอ่านหนังสือหรือไม่ ?			
P8	การทำกิจกรรม อาทิเช่น การเล่นกีฬา การเดินรึก การทำงานบ้าน เช่น ปิดกวาดหรือการจัดเก็บงานขาม ทำให้คุณมีปัญหาเพิ่มขึ้นหรือไม่ ?			
E9	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ ทำให้คุณรู้สึกกลัวที่จะออกจากบ้านคนเดียวหรือไม่ ?			

ชื่อ-สกุล.....

วันที่.....

ข้อ	คำถาม	ใช่	ไม่ใช่	บางครั้ง
E10	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ คุณเคยรู้สึกอายเมื่ออยู่ต่อหน้าผู้อื่นหรือไม่ ?			
P11	การเคลื่อนไหวศีรษะเร็วๆ ทำให้คุณมีปัญหาเพิ่มขึ้นหรือไม่ ?			
F12	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ ทำให้คุณหลีกเลี่ยงการอยู่ในที่สูงหรือไม่ ?			
P13	การพลิกตะแคงตัวบนเตียงทำให้คุณมีปัญหาเพิ่มขึ้นหรือไม่ ?			
F14	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ ทำให้คุณทำงานบ้านที่หนักๆ หรือการดูแล สนามหญ้ารอบบ้านยากขึ้นหรือไม่ ?			
E15	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ ทำให้คุณกลัวว่าคนอื่นอาจคิดว่าคุณมีลักษณะ เหมือนคนเมาเหล้าหรือไม่ ?			
F16	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ การจะออกไปเดินตามลำพังเป็นเรื่องยาก สำหรับคุณหรือไม่ ?			
P17	การเดินตามทางเท้า ทำให้คุณมีปัญหาเพิ่มขึ้นหรือไม่?			
E18	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ การไขสนมารถเป็นเรื่องยากสำหรับคุณหรือไม่ ?			
F19	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ คุณมีความยากลำบากในการเดินรอบบ้านตอน กลางคืนหรือไม่ ?			
E20	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ ทำให้คุณกลัวการอยู่บ้านคนเดียวหรือไม่ ?			
E21	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ ทำให้คุณรู้สึกว่าคุณเองพิการหรือไม่ ?			
E22	จากปัญหาที่คุณมีอยู่สร้างความตึงเครียดต่อความสัมพันธ์กับสมาชิก ในครอบครัว หรือเพื่อนของคุณหรือไม่ ?			
E23	จากปัญหาที่คุณมีอยู่ทำให้คุณมีภาวะซึมเศร้าหรือไม่ ?			
F24	ปัญหาที่คุณมีอยู่รบกวนการทำงาน หรือภาระหน้าที่ทางครอบครัว ของคุณหรือไม่ ?			
P25	การก้มตัวลงทำให้คุณมีปัญหาเพิ่มขึ้นหรือไม่ ?			

## แบบทดสอบการเดินแบบไดนามิก

### Dynamic Gait Index

**Description:**

Developed to assess the likelihood of falling in older adults. Designed to test eight facets of gait.

**Equipment needed:** Box (Shoebox), Cones (2), Stairs, 20' walkway, 15" wide

**Completion:**

**Time:** 15 minutes

**Scoring:** A four-point ordinal scale, ranging from 0-3. "0" indicates the lowest level of function and "3" the highest level of function.

Total Score = 24

**Interpretation:**  $\leq 19/24$  = predictive of falls in the elderly  
 $> 22/24$  = safe ambulators

**1. Gait level surface** \_\_\_\_\_

*Instructions:* Walk at your normal speed from here to the next mark (20')

*Grading:* Mark the lowest category that applies.

- (3) Normal: Walks 20', no assistive devices, good speed, no evidence for imbalance, normal gait pattern
- (2) Mild Impairment: Walks 20', uses assistive devices, slower speed, mild gait deviations.
- (1) Moderate Impairment: Walks 20', slow speed, abnormal gait pattern, evidence for imbalance.
- (0) Severe Impairment: Cannot walk 20' without assistance, severe gait deviations or imbalance.

**2. Change in gait speed** \_\_\_\_\_

*Instructions:* Begin walking at your normal pace (for 5'), when I tell you "go," walk as fast as you can (for 5'). When I tell you "slow," walk as slowly as you can (for 5').

*Grading:* Mark the lowest category that applies.

- (3) Normal: Able to smoothly change walking speed without loss of balance or gait deviation. Shows a significant difference in walking speeds between normal, fast and slow speeds.
- (2) Mild Impairment: Is able to change speed but demonstrates mild gait deviations, or not gait deviations but unable to achieve a significant change in velocity, or uses an assistive device.
- (1) Moderate Impairment: Makes only minor adjustments to walking speed, or accomplishes a change in speed with significant gait deviations, or changes speed but has significant gait deviations, or changes speed but loses balance but is able to recover and continue walking.
- (0) Severe Impairment: Cannot change speeds, or loses balance and has to reach for wall or be caught.

**3. Gait with horizontal head turns** \_\_\_\_\_

*Instructions:* Begin walking at your normal pace. When I tell you to "look right," keep walking straight, but turn your head to the right. Keep looking to the right until I tell you, "look left," then keep walking straight and turn your head to the left. Keep your head to the left until I tell you "look straight," then keep walking straight, but return your head to the center.

*Grading:* Mark the lowest category that applies.

- (3) Normal: Performs head turns smoothly with no change in gait.
- (2) Mild Impairment: Performs head turns smoothly with slight change in gait velocity, i.e., minor disruption to smooth gait path or uses walking aid.
- (1) Moderate Impairment: Performs head turns with moderate change in gait velocity, slows down, staggers but recovers, can continue to walk.
- (0) Severe Impairment: Performs task with severe disruption of gait, i.e., staggers outside 15" path, loses balance, stops, reaches for wall.

**4. Gait with vertical head turns**

tip your head up. Keep looking up until I tell you, "look down," then keep walking straight and tip your head down. Keep your head down until I tell you "look straight," then keep walking straight, but return your head to the center.

*Grading:* Mark the lowest category that applies.

- (3) Normal: Performs head turns smoothly with no change in gait.
- (2) Mild Impairment: Performs head turns smoothly with slight change in gait velocity, i.e., minor disruption to smooth gait path or uses walking aid.
- (1) Moderate Impairment: Performs head turns with moderate change in gait velocity, slows down, staggers but recovers, can continue to walk.
- (0) Severe Impairment: Performs task with severe disruption of gait, i.e., staggers outside 15" path, loses balance, stops, reaches for wall.

**5. Gait and pivot turn**

*Instructions:* Begin walking at your normal pace. When I tell you, "turn and stop," turn as quickly as you can to face the opposite direction and stop.

*Grading:* Mark the lowest category that applies.

- (3) Normal: Pivot turns safely within 3 seconds and stops quickly with no loss of balance.
- (2) Mild Impairment: Pivot turns safely in > 3 seconds and stops with no loss of balance.
- (1) Moderate Impairment: Turns slowly, requires verbal cueing, requires several small steps to catch balance following turn and stop.
- (0) Severe Impairment: Cannot turn safely, requires assistance to turn and stop.

**6. Step over obstacle**

*Instructions:* Begin walking at your normal speed. When you come to the shoebox, step over it, not around it, and keep walking.

*Grading:* Mark the lowest category that applies.

- (3) Normal: Is able to step over the box without changing gait speed, no evidence of imbalance.
- (2) Mild Impairment: Is able to step over box, but must slow down and adjust steps to clear box safely.
- (1) Moderate Impairment: Is able to step over box but must stop, then step over. May require verbal cueing.
- (0) Severe Impairment: Cannot perform without assistance.

**7. Step around obstacles**

*Instructions:* Begin walking at normal speed. When you come to the first cone (about 6' away), walk around the right side of it. When you come to the second cone (6' past first cone), walk around it to the left.

*Grading:* Mark the lowest category that applies.

- (3) Normal: Is able to walk around cones safely without changing gait speed; no evidence of imbalance.
- (2) Mild Impairment: Is able to step around both cones, but must slow down and adjust steps to clear cones.
- (1) Moderate Impairment: Is able to clear cones but must significantly slow, speed to accomplish task, or requires verbal cueing.
- (0) Severe Impairment: Unable to clear cones, walks into one or both cones, or requires physical assistance.

**8. Steps**

*Instructions:* Walk up these stairs as you would at home, i.e., using the railing if necessary. At the top, turn around and walk down.

*Grading:* Mark the lowest category that applies.

- (3) Normal: Alternating feet, no rail.
- (2) Mild Impairment: Alternating feet, must use rail.
- (1) Moderate Impairment: Two feet to a stair, must use rail.

(0) Severe Impairment: Cannot do safely.

**TOTAL SCORE: \_\_\_\_ / 24**

References:

1. Herdman SJ. *Vestibular Rehabilitation*. 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia, PA: F.A.Davis Co, 2000.
2. Shumway-Cook A, Woollacott M. *Motor Control Theory and Applications*. Williams and Wilkins Baltimore, 1995: 323-324

*Instructions:* Begin walking at your normal pace. When I tell you to "look up," keep walking straight, but





## แบบประเมินความพึงพอใจความปลอดภัยและรูปแบบการฝึกสำหรับผู้ดูแล

แบบประเมินความพึงพอใจความปลอดภัยและรูปแบบการฝึกสำหรับผู้ดูแล

หมายเลขอาสาสมัคร..... วันที่.....

