การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

ปิยวรรณ ถนัดธนูศิลป์

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์และคณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ ได้พิจารณาดุษฎีนิพนธ์ของ ปิยวรรณ ถนัดธนูศิลป์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาณี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.ปริญญา เรืองทิพย์)

คณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.สมพร สุทัศนีย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาณี)

..... กรรมการ
(ดร.ปริญญา เรืองทิพย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดแช้ม)

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญาอนุมัติให้รับดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาณี) และวิทยาการปัญญา
วันที่ ... ๙ ... เดือน สิงหาคม ..... พ.ศ. 2559

51810936: สาขาวิชา: การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา;
ปร.ด. (การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา)
คำสำคัญ: กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ/ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์/
คลื่นไฟฟ้าสมอง

ปิยวรรณ ถนัดธนูศิลป์: การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง (INCREASING SPATIAL RECOGNITION ABILITY USING A THREE DIMENSIONAL MULTIPLE OBJECT TRACKING (3D–MOT) TASK FOR UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS: AN ELECTROENCEPHALOGRAM STUDY) คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กรเพชรปาณี, Ph.D., ปริญญา เรืองทิพย์., ปร.ด. 181 หน้า. ปี พ.ศ. 2559.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ เปรียบเทียบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และพลังงานสัมพัทธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังการใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ และเปรียบเทียบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และพลังงานสัมพัทธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแสนสุข จำนวน 46 คน สุ่มเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมกลุ่มละเท่า ๆ กัน เครื่องมือในการวิจัย ได้แก่ แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ตัวแปรตาม คือ ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมอง วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบที

ผลการวิจัย ปรากฏว่า

1) การฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ มีความเหมาะสมที่จะใช้สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2) ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง หลังการฝึกด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สูงกว่าก่อนการทดลองและสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และขนาดอิทธิพล เท่ากับ 0.96

3) ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มทดลอง มีช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง alpha 1 alpha 2 beta 1 และ beta 2 หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง และสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และแตกต่างกันทุกตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ได้แก่ F3 Fz F4 C3 Cz C4 P3 Pz P4 O1 และ O2

4) ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง เฉพาะช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง alpha 1 ที่ตำแหน่ง O1 และ O2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีคลื่นไฟฟ้าสมอง alpha 2 แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และแตกต่างกันทุกตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ได้แก่ F3 Fz F4 C3 Cz C4 P3 Pz P4 O1 และ O2

51810936: MAJOR: RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE;
Ph.D. (RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE)
KEYWORDS: THREE DIMENSIONAL MULTIPLE OBJECT TRACKING (3D–MOT) TASK
/ SPATIAL RECOGNITION ABILITY/ ELECTROENCEPHALOGRAM

PIYAWAN TANUDTANUSILP: INCREASING SPATIAL RECOGNITION ABILITY USING A THREE DIMENSIONAL MULTIPLE OBJECT TRACKING (3D-MOT) TASK FOR UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS: AN ELECTROENCEPHALOGRAM STUDY. ADVISORY COMMITTEE: SUCHADA KORNPETPANEE, Ph.D., PARINYA RUENGTHIP, Ph.D. 181 P. 2016.

The objectives of this research were (1) to develop a brain training task involving three dimensional multiple object tracking (3D-MOT); (2) to assess its impact on spacial recognition ability in an experimental group; and (3), to compare post-hoc spatial recognition ability with a control group. Forty-six upper secondary school students were recruited from Sansook School, randomly and equally assigned to experimental and control groups. Data were collected using a spatial recognition ability test, and electroencephalogram (EEG) recordings. The average spatial recognition ability score and average relative power (RP) in the alpha and beta frequency bands were used as dependent variables. The *t*-test was used to analyze the data.

Findings were as follows:

1) Brain training using a 3D–MOT task is suitable for use with the upper secondary school students.

2) The average spatial recognition ability score of the experimental group after training with 3D-MOT was higher than before training, and also higher than that of the control group ($p < .01$), effect size = 0.96.

3) The average RP of the experimental group after training with 3D-MOT was higher than before training, and higher than the control group at alpha 1, alpha 2, beta 1, and beta 2 in all electrode sites: F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, and O2 ($p < .01$).

4) The average RP of the experimental group between male and female students only at alpha 1 in the electrode sites of O1 and O2 showed statistically significant differences at the .05 level. and alpha 2 in all electrode sites: F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, and O2 ($p < .01$).

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่
1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5
กรอบแนวคิดในการวิจัย 5
สมมติฐานของการวิจัย 7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 7
ขอบเขตของการวิจัย 7
นิยามศัพท์เฉพาะ 8
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10
ตอนที่ 1 แนวคิดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Ability) 11
ตอนที่ 2 ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ 17
ตอนที่ 3 การรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception) 21
ตอนที่ 4 การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 31
ตอนที่ 5 การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 39
3 วิธีการดำเนินการวิจัย 45
ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ 46
ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาผลการนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ 55
4 ผลการวิจัย 73
ตอนที่ 1 ผลการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย 74

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ตอนที่ 2 ผลการนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย 79

5 สรุปและอภิปรายผล 111

สรุปผลการวิจัย 111

การอภิปรายผล 112

ข้อเสนอแนะ 114

บรรณานุกรม 119

ภาคผนวก 126

ภาคผนวก ก ตัวอย่างแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Recognition Ability Test) 127

ภาคผนวก ข แบบวัดความถนัดในการใช้มือของเอดินเบอร์ก 133

ภาคผนวก ค แบบวัดระดับสายตาระยะใกล้ด้วย Snellen's Chart 135

ภาคผนวก ง ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมอง ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้ฝึก 138

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ 141

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ 149

ภาคผนวก ช ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) 160

ภาคผนวก ซ ผลการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ของกลุ่มทดลอง 177

ประวัติย่อของผู้วิจัย 181

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	การตรวจความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ทรงคุณวุฒิ	52
3-2	การตรวจความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ฝึก	53
3-3	แบบแผนการทดลอง 2 กลุ่ม แบบวัดก่อนและหลังการทดลอง	56
3-4	ตารางการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ	63
4-1	ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ทรงคุณวุฒิ	77
4-2	ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ฝึก	78
4-3	จำนวนและร้อยละลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	79
4-4	คะแนนสูงสุด คะแนนต่ำสุด ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามเงื่อนไขการทดลอง	80
4-5	ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น	81
4-6	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น	83
4-7	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของคลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น จำแนกตามตำแหน่งของสมอง	84
4-8	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของคลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (n=23)	86
4-9	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (n=23)	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n*=23) 90

4-11 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n*=46) 92

4-12 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้การฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n*=46) 93

4-13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง (*n* = 46) 95

4-14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n* = 46) 97

4-15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n* = 46) 99

4-16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n* = 46) 101

4-17 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น 103

4-18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น 105

4-19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น 106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น 108

4-21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น 109

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	กรอบแนวคิดการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง	6
2-1	มิติสัมพันธ์แบบหมุนภาพหรือเลื่อนภาพ	14
2-2	มิติสัมพันธ์แบบตัดภาพ	15
2-3	มิติสัมพันธ์แบบรวมภาพ	15
2-4	มิติสัมพันธ์แบบซ่อนภาพ	15
2-5	มิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพ	16
2-6	มิติสัมพันธ์แบบพับกระดาษ	16
2-7	มิติสัมพันธ์แบบพับกล่อง	17
2-8	มิติสัมพันธ์แบบจับคู่ชิ้นส่วนกับภาพ	17
2-9	ลำดับพัฒนาการด้านการรับรู้ทางสายตาของ Warren ปี ค.ศ.1993	22
2-10	เส้นทางการประมวลผลของระบบประสาทการรับรู้ด้วยการมองเห็น	25
2-11	โครงสร้างของดวงตาตามระนาบด้านข้าง	26
2-12	พื้นที่บรอดแมนท์ (Boardman’s Area) ที่เกี่ยวกับการมองเห็น	26
2-13	วิถีประสาทรับภาพ	27
2-14	ไพรมารี่วิชวลคอร์เทกซ์ (Primary Visual Cortex)	28
2-15	ความยาวคลื่นของแสงในสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)	29
2-16	ลานสายตา (Visual Field)	30
2-17	Baddeley’s (2000) Working Memory Model	32
2-18	การต่อเนื่องของเหตุการณ์ซึ่งเป็นแบบอย่างการทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ	34
2-19	กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ	36
2-20	ตำแหน่งการวางขั้วไฟฟ้าตามมาตรฐานสากล 10/20	40
2-21	คลื่นไฟฟ้าสมองในแต่ละช่วงความถี่	41
3-1	ขั้นตอนการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ	46
3-2	ลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น	48
3-3	ลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	49
3-4	ขั้นตอนของกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ	54
3-5	ลำดับรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ	55
3-6	ระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 (A) ด้านซ้าย และ (B) ด้านบนของศีรษะ	58
3-7	ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง	59
3-8	แผนภาพขั้นตอนการทดสอบข้อสอบมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์	60
3-9	หน้าต่างข้อสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์	60
3-10	ลำดับและเวลาการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของการบันทึกสัญญาณ (Maker)	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-11	การกรองความถี่เพื่อกำจัดสัญญาณไฟฟ้าที่รบกวนเบื้องต้นออก	67
3-12	การสกัดเหตุการณ์ที่ต้องการศึกษา	68
3-13	การกำจัดสัญญาณที่ปนเปื้อนกับคลื่นไฟฟ้าสมอง	68
3-14	การขจัดสิ่งรบกวนด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ	69
3-15	การนำข้อมูลออกไปยังโปรแกรมสำเร็จรูป	70
3-16	หน้าต่างการวิเคราะห์ขนาดอิทธิพล โดยการคำนวณออนไลน์ผ่านเว็บไซต์ http://www.uccs.edu/~lbecker/	72
4-1	ผลการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ	75
4-2	หน้าปกคู่มือการใช้งานรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย	76
4-3	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามเงื่อนไขการทดลอง	80
4-4	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น	83
4-5	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น	85
4-6	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น	87
4-7	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น	89
4-8	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น	91
4-9	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง..... 96

4-11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง..... 98

4-12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง..... 100

4-13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง..... 102

4-14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น..... 104

4-15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น..... 105

4-16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น..... 107

4-17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น..... 108

4-18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น..... 110

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญญาด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Intelligence) เป็นความสามารถทางปัญญาที่สำคัญของมนุษย์ในการรับรู้และมองเห็นสิ่งต่าง ๆ แล้วนำมาเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน มองเห็นเค้าโครง ส่วนประกอบและโครงสร้างต่าง ๆ เมื่อต้องนำมาประกอบกัน แยกออกจากกัน หรือรวมเข้าด้วยกัน มองเห็นรูปร่าง ขนาด พื้นที่ ปริมาตร ความสูง - ต่ำ และความใกล้ - ไกล จนสามารถนำมาสร้างภาพให้เกิดขึ้นภายในใจได้ (Mental Imagination) ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ช่วยในการประกอบอาชีพต่าง ๆ เช่น นักบินต้องมีความเข้าใจในทิศทางเพื่อนำเครื่องบินขึ้นหรือลงจอด นักคณิตศาสตร์ต้องมีความสามารถในการมองความสัมพันธ์ของสัญลักษณ์ต่างๆ แล้วนำมารวมเข้าด้วยกันให้เป็นสมการได้ หรือนักดนตรีต้องใช้ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในการลำดับจังหวะที่มีความซับซ้อน (Spatial-Temporal Ability) (Heharty & Kozhevnikov, 1999; van Garderen, 2006, p. 297) นอกเหนือจากความสามารถด้านมิติสัมพันธ์จะมีความเกี่ยวข้องกับการประกอบอาชีพแล้ว ยังมีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินชีวิตในแต่ละวัน เช่น การเดินข้ามถนน เราต้องคาดการณ์ตำแหน่งของรถที่กำลังวิ่งมากับระยะเวลาที่ใช้ในการข้ามถนน หรือการขับรถยนต์เพื่อเดินทางไปในที่ต่าง ๆ ถ้าหากขาดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ก็อาจพลัดหลงทางได้ง่าย นอกจากนี้ ปัญญาด้านมิติสัมพันธ์ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (Wai, Lubinski, & Benbow, 2009, p. 48) ถ้าหากพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์นี้ได้มากยิ่งขึ้น ก็จะส่งผลต่อการเรียนรู้ในสาขาวิชาอื่น ๆ และยังเป็นปัจจัยพื้นฐานของความสามารถในด้านอื่น ๆ ได้อีกด้วย

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Recognition Ability) สามารถพัฒนาได้ตั้งแต่วัยเริ่มต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็กวัยประถมศึกษา อายุระหว่าง 7 ถึง 11 ปี ซึ่งเป็นวัยที่สามารถคิดเหตุผลเชิงตรรกะ (Concrete Operational Stage) มีความเข้าใจความสัมพันธ์ของสภาพแวดล้อมเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงและสามารถแก้ไขปัญหาได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับหน้าต่างแห่งโอกาส (Windows of Opportunity) หรือช่วงวัยที่ธรรมชาติกำหนดมาให้สมองเปิดรับการเรียนรู้ได้ดีที่สุด ถ้าหากพ้นช่วงเวลาที่ธรรมชาติกำหนดไปแล้ว การพัฒนาก็อาจจะเกิดขึ้นได้ยาก เช่น การกระตุ้นให้เด็กใช้ดวงตาทั้งสองข้างตั้งแต่ช่วง 2 ปีแรกของชีวิต จะช่วยให้เด็กสามารถมองเห็นได้ปกติ หากพ้นช่วงเวลานี้ไปแล้ว การมองเห็นก็จะมีการบกพร่องมองเห็นไม่ชัด หรืออาจตาบอดได้ เพราะเซลล์ประสาทตาฝ่อ เนื่องจากไม่ได้รับการกระตุ้น (อุดม เพชรสังหาร, 2551, หน้า 24 - 25) หรือในการพัฒนาการเรียนรู้ภาษาที่สอง เด็กจะเรียนรู้การใช้สำเนียงได้ดีในช่วงอายุไม่เกิน 7 ปี หากผ่านช่วงเวลานี้ไปความสามารถของเด็กจะลดลงได้ หรือการพัฒนาทักษะการรับรู้ เด็กจะพัฒนาได้ดีตั้งแต่แรกเกิดจนถึงอายุ 12 ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเด็กในวัยชั้นประถมศึกษา ซึ่งมีแนวโน้มการรับรู้ทางตาได้ดีกว่าเสียง จึงมีความเลือกสนใจภาพมากกว่าเสียง และการตัดสินใจตอบสนองต่อเสียงกระตุ้นจะใช้ระยะเวลานานมากกว่าการตอบสนองต่อภาพกระตุ้น (Droit-Volet, Tourret, & Wearden, 2004, pp. 797 - 818) ดังนั้น การส่งเสริมพัฒนาการการเรียนรู้ของเด็กให้เหมาะสมกับช่วงวัยจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะการเรียนรู้จะทำให้เซลล์สมองเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้นและส่งสัญญาณเชื่อมโยง

ติดต่อกัน โดยประสบการณ์การเรียนรู้ในด้านต่าง ๆ ที่เด็กได้รับการสะสมมา จะเป็นตัวกระตุ้นช่วยให้เซลล์สมองสร้างใยประสาทเชื่อมโยงติดต่อกันเป็นจำนวนมหาศาล และมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกลายเป็นเครือข่ายใยประสาท (Neural Networks) ซึ่งโครงสร้างของเครือข่ายใยประสาท และจุดเชื่อมต่อนี้ไม่ได้เกิดขึ้นทั้งหมดภายในเวลาเดียวกัน เซลล์สมองแต่ละส่วนจะมีการสร้างเครือข่ายใยประสาทที่ทำให้เกิดความสามารถในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นการส่งเสริมการเรียนรู้ที่ถูกต้องเหมาะสม ตรงตามช่วงเวลาของวัย จะทำให้เด็กเปิดรับการเรียนรู้นั้นได้อย่างเต็มที่

ความก้าวหน้าด้านประสาทวิทยาศาสตร์ (Neuroscience) มีการยืนยันว่าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Intelligence) เป็นการทำงานของกระบวนการทางปัญญา (Cognitive Process) และเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของความจำขณะทำงาน (Working Memory) ซึ่งเป็นการทำงานของกระบวนการทางสมองขั้นสูง (Higher Order Cognitive) (Bawdily, 2002, p. 21) โดยความจำขณะทำงานมีหน้าที่จัดเก็บข้อมูลชั่วคราว (Temporary Storage) ประมวลผลข้อมูล (Processing of Information) และจัดการข้อมูล (Manipulation of Information) พร้อมกับดำเนินการจัดกระทำข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่สมองทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน (Bayliss, 2005, p. 76) ซึ่งความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นการประมวลผลเกี่ยวกับภาพและมิติสัมพันธ์ (Visuo-spatial Sketch Pad) (Baddeley, 2002, p. 75; Alloway, 2004, p. 90) เกิดขึ้นที่ผิวสมองส่วนหลัง (Visual Cortex) บริเวณสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mote, Malach, and Kozhevnikov (2008, pp. 1727 - 1731) ได้ศึกษาความแตกต่างระบบประสาทของบุคคล ระหว่างการประมวลผลเชิงวัตถุกับการประมวลผลเชิงมิติสัมพันธ์ ด้วยการบันทึกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imaging: MRI) ผลปรากฏว่า การประมวลผลเชิงวัตถุแสดงการกระตุ้นของระบบประสาททั้งสองข้าง (ซ้าย - ขวา) บริเวณสมองส่วนท้ายทอย และในระบบประสาทซีกขวาน้อยกว่าผู้ที่มีความสามารถประมวลผลเชิงมิติสัมพันธ์ รวมถึงผลการวิจัยของ Vitouch et al. (1997, pp. 183 - 199) ได้ศึกษาการทำงานของสมองของผู้ที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง (Good Spatial Ability) กับผู้ที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ (Poor Spatial Ability) ในขณะทำกิจกรรมด้านมิติสัมพันธ์ ผลปรากฏว่า มีการทำงานของสมองในระบบประสาทบริเวณสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) และบริเวณส่วนกระหม่อม (Parietal Lobe) ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีการทำงานของสมองบริเวณส่วนท้ายทอย