หัวข้อเรื่อง	ความพึงพอใจ				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
<b>1.ความปลอดภัย</b>					
1.1) ได้รับคำแนะนำขั้นตอนในการทำวิจัยและวิธีการป้องกันความเสี่ยง					
1.2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการพวงมีความปลอดภัย					
1.3) สถานที่มีความเหมาะสม และปลอดภัย					
1.4) มีเจ้าหน้าที่แนะนำและดูแลตลอดการเข้าร่วมวิจัย					
1.5) ท่าที่ใช้ฝึกมีความปลอดภัย					
<b>2. รูปแบบการฝึกและความเหมาะสม</b>					
2.1) ได้รับคำแนะนำจากผู้วิจัยสำหรับการฝึกที่ครบถ้วน					
2.2) อุปกรณ์ของอุปกรณ์ขณะฝึก (เช่น ขณะคิดอุปกรณ์ ทำให้การพวงเดินหรือการฝึกยากขึ้น)					
2.3) ลักษณะการฝึกเป็นขั้นตอน สามารถเข้าใจได้ง่าย					
2.4) ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกมีความเหมาะสม					
2.5) ระยะเวลาพักระหว่างการฝึกมีความเหมาะสม					
2.6) ระบบวิดีโอและสัญญาณมีความเสถียร สะดวกในการฝึก					
2.7) ความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบฟื้นฟูทางไกล					
<b>3. สิ่งที่ได้รับจากงานวิจัย</b>					
3.1) ความรู้ ความเข้าใจในการฝึกได้เองอย่างถูกต้อง และปลอดภัยหลังจากสิ้นสุดการวิจัย					
3.2) ความพึงพอใจโดยรวมของการเข้าร่วมงานวิจัย					

Version 2.0 10-04-2565



ผ่านการพิจารณาจาก  
คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แล้ว

## แบบประเมินอาการไม่พึงประสงค์ในอาสาสมัคร ก่อนและหลังการเข้าร่วมวิจัย

แบบประเมินอาการไม่พึงประสงค์ในอาสาสมัคร ก่อนและหลังการเข้าร่วมวิจัย

หมายเลขอาสาสมัคร..... วันที่.....

หัวข้อเรื่องอาการ	ระดับของอาการ				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
1. ปวดกล้ามเนื้อ					
2. ปวดหัว/เวียนหัว					
3. รู้สึกคลื่นไส้/อาเจียน					
4. กลัว/วิตกกังวล					
5. เหนื่อยหอบ					
6. อาการอื่นๆ					

หัวข้อเรื่องอาการ	ระดับของอาการ				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
1. ปวดกล้ามเนื้อ					
2. ปวดหัว/เวียนหัว					
3. รู้สึกคลื่นไส้/อาเจียน					
4. กลัว/วิตกกังวล					
5. เหนื่อยหอบ					
6. อาการอื่นๆ					

ชื่อเสนอแนะ

.....  
 .....

Version 2.0 10-04-2565

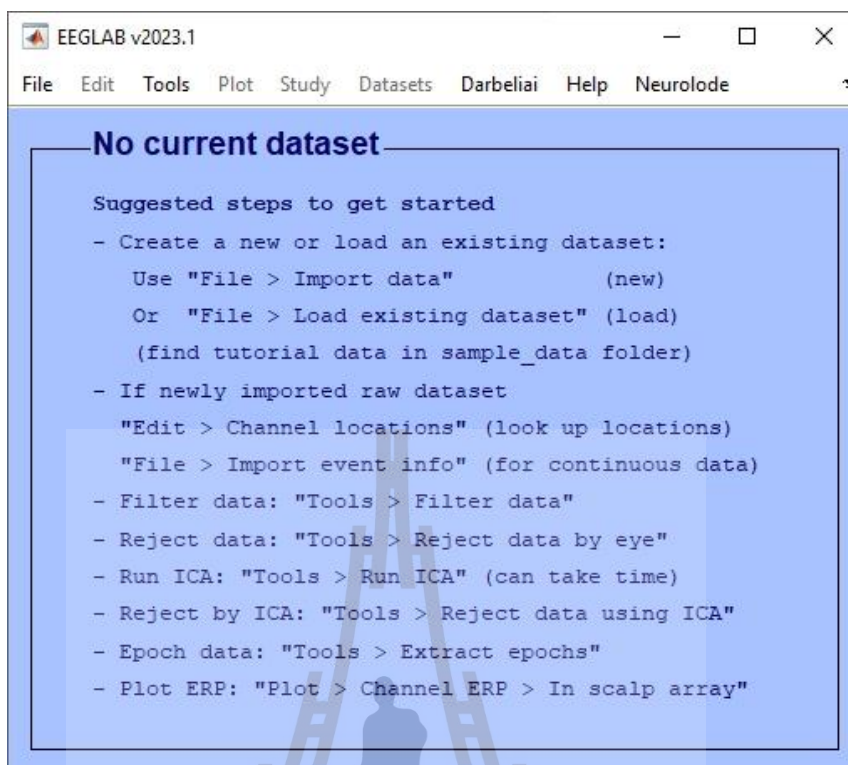


ผ่านการพิจารณาจาก  
 คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

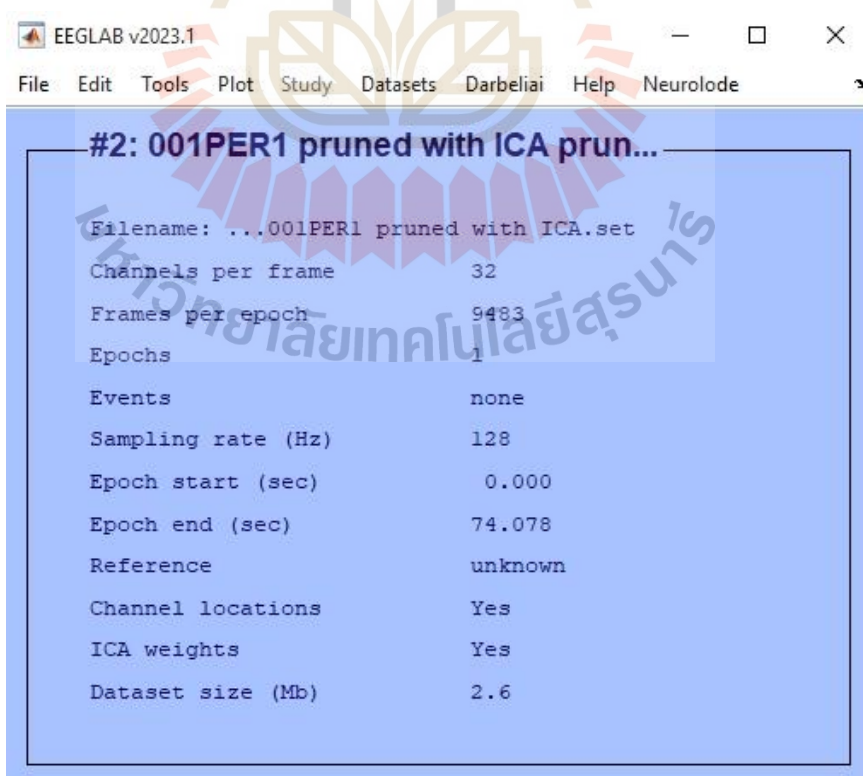


ภาคผนวก ข

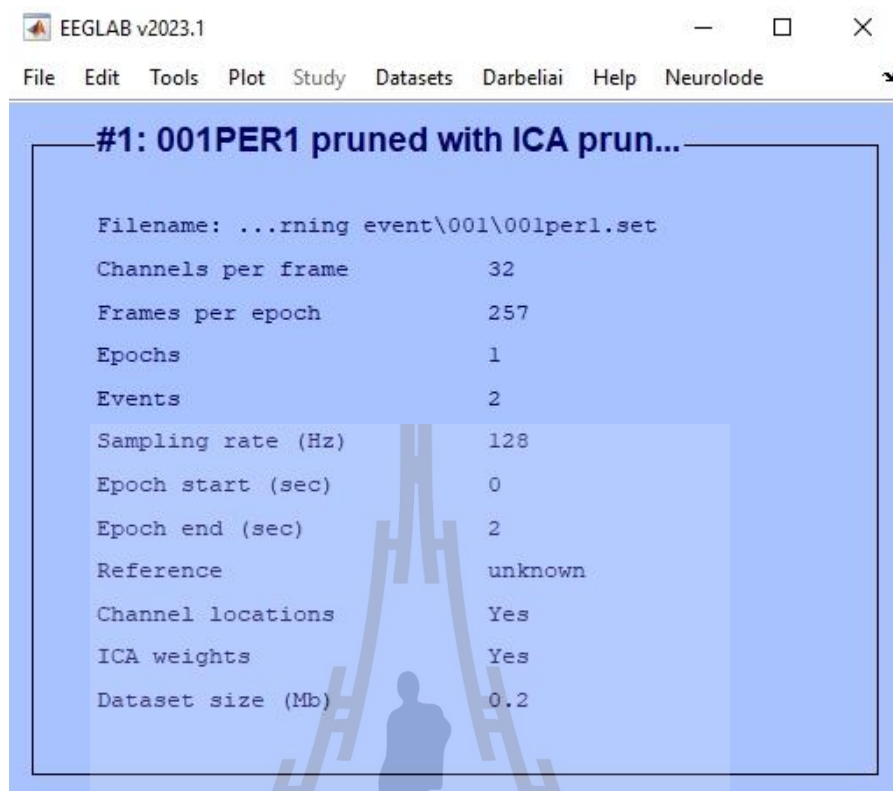
ข้อมูลโปรแกรม EEGLAB และ Rapidminer



หน้าต่างของโปรแกรม EEGLAB v.2023.1



ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่แสดงในโปรแกรม EEGLAB



ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองขณะหมุนตัว (turning event)



## โปรแกรม rapidminer

Row No.	class	prediction(cl...	confidence(...	confidence(...
1	Good	Good	0	1
2	Good	Good	0	1
3	Good	Good	0	1.000
4	Good	Good	0	1
5	Good	Good	0	1.000
6	Good	Good	0	1
7	Good	Good	0	1
8	Good	Good	0.198	0.802
9	Good	Good	0	1
10	Good	Good	0	1
11	Good	Good	0	1
12	Good	Good	0	1
13	Good	Good	0	1
14	Good	Good	0	1
15	Good	Good	0	1
16	Good	Good	0	1.000
17	Good	Good	0.183	0.817
18	Good	Good	0	1
19	Good	Good	0	1
20	Good	Good	0	1.000
21	Poor	Poor	1	0
22	Poor	Poor	1	0
23	Poor	Poor	1	0
24	Poor	Poor	1	0
25	Poor	Poor	1	0

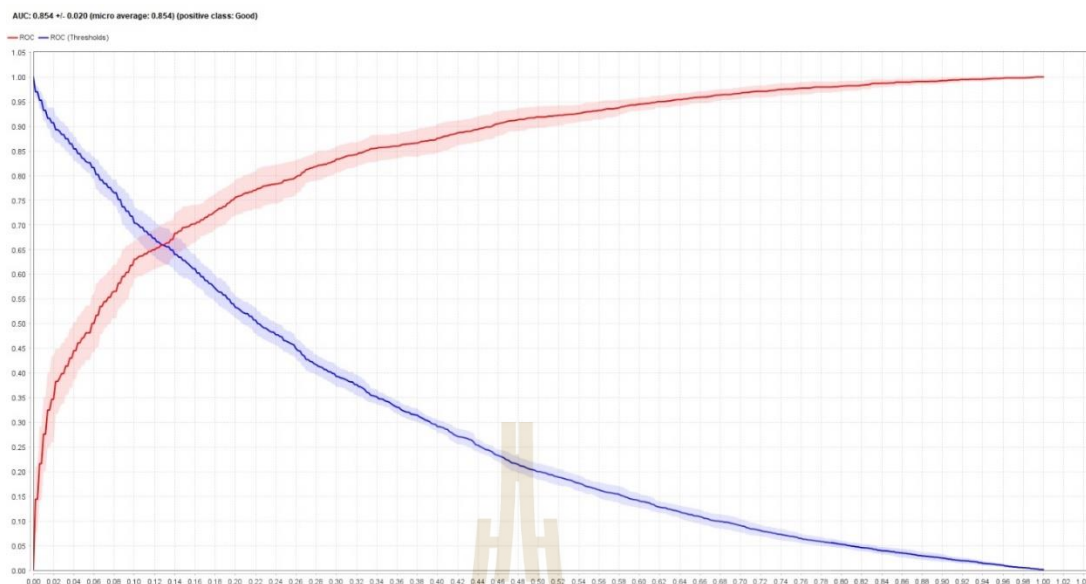
ตัวอย่างข้อมูลผลการทำนายของโมเดล k-nearest neighbors



กราฟเส้นโค้ง ROC ของโมเดล k-nearest neighbors

Row No.	class	prediction(class)	confidence(class)	confidence(class)
1	Good	Good	0.466	0.534
2	Good	Good	0.152	0.848
3	Good	Poor	0.679	0.321
4	Good	Good	0.058	0.942
5	Good	Good	0.044	0.956
6	Good	Good	0.173	0.827
7	Good	Good	0.066	0.934
8	Good	Poor	0.633	0.367
9	Good	Good	0.069	0.931
10	Good	Good	0.364	0.636
11	Good	Good	0.161	0.839
12	Good	Good	0.259	0.741
13	Good	Good	0.083	0.917
14	Good	Good	0.127	0.873
15	Good	Good	0.191	0.809
16	Good	Good	0.375	0.625
17	Good	Good	0.372	0.628
18	Good	Good	0.128	0.872
19	Good	Good	0.008	0.992
20	Good	Good	0.094	0.906
21	Poor	Poor	0.812	0.188
22	Poor	Good	0.260	0.740
23	Poor	Poor	0.701	0.299
24	Poor	Poor	0.665	0.335
25	Poor	Poor	0.911	0.089

ตัวอย่างข้อมูลผลการทำนายของโมเดล Logistic regression

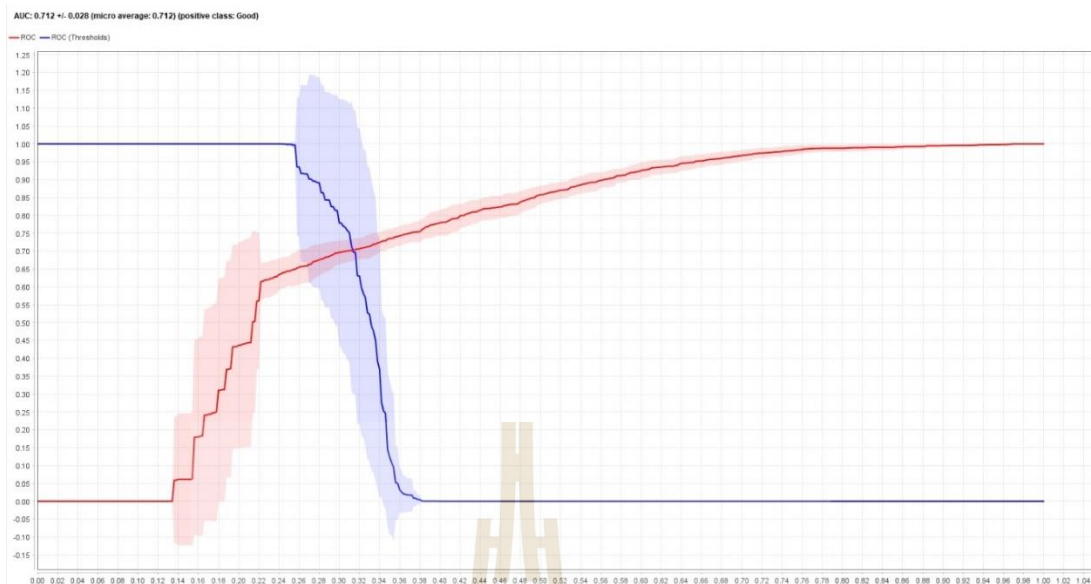


กราฟเส้นโค้ง ROC ของโมเดล Logistic regression

Row No.	class	prediction(class)	confidence(class)	confidence(class)
1	Good	Good	0	1
2	Good	Good	0	1
3	Good	Good	0	1
4	Good	Good	0	1
5	Good	Good	0	1
6	Good	Good	0	1
7	Good	Good	0	1
8	Good	Good	0.000	1.000
9	Good	Good	0	1
10	Good	Good	0.000	1.000
11	Good	Good	0	1
12	Good	Good	0	1
13	Good	Good	0	1
14	Good	Good	0	1
15	Good	Poor	1.000	0.000
16	Good	Good	0	1
17	Good	Good	0	1
18	Good	Good	0	1
19	Good	Good	0	1
20	Good	Good	0.000	1.000
21	Poor	Good	0.001	0.999
22	Poor	Good	0	1
23	Poor	Good	0.000	1.000
24	Poor	Good	0.000	1.000
25	Poor	Poor	1.000	0.000

ตัวอย่างข้อมูลผลการทำนายของโมเดล Naïve bayes

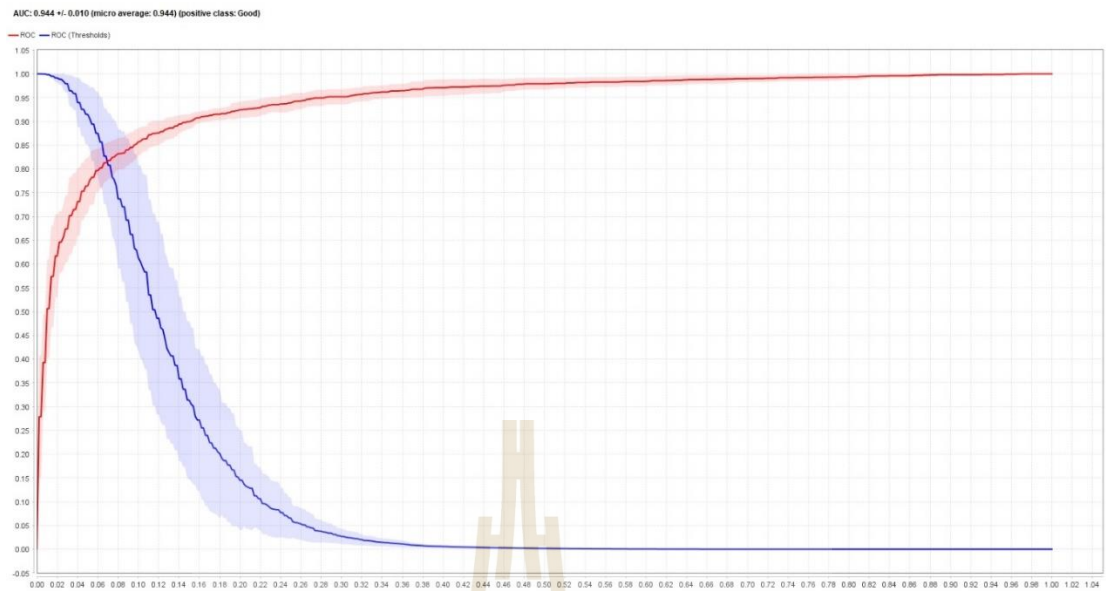




กราฟเส้นโค้ง ROC ของโมเดล Naive bayes

Row No.	class	prediction(cl...	confidence(...	confidence(...
1	Good	Good	0.006	0.994
2	Good	Good	0.005	0.995
3	Good	Poor	0.904	0.096
4	Good	Good	0.002	0.998
5	Good	Good	0.000	1.000
6	Good	Good	0.001	0.999
7	Good	Good	0.005	0.995
8	Good	Poor	0.998	0.002
9	Good	Good	0.001	0.999
10	Good	Good	0.006	0.994
11	Good	Good	0.000	1.000
12	Good	Good	0.000	1.000
13	Good	Poor	0.990	0.010
14	Good	Good	0.001	0.999
15	Good	Good	0.005	0.995
16	Good	Good	0.019	0.981
17	Good	Good	0.015	0.985
18	Good	Good	0.000	1.000
19	Good	Good	0.000	1.000
20	Good	Poor	0.571	0.429
21	Poor	Poor	0.999	0.001
22	Poor	Poor	0.708	0.292
23	Poor	Poor	1.000	0.000
24	Poor	Poor	1.000	0.000
25	Poor	Poor	1.000	0.000