นอกจากนี้บริเวณสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) ซึ่งระดับคลื่นไฟฟ้าสมองจะมีสัญญาณไฟฟ้าขนาดแรงดันต่ำในระดับมิลลิโวล์ (ms) ส่งผ่านทางเซลล์ประสาทบริเวณหนังศีรษะ โดยคลื่นไฟฟ้าสมองมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะที่แตกต่างกัน เช่น ขณะตื่น ลืมตา หลับตา หรือกำลังใช้ความคิด สามารถกำหนดช่วงความถี่ได้ 5 คลื่น โดยเรียงลำดับความถี่ต่ำไปยังความถี่สูง ได้แก่ Delta Theta Alpha Beta และ Gamma สำหรับการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมอง ที่เกี่ยวกับกิจกรรมด้านมิติสัมพันธ์ ปรากฏว่า ในขณะลืมตาและหลับตาเกิดความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองช่วง Alpha 1 Alpha 2 Beta 1 และ Beta 2 ดังที่ Arch et al. (1995, pp. 11 - 20) ได้ศึกษาผลของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง กับกลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ ผลปรากฏว่า ในขณะลืมตากลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง จะมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (Relative Power: RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ต่ำกว่ากลุ่มที่มีความสามารถด้าน

มิติสัมพันธ์ต่ำ นอกจากนี้ Corsi-Cabrera et al. (1997, pp. 5 - 11) ได้ศึกษาและบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองเช่นเดียวกัน ผลปรากฏว่า กลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ต่ำกว่ากลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำด้วยเช่นกัน ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Moradi et al. (2011, pp. 103 - 107) ที่บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนกับหลังเข้ารับการรักษาทางสมองด้วย Neurofeedback มีข้อค้นพบแตกต่างจากผลการวิจัยของ Arce et al. (1995, pp. 11 - 20) และผลการวิจัยของ Corse-Cabrera et al. (1997, pp. 5 - 11) โดยผู้ป่วยที่มีความเครียด หรือมีความวิตกกังวลสูง ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha กระตุ้นบริเวณสมองส่วนกลาง (PZ) และช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta กระตุ้นบริเวณสมองส่วนหน้า (FZ) ลดลงเมื่อเทียบกับคนปกติ แต่หลังจากเข้ารับการรักษาทางสมองด้วย Neurofeedback ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha และ Beta 1 เพิ่มขึ้น ซึ่งในระบบประสาทหากเกิดการกระตุ้นบริเวณสมองส่วนหน้า หมายถึง การมีสมาธิในการคิด มีความตรึกตรอง และมีสามารถในการจัดการแก้ปัญหา และในทางตรงกันข้าม ถ้าช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ลดลง หมายถึง การขาดสมาธิในการคิด ขาดความตรึกตรอง และขาดความสามารถในการจัดการแก้ปัญหา นอกจากนี้งานวิจัยของ Bhattachaya and Petsche (2002, pp. 179 - 186) ได้ศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองระหว่างการรับรู้ด้วยการมองดูรูปวาด และการรับรู้ด้วยการจินตนาการรูปวาด ผลปรากฏว่า ในขณะมองดูรูปวาดระบบประสาทเกิดการกระตุ้นของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta และ Gamma ซึ่งเป็นความสามารถในการเชื่อมโยงของเซลล์ประสาทบริเวณที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับภาพ และผลการวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นอีกว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีการทำงานของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha และ Beta

การศึกษาวิธีการต่าง ๆ เพื่อใช้ในการพัฒนาสมองมีหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การออกกำลังกายเป็นประจำ ทำให้สุขภาพแข็งแรง และยังช่วยให้อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการออกกำลังกายที่ถูกวิธีช่วยลดความเสื่อมของเซลล์ประสาท และยังช่วยเพิ่มสารสื่อประสาทโดปามีน (Dopamine) และ นอร์เอพิเนฟริน (Norepinephrine) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทที่ช่วยกระตุ้นการรับรู้ ส่งผลต่อความรู้สึกตื่นตัว จึงมีส่วนช่วยทำให้การรับรู้ข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น (Ploughman, McCarthy, Boosse, Sullivan, & Corbett, 2008, pp. 2041 - 2047) หรือการเล่นเกมซูโดะกุ (Sudoku) สามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของสมอง ส่งผลต่อความจำขณะทำงาน (Working Memory) ทำให้ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีขึ้น (ปริญญา เรืองทิพย์ และเดชา วรรณพาหุล, 2557) หรือการฝึกวาดรูปทรงเรขาคณิต ทำให้สมองเกิดการมโนภาพเชื่อมโยงถึงกัน ส่งผลให้ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มมากขึ้นอีกด้วยเช่นกัน (สุภาพร, 2556) นอกเหนือจากการออกกำลังกาย การเล่นเกมซุโดะกุ และการฝึกวาดรูปทรงเรขาคณิตแล้ว การฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Multiple Object Tracking (3D–MOT) Task) ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยกระตุ้นการทำงานของสมองได้อย่างเต็มที่

กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Multiple Object Tracking (3D–MOT) Task) เป็นรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมที่ส่งเสริมความสามารถของกระบวนการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception Process) และกระบวนการความสนใจ (Attention Process) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการทางปัญญา (Cognitive Training) โดยใช้แนวคิดจากทฤษฎีกระบวนการติดตามภาพ (Theory of visual indexing or FINST) ของ Pylyshyn (1972 cited in Pylyshyn & Storm, 1988, p. 180) FINST ย่อมาจาก Fingers of INSTantion (Sear & Pylyshyn, 2000, p. 2) ใน

ระยะเริ่มแรกใช้การมองภาพแบบสองมิติ ต่อมาได้พัฒนามาเป็นภาพสามมิติและเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) จึงกลายเป็นเทคโนโลยีการติดตามวัตถุเคลื่อนที่ด้วยภาพสามมิติ รูปแบบของกิจกรรมการทดสอบอาศัยคุณสมบัติดึงดูดความสนใจของสมอง โดยมีสิ่งเร้าเป็นภาพเคลื่อนไหวและไฟกระพริบ กระตุ้นให้สมองเกิดความตื่นตัว (Quinn, 1994, pp. 33 - 34) ซึ่งเป็นกลไกการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสนใจ (Attention) และเป็นปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้เกิดการเลือกความสนใจ (Selective Attention) โดยการใช้ความตั้งใจควบคุมความสนใจไปยังสิ่งเร้า ซึ่งระยะเวลาการตอบสนองต่อความสนใจของมนุษย์จะเป็นช่วงสั้น ๆ ได้แก่ การจดจ่อความสนใจ (Focused Attention) จะเป็นการตอบสนองในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 8 วินาที และความสนใจต่อเนื่อง (Sustained Attention) เป็นระดับความสนใจคงที่ต่อกิจกรรมเป็นเวลานานขึ้น มีระยะเวลาสูงสุดประมาณ 20 นาที (Dukette & Cornish, 2009, pp. 72 - 73) ซึ่งถ้าหากความสนใจทั้งสองแบบทำงานไปพร้อม ๆ กันตลอดเวลา จะทำให้ความสามารถในการเลือกความสนใจ และการคงช่วงความสนใจต่อสิ่งเร้านั้นได้นานยิ่งขึ้น ในทางทฤษฎีการมีทักษะความสนใจที่บกพร่องจะนำไปสู่การบกพร่องเกี่ยวกับการรับรู้ได้ (Combs & Gouvier, 2004, pp. 727 - 738) นอกจากนี้การเล่นเกมคอมพิวเตอร์ มีส่วนช่วยเพิ่มทักษะทางสมอง ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น (Gee, 2006, p. 1) เนื่องจากเกมคอมพิวเตอร์ทางการศึกษาที่มีคุณภาพและครอบคลุมเนื้อหาทำให้เกิดการส่งผ่านข้อมูล (Transfer Effect) เชื่อมต่อกับความจำขณะทำงาน (Working Memory) ของนักเรียนได้เป็นอย่างดี (Alloway, Bibile, & Lau, 2013, pp. 632-633) รวมถึงการเล่นเกมคอมพิวเตอร์ ทำให้มีการคัดหลั่งสารสื่อประสาทโดปามีน (Dopamine) ในบริเวณ Striatum และ Nucleus Accumbens กล่าวคือ เมื่อสารสื่อประสาทโดปามีนถูกหลั่งออกมา จะไปจับกับตัวรับโดปามีนที่อยู่บนผิวของเซลล์ประสาทอีกส่วนหนึ่ง ทำให้วงจรสมองเกิดความรู้สึกเหมือนได้รับรางวัล (Brain Reword Circuit) (Koepp, Gunn, Lawrence et al., 1988, pp. 266 - 268) ซึ่งการหลั่งสารดังกล่าว เป็นการเสริมแรงเชิงบวก (Positive Reinforcement) ส่งผลต่อการเกิดแรงจูงใจ ทำให้สามารถเพิ่มความสนใจต่อสิ่งเร้าได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีหลักฐานที่ชัดเจนว่า การฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ช่วยฟื้นฟูความบกพร่องที่เกิดจากการมองวัตถุที่ลดลง (Recognized Impairments) (Brosseau-Lachaine, Gagnon, Forget & Faubert, 2008, pp. 657 - 668)