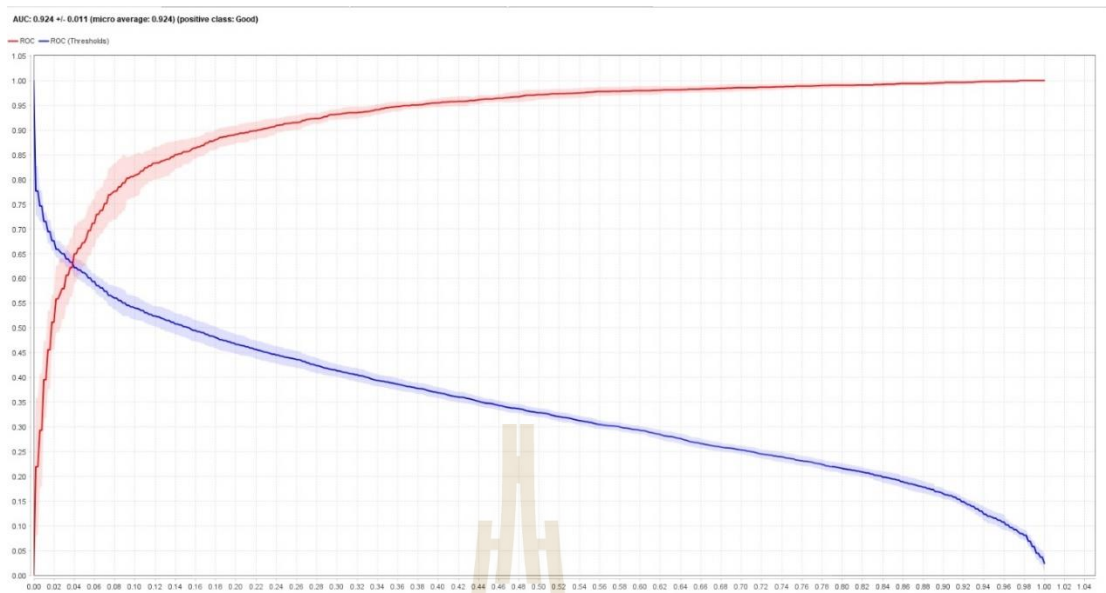
ตัวอย่าง ข้อมูลผลการทำนายของโมเดล artificial neural network



กราฟเส้นโค้ง ROC ของโมเดล artificial neural network

Row No.	class	prediction(cl...	confidence(...	confidence(...
1	Good	Good	0.458	0.542
2	Good	Good	0.384	0.616
3	Good	Poor	0.565	0.435
4	Good	Good	0.192	0.808
5	Good	Good	0.137	0.863
6	Good	Good	0.243	0.757
7	Good	Good	0.263	0.737
8	Good	Poor	0.502	0.498
9	Good	Good	0.161	0.839
10	Good	Poor	0.654	0.346
11	Good	Poor	0.507	0.493
12	Good	Poor	0.585	0.415
13	Good	Good	0.431	0.569
14	Good	Good	0.281	0.719
15	Good	Good	0.237	0.763
16	Good	Good	0.219	0.781
17	Good	Good	0.309	0.691
18	Good	Good	0.134	0.866
19	Good	Good	0.046	0.954
20	Good	Good	0.140	0.860
21	Poor	Poor	0.626	0.374
22	Poor	Good	0.418	0.582
23	Poor	Poor	0.668	0.332
24	Poor	Poor	0.649	0.351
25	Poor	Poor	0.827	0.173

ตัวอย่าง ข้อมูลผลการทำนายของโมเดล support vector machine



กราฟเส้นโค้ง ROC ของโมเดล support vector machine



ภาคผนวก ค  
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

- รายงานกลุ่มผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังระยะกึ่งเฉียบพลันที่ได้รับการฟื้นฟูการทรงตัวทางไกลและที่โรงพยาบาล (Case series report of vestibular rehabilitation in subacute posterior circulation stroke tele-rehabilitation and Hospital-based Approaches)
- <https://ncsti.net/index.php>





“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”  
5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรมรอยัล ริเวอร์ กรุงเทพฯ

## รายงานกลุ่มผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังระยะกึ่งเฉียบพลัน ที่ได้รับการฟื้นฟูการทรงตัวทางไกลและที่โรงพยาบาล

ดุลยวัต วิริยพงศ์<sup>1\*</sup> กัญจน์ ภักดีสงคราม<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขานวัตกรรม วิศวกรรมแพทย์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>2</sup>สาขาวิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

\*Corresponding author. E-mail: dulyawat.w@grad.sut.ac.th

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรายงานผลการฝึกด้วยการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวในระบบการฟื้นฟูทางไกลและการฟื้นฟูที่โรงพยาบาลในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองกึ่งเฉียบพลันที่มีรอยโรคบริเวณเส้นเลือดสมองส่วนหลังในรูปแบบรายงานกลุ่ม (case series) ซึ่งจะมีการทดสอบและการประเมินทางคลินิก คือ การทดสอบการเดินทรงตัว (Time up and go test) การทดสอบการเดินระยะทาง 10 เมตร (10-meter walk test) การทดสอบการเดินไดนามิก (Dynamic gait index) และแบบประเมินผลกระทบอาการเวียนศีรษะต่อการดำรงชีวิตประจำวัน (Dizziness handicap inventory) จากการทดสอบพบว่า ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่ได้รับการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวทั้งกลุ่มฟื้นฟูทางไกลและโรงพยาบาลมีผลประเมินทางคลินิกที่ดีขึ้น โดยคะแนนแบบประเมินอาการเวียนศีรษะมีค่าน้อยลง การทดสอบการเดินทรงตัวใช้เวลาที่น้อยลง รวมถึงการทดสอบการเดินแบบไดนามิก เช่น การเดินขึ้นบันได การเดินหันศีรษะทิศทางต่างๆ และเดินซิกแซก เป็นต้น ผู้ป่วยทำได้ดีขึ้นประเมินจากคะแนนที่ผู้ป่วยทำได้ อาการจากโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังส่งผลต่อการดำรงชีวิตอย่างมาก การฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวจึงมีความจำเป็นอย่างมากในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองประเภทนี้

**คำสำคัญ:** โรคหลอดเลือดสมองส่วนหลัง, การฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัว, การฟื้นฟูทางไกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่อารพัฒนาที่ยั่งยืน”  
5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรมรอยัล จีแอด กรุงเทพฯ

## Case series report of vestibular rehabilitation in subacute posterior circulation stroke tele-rehabilitation and Hospital-based Approaches

Dulyawat Wirayaphong<sup>1\*</sup>, Gun Bhakdisongkhram<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of biomedical innovation engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

<sup>2</sup> School of Rehabilitation Medicine, Institute of Medicine, Suranaree University of Technology

\*Corresponding author. E-mail: dulyawat.w@grad.sut.ac.th

### Abstract

This research aims to report the outcomes of vestibular rehabilitation in tele-rehabilitation and hospital-based settings for subacute posterior circulation stroke patients in the form of a case series report. The clinical assessments included timed up and go test, 10-meter walk test, dynamic gait index, and dizziness handicap inventory. Our study showed that stroke patients with vestibular rehabilitation in tele-rehabilitation and hospital settings improved clinical assessments. Specifically, there was a decrease in dizziness symptoms as indicated by lower dizziness Handicap Inventory scores, reduced time in walking test, and improved dynamic gait index scores. Patients demonstrated enhanced performance in activities such as walk up the stairs, head-turning in different directions, and step around obstacles. The overall improvement in patient performance, assessed through scores. The symptom that caused by posterior cerebral artery has impacted on daily life so vestibular rehabilitation is crucial for this stroke type.

**Keywords:** Posterior circulation stroke, Vestibular Rehabilitation, Tele-rehabilitation

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”  
5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรมรอยัล ริเวอร์ กรุงเทพฯ

## 1. บทนำ

องค์การอนามัยโลกให้ความหมายโรคหลอดเลือดสมองว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงอาการที่มีลักษณะเฉียบพลันและส่งผลกระทบต่อการทำงานของสมองโดยอาการอาจคงอยู่ได้ 24 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้นจะส่งผลให้มีความเสี่ยงในการเสียชีวิต โดยที่มีสาเหตุจากปัญหาของหลอดเลือดในสมอง จากการศึกษาภาวะของโรค (Feigin et al., 2021) การบาดเจ็บและปัจจัยเสี่ยง (GBD) ในปี 2019 พบว่าโรคหลอดเลือดสมองอยู่ใน 2 ลำดับแรกที่ส่งผลให้เกิดการเสียชีวิตหรือความพิการและส่งผลจนถึงปัจจุบัน หลังจากมีภาวะโรคหลอดเลือดสมอง ผู้ป่วยมักมีอาการอ่อนแรง รวมถึงปัญหาด้านการรับรู้ความรู้สึกและมีความข้อจำกัดด้านการเคลื่อนไหว เช่น การเดิน การลุกยืน การทรงตัว และปัญหาในการใช้ชีวิตประจำวัน ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองโดยเฉพาะผู้ป่วยหลอดเลือดสมองส่วนหลัง (posterior circulation) อาจส่งผลให้มีอาการผิดปกติของระบบประสาทที่ใช้สำหรับการทรงตัว ซึ่งอาจทำให้มีอาการวิงเวียน คลื่นไส้ อาเจียนหรือบ้านหมุนได้ (Mehndiratta et al., 2012) จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเดินที่ไม่มั่นคง ส่งผลให้มีโอกาสเสี่ยงล้มหรือเกิดอุบัติเหตุได้ ซึ่งเกิดจากการทำงานผิดปกติของระบบการทรงตัว การมองเห็นและการรับรู้ความรู้สึก เกิดขึ้นที่ระยะเฉียบพลันและกึ่งเฉียบพลัน ซึ่งเป็นช่วงที่สมองยังปรับตัวได้ยังไม่เต็มที่ จึงจำเป็นต้องเข้ารับการฟื้นฟูการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) นอกเหนือการฝึกกายภาพบำบัดแบบปกติ (conventional treatment) โดยที่นักกายภาพบำบัดจะทำการประเมินผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ด้วยวิธีการประเมินทางกายภาพบำบัดโดยการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัว (Tramontano et al., 2018) ประกอบด้วยการเพิ่มความมั่นคงในการเคลื่อนไหวที่ของดวงตา (gaze stability) ฝึกการทรงตัว (balance training) การฝึกเดิน (gait training) และการกระตุ้นการประสานสัมพันธ์ของระบบการรับรู้ความรู้สึกทางกาย (somatosensory integration) จากวิจัยนี้มีการรายงานกลุ่มผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังจำนวน 8 ราย ที่จะได้รับการตรวจประเมินร่างกายและบันทึกผลทางกายภาพบำบัดเพื่อติดตามผลหลังจากการฝึก 4 สัปดาห์ และระยะติดตามผล 8 สัปดาห์ ซึ่งแสดงผลออกมาในรูปแบบรายงานกลุ่ม (case series)