จากที่กล่าวมาข้างต้นชี้ให้เห็นว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สามารถพัฒนาได้ด้วยวิธีหลากหลาย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ กระตุ้นการรับรู้ทางปัญญา (Perception Cognition) ทำให้เกิดการเลือกความสนใจ (Selective Attention) และการคงช่วงความสนใจ (Sustained Attention) ซึ่งเป็นความคงที่ในการตอบสนองอย่างสม่ำเสมอของกิจกรรมที่ต้องทำซ้ำ ๆ อย่างต่อเนื่อง ทำให้ความจำขณะทำงาน (Working Memory) ดีขึ้น ส่งผลให้ระบบการไหลเวียนของระดับออกซิเจนในเลือดสูง ช่วยให้สมองทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ให้ดีขึ้น สามารถวัดได้จากอัตราการตอบข้อสอบถูกที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังไม่มีงานวิจัยใดทำการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ และวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปเพิ่มประสิทธิภาพการใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่

แบบ 3 มิติ เพื่อพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงพฤติกรรมกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. เพื่อนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยพิจารณาจาก

2.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองที่พัฒนาขึ้น

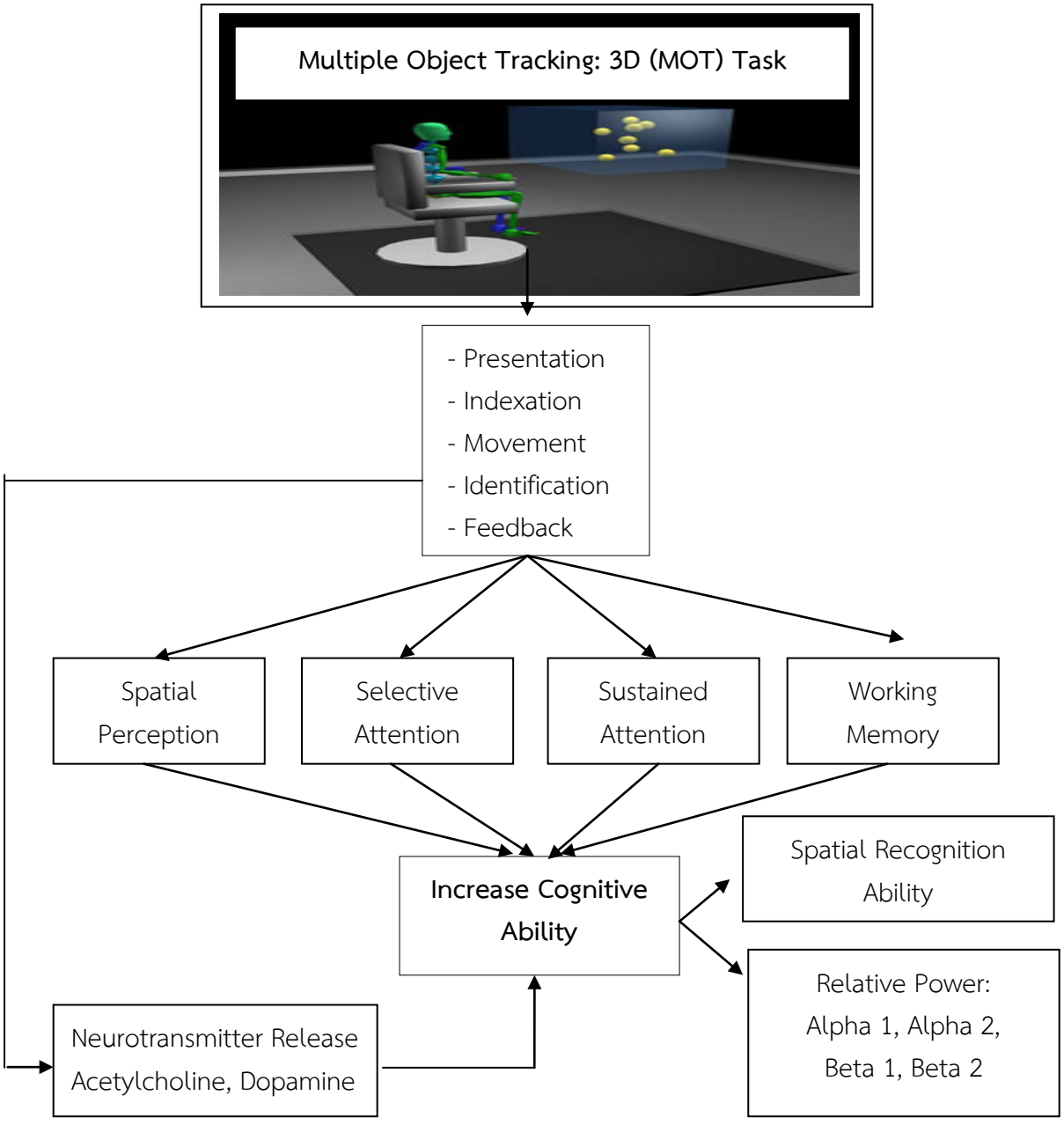
2.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ระหว่างกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

2.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองที่พัฒนาขึ้น

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ รูปแบบของกิจกรรมประกอบด้วย 1) สิ่งเร้า (Presentation) เป็นวัตถุทรงกลมหลายสิ่งที่เคลื่อนไหวอย่างอิสระ มีไฟกระพริบ นำเสนอเพื่อกระตุ้นการรับรู้ทางการมองเห็น (Presentation) ทำให้สมองเกิดความตื่นตัว 2) เป้าหมาย (Targets indexation) กำหนดสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายให้ติดตาม 3) การเคลื่อนไหว (Movement) เป็นการรบกวนสิ่งเร้าที่ให้ติดตามด้วยการเคลื่อนที่หลายทิศทาง 4) ระบุเป้าหมาย (Identification) ให้ระบุสิ่งที่เป็นเป้าหมายหลังจากที่การรบกวนสิ่งเร้าจบลง 5) เรียกคืนข้อมูล (Feedback) เป็นการเรียกคืนข้อมูลสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายให้ติดตามกลับออกมา ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวเป็นการฝึกทักษะเกี่ยวกับการรับรู้ด้านมิติสัมพันธ์ (Special Perception) รูปแบบของกิจกรรมการทดสอบอาศัยคุณสมบัติการดึงดูดความสนใจของสมอง ซึ่งเป็นกลไกการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสนใจ และเป็นปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้เกิดการเลือกความสนใจ (Selective Attention) โดยการใช้ความตั้งใจควบคุมความสนใจไปยังสิ่งเร้า เป็นการตอบสนองต่อช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 8 วินาที และความสนใจต่อเนื่อง (Sustained Attention) เป็นระดับความสนใจคงที่ต่อกิจกรรมเป็นเวลานานขึ้น มีระยะเวลาสูงสุดประมาณ 20 นาที หากความสนใจดังกล่าวสามารถทำงานไปพร้อมกันตลอดเวลา จะทำให้ความจำขณะทำงาน (Working Memory) ทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ การเล่นเกมคอมพิวเตอร์ จะทำให้เกิดการคัดหลั่งของสารสื่อประสาทโดปามีน (Dopamine) และอะเซทีลโคลีน (Acetylcholine: Ach) ซึ่งเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับแรงจูงใจ (Motivation System) และเป็นการเสริมแรงเชิงบวก ทำให้วงจรสมองเกิดความรู้สึกเหมือนได้รับรางวัล และการเล่นเกมคอมพิวเตอร์ เป็นกิจกรรมที่เด็กและวัยรุ่นนิยมมากขึ้น สามารถช่วยลดแรงกดดันในการเรียนและลดความตึงเครียดให้กับเด็กนักเรียนได้ในระดับหนึ่ง ดังนั้น

การฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ดียิ่งขึ้น จากแนวคิดข้างต้นนำมากำหนดเป็นกรอบแนวคิด ดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

สมมติฐานของการวิจัย

1. รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมสำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) มีดังนี้

2.1 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของกลุ่มทดลอง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองที่พัฒนาขึ้น สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมอง

2.2 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองที่พัฒนาขึ้น สูงกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

2.3 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองที่พัฒนาขึ้น มีความแตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. ครู อาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษา สามารถนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ไปใช้พัฒนาผู้เรียนเพื่อช่วยฝึกสมองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3. กระทรวงศึกษาธิการสามารถนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ไปใช้เป็นข้อมูลกำหนดนโยบาย เพื่อส่งเสริมครู อาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษา จัดกิจกรรมเสริมหลักสูตรสำหรับให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี สังกัดเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 18 ภาคเรียนที่ 2 ประจำปีการศึกษา 2557 คัดเลือกผู้มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ขั้นต้น จำนวน 60 คน จากนั้นกำหนดกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่ม (Random Assignment) โดยจับฉลากเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำนวนกลุ่มละ 30 คน