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อรายงานวิธีการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวในการฟื้นฟูทางไกลและการฝึกที่โรงพยาบาลในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองกึ่งเฉียบพลันที่มีรอยโรคบริเวณเส้นเลือดสมองส่วนหลังและมีอาการวิงเวียน

## 3. สมมติฐานของการวิจัย

ระบบการฟื้นฟูทางไกลในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองกึ่งเฉียบพลันที่มีรอยโรคบริเวณเส้นเลือดสมองส่วนหลังมีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูได้ โดยมีผลทางคลินิกอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้นเพื่อลดอัตราการเสี่ยงล้มในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลัง

## 4. ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรคหลอดเลือดสมองเป็นกลุ่มที่ควรได้รับการฟื้นฟูอย่างสม่ำเสมอเพื่อที่จะทำให้ความสามารถในด้านต่างๆ กลับมาเป็นปกติ โดยเฉพาะการใช้ชีวิตประจำวัน ซึ่งในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลัง (posterior circulation)





“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่อุปกรณ์ที่ยั่งยืน”  
5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรมรอยัล ริเวอร์ กรุงเทพฯ

มักมีปัญหาด้านการทรงตัว รวมถึงการควบคุมการเคลื่อนไหว อารมณ์เวียน คลื่นไส้ และอาเจียน เป็นต้น สามารถเกิดขึ้นได้ในผู้ป่วยกลุ่มนี้ จึงจำเป็นต้องมีการฝึกที่นอกเหนือจากการฟื้นฟูแบบดั้งเดิม (conventional rehabilitation) คือการฟื้นฟูแบบเน้นฝึกการทรงตัว (vestibular rehabilitation) และเพื่อแก้ปัญหาให้ผู้ป่วยที่มีความลำบากจากการเดินทางหรือสถานการณ์โควิด-19 ที่ทำให้การฝึกที่โรงพยาบาลอาจทำได้ยากกว่าปกติ เนื่องจากมีการจำกัดหรือลดความหนาแน่นในการเข้ารับบริการ งานวิจัยนี้จะมีการฝึกผู้ป่วย โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ป่วยผ่านทาง การฟื้นฟูทางไกล (telerehabilitation) และกลุ่มผู้ป่วยฝึกที่โรงพยาบาล โดยรวมมีผู้ป่วยจำนวน 8 ราย ซึ่งผู้ป่วยจะได้รับการทดสอบ ทำแบบประเมินอาการเวียนศีรษะและความสามารถในการทรงตัวเพื่อช่วยลดความเสี่ยงในการเสี่ยงล้มจากโรคหลอดเลือดสมอง การทดสอบทั้งหมดถูกทดสอบ ณ แผนกเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

#### 5. วิธีดำเนินการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัย (Inclusion criteria) 1. ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลัน (2 สัปดาห์จนถึง 3 เดือน) ที่ผ่านการสแกนสมอง (CT หรือ MRI brain) พบความผิดปกติบริเวณหลอดเลือดสมองส่วนหลัง (posterior circulation) 2. มีอายุ 40 - 80 ปี 3. หลังจากได้รับการวินิจฉัยเป็นโรคหลอดเลือดสมองแล้วเคยมีอาการเวียนศีรษะโดยอาการเวียนศีรษะไม่หายภายใน 24 ชั่วโมง 4. อาการเกร็ง ในระดับน้อยกว่า 2 จากเกณฑ์การประเมินอาการเกร็ง (Modified Ashworth scale) 5. ไม่มีอาการชักในระยะเวลา 1 ปี และไม่มีอุปกรณ์ในศีรษะและหัวใจ 6. สามารถเดินได้เอง และ/หรือ ใช้ไม้เท้าช่วยเดิน (สามารถให้คนพยุงเดินได้) โดยเดินได้อย่างน้อย 10 เมตร เกณฑ์การคัดออกผู้เข้าร่วมการวิจัย (Exclusion criteria) ดังนี้ 1. โรคทางระบบประสาทอื่นๆนอกเหนือจากโรคหลอดเลือดสมอง เช่น บาดเจ็บไขสันหลัง การบาดเจ็บของเส้นประสาทส่วนปลายที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อขา 2. มีความผิดปกติของขาที่ส่งผลกระทบต่อกรีน เช่น มีประวัติกระดูกขาหัก หรือมี metal implant ที่ขาภายในปีที่ผ่านมา 3. มีอาการปวดมากจนส่งผลกระทบต่อกรีน 4. ผู้ป่วยโรคอื่นที่มีความเสี่ยงเช่น โรคหัวใจ ไส้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าหัวใจ ผู้ป่วยที่มีภาวะความดันโลหิตสูงรุนแรงหรือหญิงตั้งครรภ์ หรือ ติดเชื้อ มีไข้ 5. โรคทางจิตเวช ภาวะซึมเศร้ารุนแรง ภาวะ dementia 6. ผู้ที่มีอาการเวียนศีรษะรุนแรง

การทดสอบและแบบประเมินทางคลินิกมีดังนี้ 1. การประเมินการทรงตัว (timed-up and go test, TUGT) 2. การทดสอบการเดินระยะ 10 เมตร (10-meter walk test, 10mWT) 3. การทดสอบการเดินแบบไดนามิก (dynamic gait index, DGI) และ 4. แบบประเมินอาการเวียนศีรษะ (dizziness handicap inventory, DHI)

5.1 ผู้ป่วยทุกรายจะได้รับการแนะนำการฟื้นฟูแบบเน้นฝึกการทรงตัวในครั้งแรก และแนะนำให้ทำกายภาพบำบัดที่ฐานที่บ้าน 1 ชั่วโมง/วัน 3 วัน/สัปดาห์ แบ่งผู้ป่วยเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะวิธีการฝึก ดังนี้

กลุ่ม C 4 ราย ได้รับการติดตามการฟื้นฟูแบบเน้นฝึกการทรงตัว (vestibular rehabilitation) จากนักกายภาพบำบัด 3 ครั้ง/สัปดาห์ ที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กลุ่ม X 4 ราย ได้รับการติดตามการฟื้นฟูแบบเน้นฝึกการทรงตัว (vestibular rehabilitation) 3 ครั้ง/สัปดาห์ ผ่านระบบการฟื้นฟูทางไกลโดยนักกายภาพบำบัด

5.2 เมื่อผู้ป่วยมาถึงโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจะได้รับการประเมินสัญญาณชีพ และซักประวัติ จากนั้นจะมีผู้วิจัยสัมภาษณ์ แบบประเมินการเวียนศีรษะ (dizziness handicap inventory)

5.3 จากนั้นผู้ป่วยจะได้รับการประเมินการทรงตัว (timed-up and go test) (ทั้งหมด 6 ครั้ง แบ่งเป็น วนด้านซ้าย 3 ครั้ง และ วนด้านขวา 3 ครั้ง) แล้วทำการประเมินการเดิน (10-meter walk test 2 ครั้ง และ dynamic gait index 1 ครั้ง) โดยนักกายภาพบำบัด

5.4 นักกายภาพบำบัด สอนผู้ดูแลผู้ป่วยและผู้ป่วย เรื่องความปลอดภัย เช่น การพยุงคนใช้ขณะฝึก รวมถึงแนะนำ สำหรับผู้ป่วยที่ได้รับการฝึกทางไกล เรื่องการวางเครื่องอุปกรณ์ในระยะที่เห็นผู้ป่วยได้เหมาะสมกับการฝึก เพื่อให้ข้อแนะนำ ปรับการฝึกได้มีประสิทธิภาพสูงสุด แก่ผู้ดูแลและผู้ป่วยโดยทำที่ใช้ในการฝึกการทรงตัว โดยวิธีการฝึกการทรงตัว (Vestibular rehabilitation) อ้างอิงจากงานวิจัย (Han et al., 2011) (Sharma, 2020)

5.5 นักกายภาพบำบัด มีการสอบถามอาการผู้ป่วยโดยตลอดเกี่ยวกับความสุขสบาย ความปลอดภัย การปวดเมื่อยหรือ ล้ากล้ามเนื้อระหว่างและหลังทำการทดลอง อาการปวดศีรษะ รวมถึงอาการอื่นๆ

5.6 การประเมินหลังได้รับการทำกายภาพบำบัดครบแล้ว (post-intervention)

เมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 4 มีการประเมินเหมือนกับครั้งแรก

5.7 การประเมินติดตามหลังได้รับการทำกายภาพบำบัดครบแล้ว (post-intervention)

เมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 8 มีการประเมินเหมือนกับครั้งแรก

5.8 วิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ดังนี้ 1. วิเคราะห์ปัจจัยส่วนบุคคล เช่น เพศ อายุ โรคประจำตัว ประเภทของโรค หลอดเลือดสมอง เป็นต้น (ตารางที่ 1) 2. แสดงผลประสิทธิภาพของการรักษาด้วยการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัว โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ตารางที่ 2)

## 6. ผลการวิจัย

6.1 ข้อมูลผู้ป่วย กลุ่มการฟื้นฟูและรอยโรคของผู้ป่วยแสดงดังนี้ (ตารางที่ 1) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ข้อมูลของผู้ป่วย (Demographic data)

เพศ n=8 (%)	
ชาย	7 (87.5)
หญิง	1 (12.5)
อายุ (ปี) (Mean±SD)	62±7.74
โรคประจำตัว (%)	
เบาหวาน	18.18
ความดัน	45.45
ไขมันในเลือดสูง	27.27

ไม่มีโรคประจำตัว	9.09
ประเภทของโรคหลอดเลือดสมอง (%)	
เส้นเลือดสมองตีบ (Ischemic stroke)	100
เส้นเลือดสมองแตก (Hemorrhagic stroke)	0
ด้านที่อ่อนแรง (affected side) (%)	
ซ้าย	50
ขวา	50
ระยะเวลาที่ได้รับการวินิจฉัยก่อนเข้ารับการรักษา (สัปดาห์) (Mean±SD)	7.13±3.68
อาการ (%)	
เวียนศีรษะ	53.33
ไม่มั่นคงในการทรงท่า	46.67

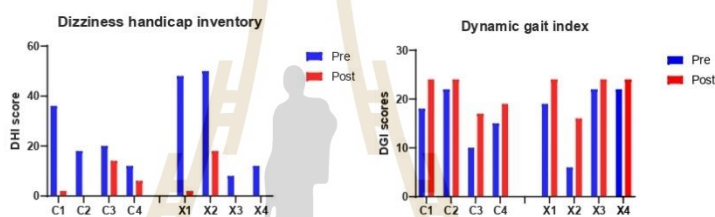
ตารางที่ 2 รหัสผู้ป่วย เพศ และรอยโรค

ผู้ป่วยรหัส	รูปแบบการรักษา	เพศ	รอยโรค
001	C1	ชาย	V4 segment of right vertebral artery
002	X1	ชาย	Multiple small hypodense lesions at left corona radiata, left internal capsule, left thalamus and right sided pons
003	X2	หญิง	Bilateral lentiform nucleus, right caudate nucleus and right corona radiata. Wedge-shape old infarctions at inferior left cerebellar hemisphere.
004	C2	ชาย	Left sided pons.
005	X3	ชาย	Acute right basal ganglia hemorrhage with mild perilesional edema. Unchanged old Lacunar infarction at bilateral corona radiatas, left

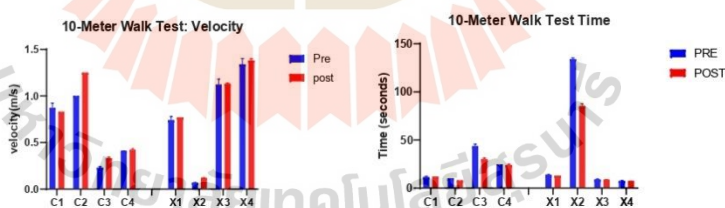
			lentiform nucleus, right thalamus and pons.
006	C3	ชาย	Acute infarction at right paramedian pons.
007	C4	ชาย	Right centrum semiovale.
008	X4	ชาย	Right fronto-parieto-temporal and right occipital lobes.

หมายเหตุ C=กลุ่มที่ได้รับการฟื้นฟูที่โรงพยาบาล X=กลุ่มที่ได้รับการฟื้นฟูทางไกล

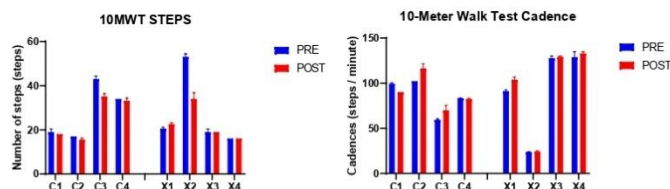
## 6.2 ผลการทดลองทางคลินิก



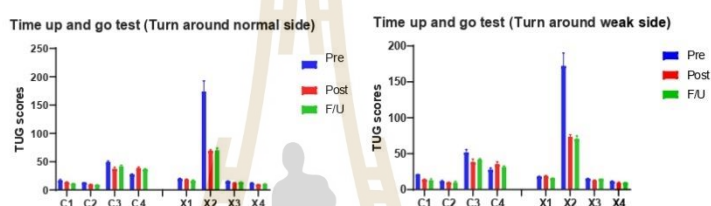
รูปที่ 1 dizziness handicap inventory Score (ภาพซ้าย) และ dynamic gait index (ภาพขวา) (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก และ Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C:กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: คือกลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)



รูปที่ 2 อัตราเร็วในการเดิน ใน 10-Meter Walk test และเวลาในการเดิน 10-Meter Walk test (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C:กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: คือกลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)



รูปที่ 3 จำนวนก้าวในการเดิน (ภาพซ้าย) และจำนวนก้าว/นาทีในการเดิน (ภาพขวา) ใน 10-Meter Walk test (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก และ Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล X: คือกลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)



รูปที่ 4 Timed-Up and Go test เดินเลี้ยวไปด้านขวาที่ปกติ (ภาพซ้าย) และเดินเลี้ยวไปด้านขวาที่อ่อนแรง (ภาพขวา) (Pre: ก่อนฝึกกายภาพบำบัดครั้งแรก; Post: หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; F/U: Post 1 month: ที่เวลา 1 เดือน หลังฝึกกายภาพบำบัดครบ 12 ครั้ง; C: กลุ่มที่ฝึกที่โรงพยาบาล; X: คือกลุ่มที่ฝึกแบบทางไกล)

### 6.3 ผลการประเมินรายบุคคล

ผลการทดสอบทางคลินิกของผู้ป่วยรหัส 001

1) คะแนนแบบประเมินอาการเวียนศีรษะก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึก ผู้ป่วยรหัส 001 ได้ 36 คะแนน พบว่าหลังฝึกได้ 2 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำ 2) การทดสอบการทรงตัว (Time up and go test, TUGT) เวลาที่ใช้ทดสอบในการเดินบนทางขวาและบนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 20.88 และ 17.01 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากการฝึก ได้เวลาเฉลี่ยเดินบนทางขวาและบนทางซ้ายคือ 13.87 และ 13.65 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ หลังจากนั้นมีการติดตามผู้ป่วยในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินบนทางขวาและบนทางซ้ายคือ 12.87 และ 11.38 วินาที ตามลำดับ ผู้ป่วยมีความเสี่ยงล้มต่ำ 3) การทดสอบการเดิน 10 เมตร มีการบันทึกผลดังนี้ จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 19 ก้าว หลังฝึก 18 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 1 ก้าว ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 11.5 วินาที หลังฝึก 12 วินาที ใช้เวลาเพิ่มขึ้น 0.5 วินาที อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.83 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.83 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเท่าเดิม จำนวนก้าวต่อนาที (cadence) ก่อนฝึก 99 ก้าวต่อนาที หลังฝึก 90 ก้าวต่อนาที ซึ่งมีจำนวนก้าวลดลงในเวลา 9 ก้าวต่อนาที



“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน”  
5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรมรอยัล ริเวอร์ กรุงเทพฯ

4) การทดสอบการเดินแบบไดนามิก (ซึ่งคะแนนเต็ม 24) ในผู้ป่วยรหัส 001 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 18 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ

ผลการทดสอบทางคลินิกของผู้ป่วยรหัส 002

1) คะแนนแบบประเมินอาการเวียนศีรษะก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึก ผู้ป่วยรหัส 002 ได้ 48 คะแนน พบว่าหลังฝึกได้ 2 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำ 2) การทดสอบการทรงตัว (TUGT) เวลาที่ใช้ทดสอบในการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 19.67 และ 18.23 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากการฝึก ได้เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 18.84 และ 18.69 วินาที ตามลำดับ ถือว่าเวลาลดลงเล็กน้อย หลังจากนั้นมีการติดตามผู้ป่วยในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 16.44 และ 15.96 วินาที ตามลำดับ ผู้ป่วยมีความเสี่ยงล้มลดลงจากก่อนฝึก 3) การทดสอบการเดิน 10 เมตร มีการบันทึกผลดังนี้ จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 20.5 ก้าว หลังฝึก 22.5 ก้าว จำนวนก้าวเพิ่มขึ้น 2 ก้าว ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 13.5 วินาที หลังฝึก 13 วินาที ใช้เวลาลดลง 0.5 วินาที อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.74 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.77 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.03 เมตรต่อวินาที จำนวนก้าวต่อนาที (cadence) ก่อนฝึก 91 ก้าวต่อนาที หลังฝึก 104 ก้าวต่อนาที ซึ่งมีจำนวนก้าวเพิ่มขึ้น 13 ก้าวต่อนาที 4) การทดสอบการเดินแบบไดนามิก (DGI) ในผู้ป่วยรหัส 002 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 19 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ

ผลการทดสอบทางคลินิกของผู้ป่วยรหัส 003

1) คะแนนแบบประเมินอาการเวียนศีรษะก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึก ผู้ป่วยรหัส 003 ได้ 50 คะแนน พบว่าหลังฝึกได้ 18 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำ 2) Time up and go test โปรแกรมการฝึกในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 172.07 และ 173.60 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากการฝึก ได้เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 73.11 และ 69.15 วินาที ตามลำดับ ถือว่าเวลาลดลงเล็กน้อย หลังจากนั้นมีการติดตามผู้ป่วยในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 70.45 และ 69.82 วินาที ตามลำดับ ผู้ป่วยมีความเสี่ยงล้มลดลงจากก่อนฝึก 3) การทดสอบการเดิน 10 เมตร มีการบันทึกผลดังนี้ จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 53 ก้าว หลังฝึก 34 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 19 ก้าว ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 134 วินาที หลังฝึก 85 วินาที ใช้เวลาลดลง 49 วินาที อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.07 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.12 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.05 เมตรต่อวินาที จำนวนก้าวต่อนาที (cadence) ก่อนฝึก 24 ก้าว หลังฝึก 24 ก้าว จำนวนก้าวต่อนาทีเท่ากัน 4) การทดสอบการเดินแบบไดนามิก (DGI) ในผู้ป่วยรหัส 003 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 6 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 16 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มแต่มีคะแนนที่ดีขึ้น 10 คะแนนจากก่อนฝึก