2. ตัวแปรที่ศึกษา

2.1 ตัวแปรทดลอง คือรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Multiple Object Tracking (3D–MOT) Task)

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

2.2.1 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Recognition Ability)

2.2.2 ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (Relative Power: RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 Alpha 2 Beta 1 และ Beta 2

นิยามศัพท์เฉพาะ

กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Multiple Object Tracking (3D–MOT) Task) หมายถึง กิจกรรมที่ส่งเสริมความสามารถของกระบวนการการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception Process) และกระบวนการความสนใจ (Attention Process) ซึ่งเป็นการฝึกทักษะทางสมองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ด้วยการมองภาพวัตถุทรงกลมสีเหลืองเคลื่อนไหวหลายทิศทางผ่านหน้าจอโทรทัศน์ 3 D ด้วยแว่นตา 3 มิติ แบบแอคทีฟชัดเตอร์ (Active Shutter Glasses) เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Internet) ผ่านระบบออนไลน์ (On Line) โดยใช้ซอฟต์แวร์ (Software) ของบริษัท CogniSens Inc. ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Window 7) และการ์ดแสดงผล (Display Card) หน่วยความจำ 512 MB ขึ้นไป

รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (3-Dimensional Multiple Object Tracking-3D MOT Brain Training Task) หมายถึง รูปแบบการฝึกสมองที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น เพื่อพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งประกอบด้วย วิธีการ และตารางเวลาที่ใช้ในการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ รวม 10 วัน วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที รวม 400 นาที

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำแบบทดสอบด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Recognition Ability Test) หมายถึง การสวมหมวกที่มีขั้วไฟฟ้าบนหนังศีรษะของผู้รับการทดสอบ ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ด้วยการกดปุ่มเลือกคำตอบ 1 ตัวเลือก จากจำนวน 4 ตัวเลือก ได้แก่ A, B, C และ D บนแป้นพิมพ์ ซึ่งเป็นการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) บันทึกได้จากร่างกายมนุษย์ เป็นสัญญาณทางชีวภาพการแพทย์ (Biomedical Signal) รูปแบบของสัญญาณอยู่ในลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่วิเคราะห์ด้วยแกนความถี่ (Frequency Domain Analysis) โดยนำคลื่นไฟฟ้าสมองมาคำนวณค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (Relative Power: RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง เพื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ออกเป็น 4 คลื่น สะท้อนให้เห็นถึงจำนวนเซลล์ประสาทที่ถูกกระตุ้นจากสิ่งเร้าในขณะทำกิจกรรมในช่วงเวลานั้น ๆ มีหน่วยเป็นไมโครโวลต์ (μA)

Alpha 1 หมายถึง คลื่นไฟฟ้าสมองช่วงความถี่ระหว่าง 7.41 - 9.41 Hz

Alpha 2 หมายถึง คลื่นไฟฟ้าสมองช่วงความถี่ระหว่าง 9.61 - 12.41 Hz

Beta 1 หมายถึง คลื่นไฟฟ้าสมองช่วงความถี่ระหว่าง 12.61 - 17.43 Hz

Beta 2 หมายถึง คลื่นไฟฟ้าสมองช่วงความถี่ระหว่าง 17.63 - 25.04 Hz

พลังงานทั้งหมด (Total Power) หมายถึง ผลรวมของค่าพลังงานคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงความถี่ 3.60 Hz ถึง 25.04 Hz (3.60 Hz หมายถึง คลื่นไฟฟ้าสมองTheta มีช่วงความถี่ระหว่าง 3.60 -7.21 Hz)

พลังงานสัมพัทธ์ (Relative Power: RP) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานคลื่นไฟฟ้าสมองเฉลี่ยของแต่ละช่วงความถี่กับค่าพลังงานทั้งหมด โดยนำข้อมูลค่าพลังงานเฉลี่ยแต่ละช่วงความถี่มาคำนวณในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อคำนวณค่าพลังงานสัมพัทธ์ของช่วงความถี่ตามสูตรดังนี้

$$\% \text{ Relative Power (RP)} = \frac{\text{Absolute Power (AP)}}{\text{Total Power}} \times 100$$

ค่าพลังงานเฉลี่ยของช่วงความถี่ (Absolute Value) หมายถึง พลังงานเฉลี่ยของแต่ละช่วงความถี่ที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าในขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Recognition Ability Tests) หมายถึง แบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก เป็นการทดสอบผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Super Lab โดยมีโจทย์เป็นรูปภาพและมีตัวเลือกตอบเป็นรูปภาพด้วยเช่นกัน

อัตราการตอบข้อสอบถูก (Rate of Correct Response) หมายถึง ผลรวมของคะแนนที่ได้จากการทดสอบด้วยแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

ค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการตอบข้อสอบถูก (Average Reaction Time of Correct Response) หมายถึง ผลรวมของเวลาที่ใช้ในการตอบแบบทดสอบในข้อที่ถูกต้องแล้วหารด้วยจำนวนคะแนนที่ตอบถูก

ขั้วไฟฟ้า (Electrode) หมายถึง ตำแหน่งที่บันทึกการเปลี่ยนแปลงคลื่นฟ้าสมองที่ได้จากส่วนต่างๆ ของสมอง โดยวางตำแหน่งตามระบบสากล 10/20 (10/20 International System) จำนวน 16 ตำแหน่ง ได้แก่ สมองส่วนฟรอนทอล โพล (Frontal Pole) 2 ตำแหน่ง (FP1, FP2) สมองส่วนหน้า (Frontal) 3 ตำแหน่ง (F3, FZ, F4) สมองส่านกลาง (Central) 3 ตำแหน่ง (C3, CZ, C4) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal) 3 ตำแหน่ง (P3, PZ, P4) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital) 2 ตำแหน่ง (O1, O2) ซึ่งตัวเลขคี่ แสดงถึงสมองซีกซ้าย ส่วนตัวเลขคู่ แสดงถึงสมองซีกขวา ติ่งหูขวา 1 ตำแหน่ง (A2) เป็นตำแหน่งอ้างอิง เบ้าตาขวา 1 ตำแหน่ง (Right Infraorbital Region) เพื่อบันทึกการเคลื่อนไหวของลูกตา (Electro-Oculogram: EOG) และสายดิน (Ground Electrode) 1 ตำแหน่ง

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Recognition Ability) หมายถึง คะแนนการทำข้อสอบจากแบบวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนิวตัน (Newton, 2009) ซึ่งเป็นแบบวัดมาตรฐาน ใช้วัดความสามารถทางสติปัญญาของบุคคลในการรับรู้ การมองเห็น และการเข้าใจเกี่ยวกับมิติของวัตถุ หรือรูปร่างรูปทรง โดยใช้จินตนาการสร้างมโนภาพเชื่อมโยงหาความสัมพันธ์ของวัตถุหรือรูปภาพ เมื่อวัตถุหรือรูปภาพเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบหรือทิศทางจากมุมมองที่แตกต่างกัน วัดได้จากอัตราการตอบข้อสอบถูก

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ และนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจำแนกเป็น 5 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 แนวคิดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Ability)

1. ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์
2. องค์ประกอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์
3. แบบวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ตอนที่ 2 ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจท์ (Piaget)
2. ทฤษฎีโครงสร้างทางสติปัญญาของกิลฟอร์ด (Guilford)
3. ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของการ์ดเนอร์ (Gardner)
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทางสติปัญญาเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ตอนที่ 3 การรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception)

1. ทฤษฎีการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception Theory)
2. กระบวนการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception Process)
3. โครงสร้างการมองเห็นและวิถีประสาทรับภาพเพื่อการมองเห็น
4. คุณสมบัติของการมองเห็น (Visual of Property)
5. ลานสายตา (Visual Field) และการเคลื่อนไหวของตา (Eye Movement)

ตอนที่ 4 การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (3-Dimensional Multiple Object Tracking – 3D MOT)
2. รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (3-Dimensional Multiple Object Tracking–3D MOT Brain Training Task)
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ตอนที่ 5 การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. คลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG)
2. การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (Brain Wave Record)
3. ความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง (Brain Wave Signal)
4. การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมอง (Frequency Analysis)
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคลื่นไฟฟ้าสมอง

ตอนที่ 1 แนวคิดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Ability)

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เป็นความสามารถของกระบวนการทางสมองในการรับรู้ภาพจากการมองเห็น โดยใช้จินตนาการร่วมกับประสาทสัมผัสที่สัมพันธ์กับสิ่งต่าง ๆ รอบตัว จนทำให้เกิดความคิดรวบยอดในการแยกแยะ สี รูปร่าง รูปทรงสัณฐาน ลักษณะพื้นผิว มิติความกว้าง ยาว หนา และสูง รวมถึงความสามารถในการแยกภาพ ประกอบภาพ การจำแนกตำแหน่งที่อยู่ เช่น บน ล่าง ซ้าย ขวา ระยะทางใกล้ ระยะทางไกล ตลอดจนการมองภาพที่มีการเคลื่อนไหว การซ้อนทับกัน หรือซ่อนอยู่ภายใน ซึ่งความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เป็นกระบวนการทางสมองที่นักจิตวิทยาหลายท่านเรียกชื่อแตกต่างกันออกไป อาทิ สมรรถภาพทางสมอง (Mental Ability) ความถนัด (Aptitude) ความสามารถทางสติปัญญา หรือเชาวน์ปัญญา (Intelligence) เป็นต้น ดังนั้นความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จึงมีนักจิตวิทยาและนักวิชาการหลายท่านได้อธิบายความหมายและโครงสร้างของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ดังนี้

1. ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

อุดม เพชรสังหาร (2550, หน้า 78 - 81) ให้ความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นการมองเห็นความเป็นเหตุเป็นผลในมิติแห่งธรรมชาติเชื่อมโยงสู่ทักษะอื่น ๆ อาทิ การเชื่อมโยงกับตัวเลข สัญลักษณ์ บวก ลบ คูณ หาร หรือสูตรการหาพื้นที่ กว้าง x ยาว x สูง ซึ่งไม่ใช่สูตรสำเร็จแห่งการแทนค่า แต่หากมีมิติแห่งรูปทรงที่ซ่อนอยู่ภายในส่งผลถึงความฉลาดทางคณิตศาสตร์ที่เพิ่มขึ้นด้วย

Wikipedia (2558) ได้ให้ความหมายมิติสัมพันธ์ว่า เป็นความสามารถในการรับรู้ตำแหน่งของสิ่งต่าง ๆ เมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่น เช่น ตำแหน่ง หน้า หลัง บน ล่าง ซ้าย และขวา เป็นต้น คนที่มีทักษะด้านมิติสัมพันธ์ จะมีความสามารถในการมองเห็นความสัมพันธ์ของในหลายมิติ สามารถมองเห็นความเชื่อมโยงของสิ่งต่าง ๆ จนสามารถวาดมโนภาพของความเชื่อมโยงให้เกิดขึ้นในใจ และถ่ายทอดออกมาให้คนอื่นรับรู้ได้อย่างเป็นรูปธรรม

Piage and Inhelder (1973, pp. 103 - 128) อธิบายความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นการรับรู้จากความคิดมโนภาพที่อยู่เหนือความสามารถของเด็ก ซึ่งรับรู้ได้เพียงวัตถุที่อยู่คงที่ เด็กจะต้องพัฒนาความคิดไปให้ถึงขั้นสามารถวาดมโนภาพ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในระดับการรับรู้ในการคิดมโนภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ จนสามารถเปลี่ยนแปลงรูปในต่างมิติได้ และเพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างมิติ เด็กจะต้องลงมือทำกับวัตถุนั้นโดยตรง ซึ่งความรู้จากการกระทำดังกล่าวจะซึมซับเข้าไปในตัวเด็ก ก่อให้เกิดความคิดความเข้าใจมากขึ้น จึงจะเป็นวิธีหนึ่งที่จะนำไปสู่ความสามารถดังกล่าวได้

Cooper and Regan (1982, pp. 123 - 169) ให้ความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นความสามารถในการแปลงสื่อซึ่งเป็นสัญลักษณ์ การเปลี่ยนรูปร่างรูปทรง การสร้างรูปแบบใหม่ และการจดจำรูปลักษณะภายในของมิติหนึ่งเพื่อให้ไปสัมพันธ์กับในอีกมิติหนึ่ง

Gardner (1983, p. 111) อธิบายความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นความสามารถในการมองเห็นความเชื่อมโยงของสิ่งต่าง ๆ จนถึงขั้นสามารถวาดมโนภาพให้เกิดขึ้นในใจ และสามารถถ่ายทอดออกมาให้คนอื่นรับรู้ได้อย่างเป็นรูปธรรม

Linn and Petersen (1985, pp. 1479 - 1498) ให้ความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นความสามารถในการเป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลง การสร้าง และการระลึกถึงสิ่งที่เป็นสัญลักษณ์

Lohman (1996, pp. 97 - 116) อธิบายถึงความสำคัญของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นความสามารถในการสร้าง การเก็บข้อมูล การดึงข้อมูลกลับ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และการใช้ภาพจินตนาการ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์จึงมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของกระบวนการจินตภาพ การเก็บข้อมูล การดึงข้อมูลกลับ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงสภาพ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสามารถของมนุษย์ในทุกรูปแบบ

Chapman (2000, pp. 84 - 95) ให้ความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า หมายถึง ความสามารถในการรับรู้ภาพจากการมองเห็นได้อย่างถูกต้อง สามารถนำประสบการณ์ที่เกิดจากการมองเห็นมาประดิษฐ์สิ่งของขึ้นใหม่ เป็นความสามารถจากการมองเห็นเกี่ยวกับรูปร่าง สี รูปทรง และลักษณะพื้นผิว ที่เกิดขึ้นในมุมมองของจิตแล้วถ่ายทอดออกมาเป็นงานศิลปะที่เห็นได้อย่างมีรูปธรรม

Allen (2003) ได้สรุปความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่าเป็นความสามารถของกระบวนการทางสมองที่ต้องใช้ความคิด การรับรู้ การจินตนาการ รวมถึงประสบการณ์ในการมองวัตถุเมื่อวัตถุนั้นมีการเปลี่ยนตำแหน่ง ทิศทาง หรือมีการเปลี่ยนสภาพไป

Motes, Malach, and Kozhevnikov (2008) ให้ความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นกระบวนการการประมวลผลข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างวัตถุหรือส่วนของวัตถุกับการแปลงวัตถุ เช่น การหมุนวัตถุ การเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์หมายถึง ความสามารถทางสติปัญญาของบุคคลในการรับรู้ การมองเห็น และการเข้าใจเกี่ยวกับมิติของวัตถุ หรือรูปร่างรูปทรง โดยใช้จินตนาการสร้างมโนภาพเชื่อมโยงหาความสัมพันธ์ของวัตถุหรือรูปภาพ เมื่อวัตถุหรือรูปภาพเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบหรือทิศทางจากมุมมองที่แตกต่างกัน

2. องค์ประกอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

Linn and Petersen (1985, p. 1482) ให้ความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นความสามารถในการเป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลง การสร้าง และการระลึกถึงสิ่งที่เป็นสัญลักษณ์ ซึ่งความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มี 3 องค์ประกอบดังนี้

1) Mental Rotation เป็นความสามารถด้านสมองของมนุษย์ในการสร้างมโนภาพรูปทรงของวัตถุ หรือสิ่งเร้าในการหมุนภาพสองมิติหรือสามมิติได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

2) Spatial Perception เป็นความสามารถด้านสมองของมนุษย์ในการพิจารณาความเชื่อมโยงของสิ่งเร้าระหว่างมิติต่าง ๆ เช่น ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่กับทิศทาง

3) Spatial Visualization เป็นความสามารถด้านสมองของมนุษย์ในการจัดกระทำกับมโนภาพของสิ่งเร้า ที่มีความซับซ้อนหลายขั้นตอน และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเร้า

Carroll (1993, p. 304) ได้ศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์จากข้อมูลมากกว่า 140 ชุด พบว่ามีองค์ประกอบหลักสำคัญ 5 อย่าง คือ

1) Spatial Visualization ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในการทำความเข้าใจ วาดมโนภาพสิ่งเร้าในสมอง หรือของวัตถุในมิติต่าง ๆ

2) Spatial Relations สามารถพิจารณาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของ Lohman จากองค์ประกอบ Speeded Rotation ซึ่งเป็นความสามารถของบุคคลเมื่อได้รับการกระตุ้น เช่น การหมุนภาพ 2 มิติ ที่ต้องทำการหมุนในด้านเดียวในเวลาสั้น

3) Closure Speed เป็นความแตกต่างในความสามารถของบุคคลในการทำความเข้าใจและกำหนดรูปแบบของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่มองเห็น

4) Flexibility of Closure เป็นการหาภาพที่มีรูปทรงที่หายไปจากภาพที่มีรูปทรงซับซ้อน เป็นองค์ประกอบที่ค่อนข้างคลุมเครือ เมื่อพิจารณาจากหลักฐานทางจิตวิทยา บางครั้งองค์ประกอบนี้ถูกเรียกว่า Filed Independence or Disembedding

5) Perceptual Speed องค์ประกอบนี้มีลักษณะเด่นคือ ความเร็ว โดยการค้นหาวัตถุที่อยู่แบบกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบอย่างรวดเร็ว อาจรวมถึงการจับคู่วัตถุหรือการจับคู่วัตถุในตำแหน่งที่เหมือนกัน

Lohman (1996, pp. 97 - 116) อธิบายถึงความสำคัญของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นความสามารถในการสร้าง การเก็บข้อมูล การดึงข้อมูลกลับ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และการใช้ภาพจินตนาการได้เป็นอย่างดี ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์จึงมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของกระบวนการจินตภาพ การเก็บข้อมูล การดึงข้อมูลกลับ และการเปลี่ยนแปลงสภาพ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสามารถของมนุษย์ในทุกรูปแบบ และได้สรุปความหมายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มี 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1) Spatial Visualization เป็นความสามารถทางความคิดที่มีความซับซ้อน เช่น การหมุน การสะท้อน หรือการพับที่ซับซ้อน

2) Spatial Orientation เป็นความสามารถของบุคคลที่ต้องใช้ทักษะการให้เหตุผลเข้ามาร่วมพิจารณาด้วย

3) Speeded Rotation เป็นความสามารถของบุคคลเมื่อได้รับการกระตุ้น เช่น การหมุนภาพ 2 มิติ ที่ต้องทำการหมุนและตอบกลับอย่างรวดเร็ว

Kimura (1999, pp. 123 - 154) ได้อธิบายถึงความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มี 6 องค์ประกอบ ดังนี้

1) Spatial Orientation เป็นความสามารถในการเปลี่ยนแปลงการวางแนวและการหมุนของวัตถุ 2 มิติ เช่น ตัวอักษร และ 3 มิติ เช่น ชุดของลูกบาศก์ หรือภาพถ่ายของวัตถุ

2) Spatial Location Memory เป็นความสามารถในการจำตำแหน่งของวัตถุหรือรูปทรงเรขาคณิตตามลำดับ ซึ่งเป็นการทดสอบความจำเชิงพื้นที่

3) Targeting เป็นความสามารถในการสกัดหรือการโยนเป้าหมาย การทดสอบเป็นการขว้างปาวัตถุไปสู่เป้าหมาย ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะจำแนกความสามารถด้านนี้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับความสามารถในด้านอื่น ๆ รวมอยู่ด้วย

4) Spatial Visualization เป็นความสามารถในการรับรู้การเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์คล้ายกับการหมุนของวัตถุ แต่เป็นการประมาณตำแหน่งของวัตถุ ด้วยการจินตนาการสร้างภาพเชิงมิติสัมพันธ์ หลังจากพับหรือประกอบชิ้นส่วนของวัตถุนั้นแล้ว

5) Disembodying เป็นความสามารถในการค้นหาวัตถุอย่างง่าย เมื่อวัตถุฝังตัวอยู่ในรูปที่ซับซ้อน ซึ่งองค์ประกอบนี้ให้ความยืดหยุ่นทางความคิดที่เป็นอิสระ

6) Spatial Perception เป็นความสามารถในการกำหนดทิศทางของแนวนอน และแนวตั้งที่กระจายอยู่ภายในภาพ เช่น การวาดเส้นระดับน้ำในขวดใสที่วางเอียงอยู่

Allen (2003, pp. 251 - 262) ได้จัดกลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) การนิยามวัตถุ (Object Identification) ด้วยคำถาม “What is it?”

2) การระบุตำแหน่งของวัตถุ (Object Localization) ด้วยคำถาม “Where is it ?”

3) การระบุสถานที่ของวัตถุ (Traveler Orientation) ด้วยคำถาม “Where am I ?”

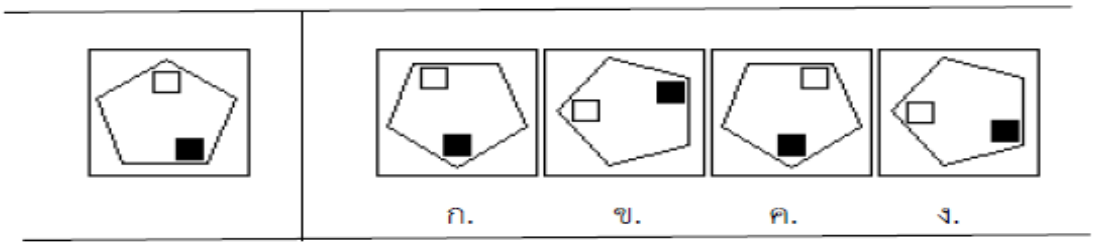
จากการศึกษาองค์ประกอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สามารถสรุปได้ว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นความสามารถในการเก็บข้อมูล การดึงข้อมูลกลับ และการจินตนาการ เมื่อวัตถุนั้นมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบหรือทิศทางในมุมมองที่แตกต่างกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีความสำคัญในทุกองค์ประกอบต่อความสามารถของมนุษย์ เนื่องจากความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นการทดสอบความสามารถทางสติปัญญาประเภทหนึ่งของกระบวนการทำงานของสมอง ต้องอาศัยการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception) ซึ่งผู้รับการทดสอบจะต้องใช้จินตนาการสร้างมโนภาพเชื่อมโยงหาความสัมพันธ์ของวัตถุหรือรูปภาพ เมื่อวัตถุหรือรูปภาพเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบหรือทิศทางจากมุมมองที่แตกต่างกัน

3. แบบวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Ability Test)

แบบวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มีหลายลักษณะ ดังนี้

1) แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบหมุนภาพหรือเลื่อนภาพ (Movement Sequence)

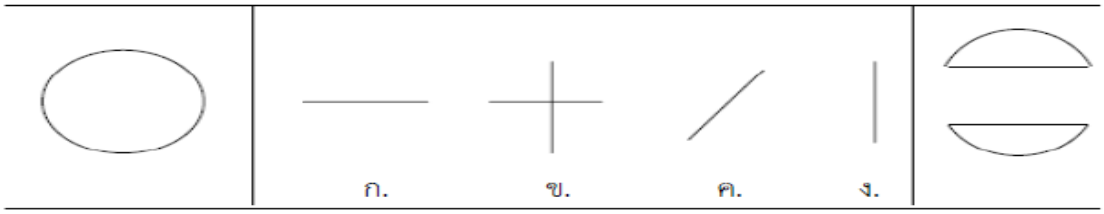
แบบหมุนภาพหรือเลื่อนภาพ แบ่งออกได้สองลักษณะ คือ แบบหมุนภาพ กับแบบเลื่อนภาพ ข้อสอบแบบหมุนภาพ โจทย์กำหนดภาพปัญหามาให้สามภาพ ซึ่งทั้งสามภาพถูกกำหนดให้มีทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ผู้ตอบต้องพิจารณาว่า ภาพทั้งสามภาพที่กำหนดมาให้นั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ถ้าต้องหมุนบางส่วน หรือถ้าหากหมุนต่อไปตามลักษณะเดิมภาพที่สี่จะเป็นอย่างไร ส่วนแบบเลื่อนภาพ โจทย์จะกำหนดภาพต้นแบบมาให้หนึ่งภาพ เมื่อทำการหมุนบางส่วนของภาพในทิศทางที่กำหนดแล้ว ภาพใดเหมือนกับภาพต้นแบบ ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 มิติสัมพันธ์แบบหมุนภาพหรือเลื่อนภาพ (Movement Sequence) (Newton, 2009, p. 2)

2) แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบตัดภาพ (Dividing Figure)

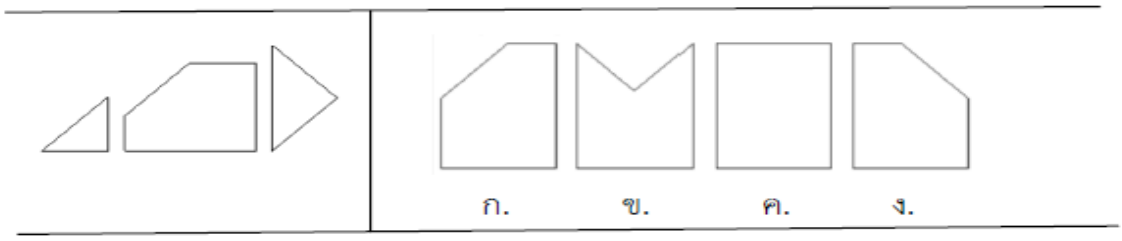
แบบตัดภาพ โจทย์กำหนดภาพเดิมมาให้หนึ่งภาพ และมีภาพที่ถูกตัดแล้วอีกหนึ่งภาพ ผู้ตอบต้องพิจารณาว่าภาพเดิมที่ให้มานั้นถูกตัดด้วยเส้นอะไร ถึงจะกลายเป็นภาพถูกตัดที่กำหนดมาให้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2-2 มิติสัมพันธ์แบบตัดภาพ (Dividing Figure) (Newton, 2009, p. 3)

3) แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบรวมภาพ (Combining Figure)

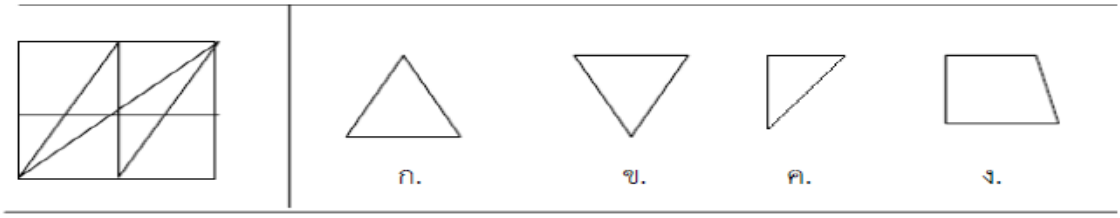
แบบรวมภาพ โจทย์กำหนดภาพเป็นส่วนมาให้ ผู้ตอบจะต้องมีมโนภาพว่า แต่ละส่วนที่กำหนดมาให้แล้วนั้นเมื่อนำมาต่อหรือประกอบเข้าด้วยกัน จะกลายเป็นภาพอะไร โดยภาพที่กำหนดมาให้เป็นชิ้น อาจเป็น 2, 3 หรือ 4 ชิ้น ทำหน้าที่เป็นตัวปัญหา (Stem) ของข้อสอบ แบบเลือกตอบ ภาพที่ประกอบแล้วเสร็จจะทำหน้าที่เป็นตัวเลือกตอบ ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 มิติสัมพันธ์แบบรวมภาพ (Combining Figure) (Newton, 2009, p. 3)

4) แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ่อนภาพ (Hidden Figure)

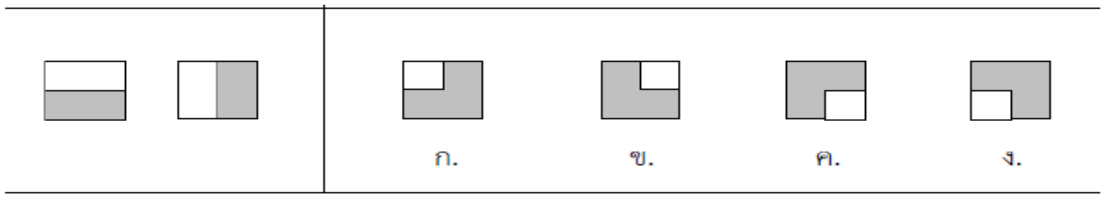
แบบซ่อนภาพ เป็นการทดสอบความสามารถทางปัญญาว่า ผู้ตอบสามารถค้นพบภาพเล็กที่ซ่อนอยู่ในภาพปัญหาซึ่งเป็นภาพให้ได้รวดเร็วและถูกต้องเพียงใด แบบทดสอบแบบซ่อนภาพ โจทย์มักจะกำหนดภาพปัญหาให้ แล้วผู้ตอบตรวจสอบดูว่าจะมีภาพของตัวเลือกใดซ่อนอยู่ในภาพปัญหาโดยมีขนาดและทิศทางเหมือนเดิม ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 มิติสัมพันธ์แบบซ่อนภาพ (Hidden Figure) (Newton, 2009, p. 4)

5) แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพ (Pattern Synthesis)

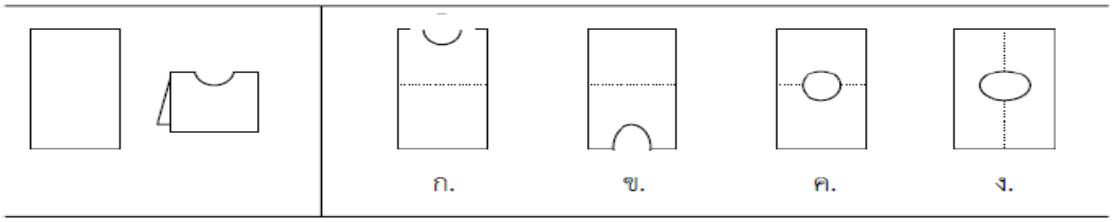
แบบซ้อนภาพ โจทย์จะกำหนดภาพปัญหาให้สองภาพผู้ตอบจะต้องมีแนวคิดและมีนโนภาพว่าถ้านำภาพปัญหาที่กำหนดให้สองภาพมาซ้อนกันแล้วจะเกิดภาพใหม่ขึ้น ซึ่งจะเหมือนภาพใดจากภาพตัวเลือกที่กำหนดให้ ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 มิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพ (Pattern Synthesis) (Newton, 2009, p. 5)

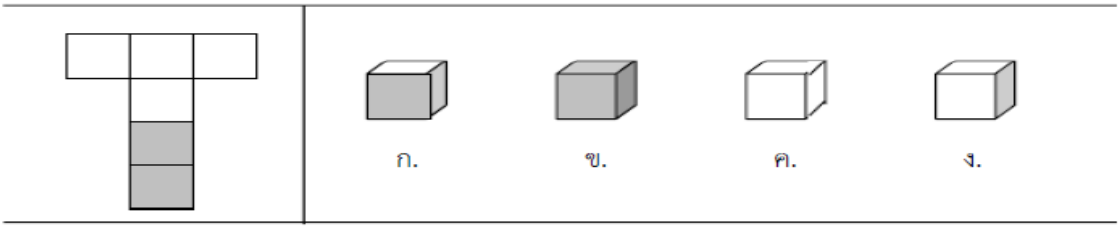
6) แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบพับกระดาษและแบบพับกล่อง (Paper Folding)

แบบพับกระดาษ โจทย์กำหนดกระดาษสี่เหลี่ยมมาให้ จากนั้นจะพับกระดาษตามรูปที่กำหนดมาให้ การพับกระดาษนี้อาจพับครั้งเดียวหรือสองครั้งก็ได้ โจทย์จะกำหนดปัญหาให้ผู้สอบแสดงคำตอบที่ถูกต้อง โดยผู้สอบจะต้องมีมโนภาพว่า ภายหลังจากตัดกระดาษที่พับแล้วคลี่ออกกระดาษแผ่นเดิมจะมีรูปดังข้อใด ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 มิติสัมพันธ์แบบแบบพับกระดาษ (Paper Folding) (Newton, 2009, p. 6)

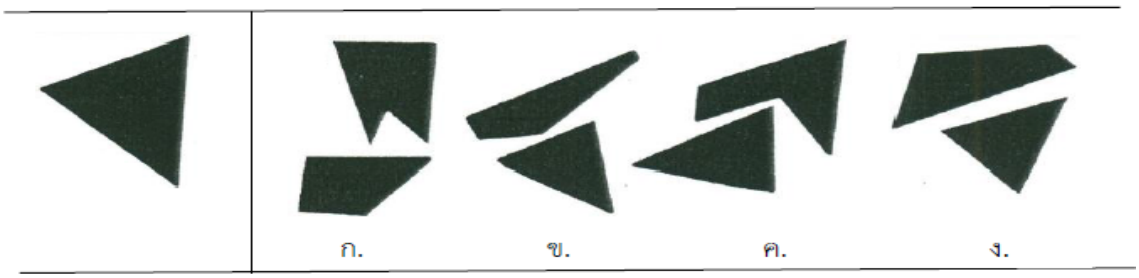
แบบพับกล่อง โจทย์จะกำหนดภาพปัญหาให้ ซึ่งมีภาพคล้ายกับกล่องกระดาษที่คลี่ออก ผู้สอบจะต้องมีมโนภาพว่า เมื่อพับกระดาษตามรอยที่กำหนดให้จะได้กล่องรูปอะไรทั้งนี้คำตอบจะต้องเป็นกล่องที่มีขนาดเท่าเดิมและมีรูปร่างเหมือนเดิมและมีรายละเอียดอื่น เช่น สีหรือจุดมีขนาดที่ถูกต้อง ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 มิติสัมพันธ์แบบพับกล่อง (Box Folding) (Newton, 2009, p. 6)

7) แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบจับคู่ชิ้นส่วนกับภาพ (Matching Parts and Figures)

แบบจับคู่ชิ้นส่วนกับภาพ โจทย์จะกำหนดรูปปัญหาให้หนึ่งภาพผู้ตอบจะต้องมีมโนภาพว่าเมื่อรูปที่กำหนดให้แยกออกเป็นส่วน โดยภาพที่จัดเข้าคู่แล้วเสร็จจะทำหน้าที่เป็นตัวปัญหา (Stem) ของข้อสอบแบบเลือกตอบภาพที่ให้เป็นชิ้น ๆอาจเป็น 2, 3 หรือ 4 ชิ้นทำหน้าที่เป็นตัวเลือก เมื่อนำชิ้นส่วนมาจัดเข้าคู่แล้วเสร็จจะได้ดังภาพใด ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 มิติสัมพันธ์แบบจับคู่ชิ้นส่วนกับภาพ (Matching Parts and Figures) (Newton, 2009, p. 7)

ตอนที่ 2 ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget

Piaget (1973, p. 36) ได้ศึกษาพัฒนาการทางสติปัญญา มีความเชื่อว่าคนเราทุกคนตั้งแต่เกิดมามีความพร้อมที่จะเรียนรู้ และสามารถใช้ประสบการณ์ต่าง ๆ เข้าไปเชื่อมโยงกับโครงสร้างทางสติปัญญาเดิม หากมีการปรับเปลี่ยนผสมผสานกลมกลืนกันจะก่อให้เกิดความสมดุลขึ้น ซึ่งทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget จำแนกออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

1.1 ขั้นรับประสาทสัมผัสและการเคลื่อนไหว (Sensory Motor Stage) เป็นระยะแรกเกิดจนถึงอายุ 2 ปี เด็กในวัยนี้จะพัฒนาทักษะทางกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว ซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาการทางสติปัญญา เด็กจะมีการพัฒนาการเคลื่อนไหวและปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบตัว

1.2 ขั้นก่อนปฏิบัติการความคิด (Pre–operational Stage) เป็นระยะตั้งแต่อายุ 2 ถึง 7 ปี เป็นวัยที่เข้าใจถึงสัญลักษณ์ต่าง ๆ และสามารถใช้สัญลักษณ์เหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขั้นปฏิบัติความคิดรูปธรรม (Concrete–operational Stage) เป็นระยะตั้งแต่อายุ 7 ถึง 11 