ผลการทดสอบทางคลินิกของผู้ป่วยรหัส 004

1) คะแนนแบบประเมินอาการเวียนศีรษะก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึก ผู้ป่วยรหัส 004 ได้ 18 คะแนน ถือเป็นความเสี่ยงล้มต่ำ พบว่าหลังฝึกได้ 0 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง 2) การทดสอบการทรงตัว (TUGT) เวลาที่ใช้ทดสอบในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 11.80 และ 13.24 วินาที ตามลำดับ ถือ



“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน”  
5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรมรอยัล ริเวอร์ กรุงเทพฯ

ว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ ผลหลังจากการฝึก ได้เวลาเฉลี่ยเดินทางขาและวนทางซ้ายคือ 9.88 และ 9.97 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการติดตามผู้ป่วยในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินทางขาและวนทางซ้ายคือ 9.75 และ 9.02 วินาที ตามลำดับ โดยเวลาที่ใช้ในการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 แตกต่างกันอย่างเล็กน้อย ผู้ป่วยมีความเสี่ยงล้มต่ำ 3) การทดสอบการเดิน 10 เมตร มีการบันทึกผลดังนี้ จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 17 ก้าว หลังฝึก 15.5 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 1.5 ก้าว ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 10 วินาที หลังฝึก 8 วินาที ใช้เวลาดลดลง 2 วินาที อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 1 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 1.25 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.25 เมตรต่อวินาที cadence (จำนวนก้าวต่อนาที) ก่อนฝึก 102 ก้าว หลังฝึก 116 ก้าว จำนวนก้าวต่อนาทีเพิ่มขึ้น 14 ก้าวต่อนาที 4) การทดสอบการเดินแบบไดนามิก (DGI) ในผู้ป่วยรหัส 004 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 22 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำมากหรือแทบไม่มีความเสี่ยง

ผลการทดสอบทางคลินิกของผู้ป่วยรหัส 005

1) คะแนนแบบประเมินอาการเวียนศีรษะก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึก ผู้ป่วยรหัส 005 ได้ 8 คะแนน ถือเป็นความเสี่ยงล้มต่ำมาก พบว่าหลังฝึกได้ 0 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงล้มต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง 2) การทดสอบการทรงตัว (TUGT) เวลาที่ใช้ทดสอบในการทดสอบมีการเดินทางขาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 15.45 และ 15.50 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากการฝึก ได้เวลาเฉลี่ยเดินทางขาและวนทางซ้ายคือ 12.47 และ 12.91วินาที ตามลำดับ ถือเป็นความเสี่ยงต่ำ หลังจากนั้นมีการติดตามผู้ป่วยในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินทางขาและวนทางซ้ายคือ 14.72 และ 13.60 วินาที ตามลำดับ ถือเป็นความเสี่ยงต่ำ 3) การทดสอบการเดิน 10 เมตร มีการบันทึกผลดังนี้ จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 19 ก้าว หลังฝึก 19 ก้าว จำนวนก้าวที่ใช้เท่าเดิม ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 8.94 วินาที หลังฝึก 8.84 วินาที ใช้เวลาดลดลง 0.105 วินาทีอัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 1.12 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 1.13 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.01 เมตรต่อวินาที จำนวนก้าวต่อนาที (cadence) ก่อนฝึก 128 ก้าว หลังฝึก 129 ก้าว เพิ่มขึ้น จำนวน 1 ก้าว 4) การทดสอบการเดินแบบไดนามิก (DGI) ในผู้ป่วยรหัส 005 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 22 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำมากหรือแทบไม่มีความเสี่ยง

ผลการทดสอบทางคลินิกของผู้ป่วยรหัส 006

1) คะแนนแบบประเมินอาการเวียนศีรษะก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึก ผู้ป่วยรหัส 006 ได้ 20 คะแนน ถือเป็นความเสี่ยงล้มต่ำ พบว่าหลังฝึกได้ 14 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงล้มต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง 2) การทดสอบการทรงตัว เวลาที่ใช้ทดสอบในการทดสอบมีการเดินทางขาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 48.83 และ 51.72 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากการฝึก ได้เวลาเฉลี่ยเดินทางขาและวนทางซ้ายคือ 37.38 และ 38.13 วินาที ตามลำดับถือเป็นความเสี่ยงต่ำ หลังจากนั้นมีการติดตามผู้ป่วยในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินทางขาและวนทางซ้ายคือ 41.54 และ 41.72 วินาที ตามลำดับ ถือเป็นความเสี่ยงต่ำ 3) การทดสอบการเดิน 10 เมตร มีการบันทึกผลดังนี้ จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 43 ก้าว หลังฝึก 35 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 8 ก้าว ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 43.50 วินาที หลังฝึก 30.1 วินาที ใช้เวลาดลดลง 13.40 วินาทีอัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.23 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.33 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.1 เมตรต่อวินาที จำนวนก้าวต่อนาที (cadence) ก่อนฝึก 59 ก้าว หลังฝึก 70 ก้าว จำนวนก้าวต่อ



“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน”  
5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรมรอยัล ริเวอร์ กรุงเทพฯ

นาที่เพิ่มขึ้น 11 ก้าวต่อนาที 4) การทดสอบการเดินแบบไดนามิก ในผู้ป่วยรหัส 006 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 10 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 17 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มปานกลางแต่ผลการประเมินผู้ป่วยได้คะแนนสูงขึ้น ความเสี่ยงล้มลดลงจากก่อนการฝึก

#### ผลการทดสอบทางคลินิกของผู้ป่วยรหัส 007

1) คะแนนแบบประเมินอาการเวียนศีรษะก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึก ผู้ป่วยรหัส 007 ได้ 12 คะแนน ถือเป็นความเสี่ยงล้มต่ำ พบว่าหลังฝึกได้ 6 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง 2) การทดสอบการทรงตัว (TUGT) เวลาที่ใช้ทดสอบในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 27.60 และ 27.69 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มสูง ผลหลังจากการฝึก ได้เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 38.11 และ 38.13 วินาที ตามลำดับ ถือเป็นความเสี่ยงต่ำ หลังจากนั้นมีการติดตามผู้ป่วยในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 36.58 และ 31.44 วินาที ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 เพิ่มจากก่อนฝึกเนื่องจากผู้ป่วยมีอาการปวดล้ากล้ามเนื้อ 3) การทดสอบการเดิน 10 เมตร มีการบันทึกผลดังนี้ จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 34 ก้าว หลังฝึก 33 ก้าว จำนวนก้าวลดลง 1 ก้าว ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 24.48 วินาที หลังฝึก 24.08 วินาที ใช้เวลาลดลง 0.40 วินาที อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 0.41 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 0.42 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.01 เมตรต่อวินาที จำนวนก้าวต่อนาที (cadence) ก่อนฝึก 83 ก้าว หลังฝึก 82 ก้าว จำนวนก้าวต่อนาทีลดลง 1 ก้าวต่อนาที 4) การทดสอบการเดินแบบไดนามิก ในผู้ป่วยรหัส 007 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 15 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 19 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มปานกลาง

#### ผลการทดสอบทางคลินิกของผู้ป่วยรหัส 008

1) คะแนนแบบประเมินอาการเวียนศีรษะก่อนเข้ารับโปรแกรมการฝึก ผู้ป่วยรหัส 008 ได้ 12 คะแนน ถือเป็นความเสี่ยงล้มต่ำมาก พบว่าหลังฝึกได้ 0 คะแนน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่ำมากหรือไม่มีความเสี่ยง 2) การทดสอบการทรงตัว (TUGT) เวลาที่ใช้ทดสอบในการทดสอบมีการเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายโดยคะแนนคือ 12.22 และ 11.39 วินาที ตามลำดับ ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำ ผลหลังจากการฝึก ได้เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 9.80 และ 9.47 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการติดตามผู้ป่วยในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า เวลาเฉลี่ยเดินวนทางขวาและวนทางซ้ายคือ 10.48 และ 9.74 วินาที ตามลำดับ โดยเวลาที่ใช้ในการทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ผู้ป่วยมีความเสี่ยงล้มต่ำ 3) การทดสอบการเดิน 10 เมตร มีการบันทึกผลดังนี้ จำนวนก้าวโดยเฉลี่ย ก่อนฝึก 16 ก้าว หลังฝึก 16 ก้าว จำนวนก้าวที่ใช้เท่าเดิม ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระยะ 10 เมตร ก่อนฝึก 7.46 วินาที หลังฝึก 7.23 วินาที ใช้เวลาลดลง 0.23 วินาที อัตราเร็วที่ใช้ในการเดิน ก่อนฝึก 1.34 เมตรต่อวินาที หลังฝึก 1.38 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วเพิ่มขึ้น 0.04 เมตรต่อวินาที จำนวนก้าวต่อนาที (cadence) ก่อนฝึก 129 ก้าว หลังฝึก 133 ก้าว จำนวนก้าวต่อนาทีเพิ่มขึ้น 4 ก้าวต่อนาที 4) การทดสอบการเดินแบบไดนามิก ในผู้ป่วยรหัส 008 ได้คะแนนในการทดสอบก่อนฝึก 22 คะแนน และคะแนนหลังฝึกได้ 24 คะแนน ถือว่ามีความเสี่ยงล้มต่ำมากหรือแทบไม่มีความเสี่ยง



ตารางที่ 3 ตารางสรุปค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขอผลทางทดสอบทางคลินิก

Clinical test	Hospital-based (Mean±SD.)			Telerehabilitation (Mean±SD.)		
	Pre	Post	F/U	Pre	Post	F/U
DHI	21.5±10.25	2±2.83	-	29.5±22.59	5±8.72	-
10mWT - Velocity	0.63±0.37	0.71±0.42	-	0.82±0.56	0.85±0.55	-
10mWT -Time	22.37±15.51	18.54±10.30	-	40.97±62.07	28.52±37.74	--
10mWT -Steps	28.25±12.42	25.38±10.04	-	27.13±17.35	22.88±7.88	-
10mWT - Cadence	85.95±19.56	89.57±19.65	-	92.78±49.24	97.44±50.62	-
TUGT วนข้าง ปกติ	26.67±15.98	24.78±15.05	24.63±16.81	55.25±78.96	27.68±27.90	27.59±15.23
TUGT วนข้าง อ่อนแรง	28.02±17.08	24.30±14.48	23.95±15.23	54.29±78.57	28.44±30.03	27.72±28.61
DGI	16.25±5.06	21±3.56	-	17.25±7.63	22±4	-

หมายเหตุ DHI คือ แบบประเมินอาการจริงเวียนศีรษะ; 10mWT คือ การทดสอบการเดินระยะ 10 เมตร (Velocity คือ ความเร็วที่ใช้; Time คือ เวลาที่ใช้; Steps คือ จำนวนก้าวที่ใช้; Cadence คือจำนวนก้าวต่อนาที); TUGT คือ การทดสอบการเดินทรงตัว; DGI คือ การทดสอบการเดินแบบไดนามิก



“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน”  
5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรมรอยัล ริเวอร์ กรุงเทพฯ

### สรุปผลการวิจัย

จากตารางที่ 3 พบว่าการทำกายภาพบำบัดแบบเน้นการทรงตัวส่งผลต่อการลดอาการวิงเวียน ซึ่งประเมินได้จากการทำแบบประเมินอาการวิงเวียน (DHI) ค่าคะแนนมีค่าลดลง แสดงถึงด้านกายภาพ ด้านจิตใจ และด้านการใช้ชีวิตประจำวันที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการประเมินความสามารถการเดิน เช่น การทดสอบการเดินระยะ 10 เมตร (10mWT) ที่แสดงถึงประสิทธิภาพที่ผู้ป่วยทำได้มากขึ้น ทั้งอัตราเร็วและจำนวนก้าวต่อนาทีที่เพิ่มขึ้น รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่ลดลง อาจกล่าวได้ว่าผู้ป่วยมีความสามารถในการทรงตัวที่ดีขึ้น โดยมีงานวิจัยก่อนหน้า (Elhamrawy et al., 2021) ที่มีการใช้การฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัว พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของความเร็วที่ใช้ในการเดิน จำนวนก้าว และระยะก้าวของผู้ป่วย การประเมินการเดินที่ทดสอบผู้ป่วยให้เดินวนข้างปกติและอ่อนแรง (TUGT) พบว่าผู้ป่วยใช้เวลาในการเดินลดลงหลังจากที่ได้รับการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวทั้งหลังการฝึกและช่วงระยะเวลาติดตาม 1 เดือน การทดสอบการเดินแบบไดนามิกที่มีแบบทดสอบใกล้เคียงกับการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น เดินซิกแซก การเดินหมุนตัว การเดินข้ามสิ่งกีดขวาง เป็นต้น คะแนนเฉลี่ยที่ผู้ป่วยทำได้มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเดินที่ดีขึ้น สามารถทำกิจกรรมนั้นได้ดี จากงานวิจัย (Balci et al., 2013) ที่ใช้การฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวในผู้ป่วยหลอดเลือดสมอง พบว่ามีการทรงตัวและการเดินที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดย ประเมินจากแบบทดสอบต่างๆ (Berg Balance Scale (BBS), time-up and go test (TUGT), dizziness handicap inventory (DHI), and dynamic gait index (DGI)) จากผลทั้งหมดทางคลินิก พบว่าการฟื้นฟูแบบเน้นการทรงตัวมีส่วนช่วยให้ผู้ป่วยทั้งสองกลุ่ม (กลุ่มฟื้นฟูทางไกลและกลุ่มฟื้นฟูที่โรงพยาบาล) มีการทรงตัวที่มีแนวโน้มที่ดีขึ้น ลดปัญหาการวิงเวียน และความเสี่ยงล้มได้

### เอกสารอ้างอิง

- The World Health Organization MONICA Project (monitoring trends and determinants in cardiovascular disease): a major international collaboration. WHO MONICA Project Principal Investigators. (1988). *Journal of clinical epidemiology*, 41(2), 105–114. [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(88\)90084-4](https://doi.org/10.1016/0895-4356(88)90084-4)
- Feigin, V. L., Stark, B. A., Owens Johnson, C., Roth, G. A., Bisignano, C., Gebreheat Abady, G., Abbasifard, M., Abbasi-Kangevari, M., Abd-Allah, F., Abedi, V., Abualhasan, A., Abu-Rmeileh, N. M., Abushouk, A. I., Adebayo, O. M., Agarwal, G., Agasthi, P., Opoku Ahinkorah, B., Ahmad, S., Ahmadi, S., ... Collaborators, S. (2021). Summary Background Regularly updated data on stroke and its pathological types, including data on their incidence, prevalence, mortality, disability, risk factors, and epidemiological trends, are important for evidence-based stroke care planning and resource allocation. The Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study (GBD) aims to provide a standardised and comprehensive measurement of these metrics at global, regional, and national levels. *The Lancet Neurology*, 20, 795–820. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(21\)00252-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(21)00252-0)



“วิทยาลัยเทคโนโลยีและนวัตกรรม สุขภาพพัฒนาที่ยั่งยืน”  
5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรมรอยัล จีแอด กรุงเทพฯ

- Mehndiratta, M., Pandey, S., Nayak, R., & Alam, A. (2012). Posterior circulation ischemic stroke-clinical characteristics, risk factors, and subtypes in a north Indian population: a prospective study. *The Neurohospitalist*, 2(2), 46–50. <https://doi.org/10.1177/1941874412438902>
- Tramontano, M., Bergamini, E., Iosa, M., Belluscio, V., Vannozzi, G., & Morone, G. (2018). Vestibular rehabilitation training in patients with subacute stroke: A preliminary randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation*, 43(2), 247–254. <https://doi.org/10.3233/NRE-182427>
- Han, B. I., Song, H. S., & Kim, J. S. (2011). Vestibular rehabilitation therapy: Review of indications, mechanisms, and key exercises. In *Journal of Clinical Neurology (Korea)* (Vol. 7, Issue 4, pp. 184–196). Korean Neurological Association. <https://doi.org/10.3988/jcn.2011.7.4.184>
- Sharma, K. G., & Gupta, A. K. (2020). Efficacy and Comparison of Vestibular Rehabilitation Exercises on Quality of Life in Patients with Vestibular Disorders. *Indian Journal of Otolaryngology and Head and Neck Surgery*, 72(4), 474–479. <https://doi.org/10.1007/s12070-020-01920-y>
- Elhamrawy, M. Y., Mohamed, S., Bahnasy, W., Saif, M. Y., Elkholy, A., & Said, M. (2021). Effect of vestibular rehabilitation therapy on spatio-temporal gait parameters in elderly patients with post-stroke hemineglect. *Advances in Rehabilitation*, 35(3), 17–24. <https://doi.org/10.5114/AREH.2021.107421>
- Balci, B. D., Akdal, G., Yaka, E., & Angin, S. (2013). Vestibular rehabilitation in acute central vestibulopathy: A randomized controlled trial. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium and Orientation*, 23(4–5), 259–267. <https://doi.org/10.3233/VES-130491>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ขอขอบเกียรติบัตรฉบับนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

คุณยวีดี วิริยพงศ์ และ กัญจน์ ภัคสังคราม

ได้เข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิจัย แบบบรรยาย

เรื่อง รายงานกลุ่มผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลันที่ได้รับการทรงตัวทางไกลและที่โรงพยาบาล

การประชุมวิชาการระดับชาติ The National Conference on Science Technology and Innovation 2024 Hybrid Conference

วันอังคารที่ 5 มีนาคม 2567 ณ โรงแรม รอยัล ริเวอร์ กรุงเทพฯ



(รองศาสตราจารย์ ดร.ณวงค์ สัจจระนะที)  
รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



(รองศาสตราจารย์ ดร.จิติศรี สารสวัสดิ์ทิพัฒน์)  
คณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## ประวัติผู้เขียน

นายดุลยวัต วิริยพงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2539 ศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาถึงมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนมารีย์วิทยา จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขากายภาพบำบัด คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2561 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในคลินิกกายภาพบำบัด โดยเป็นนักกายภาพบำบัดเต็มเวลา รับผิดชอบงานการรักษา ดูแล ฟันฟู บำบัด และส่งเสริมสุขภาพในด้านต่างๆ เช่น ระบบกระดูกกล้ามเนื้อ ระบบประสาท ระบบหัวใจและทรวงอก การกีฬา และผู้สูงอายุ เมื่อ ปีพ.ศ. 2562-2564

ปี พ.ศ. 2564 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขานวัตกรรมการแพทย์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยได้เป็นผู้ช่วยวิจัยและได้นำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติ The National Conference on Science Technology and Innovation 2024 (NCSTI 2024) Hybrid Conference ภายใต้หัวข้อ : "วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน" ในหัวข้อเรื่อง รายงานกลุ่มผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองส่วนหลังระยะกึ่งเฉียบพลันที่ได้รับการฟื้นฟูการทรงตัวทางไกลและที่โรงพยาบาล โดยได้รับการตีพิมพ์เป็นรายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ ดังปรากฏในภาคผนวก



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี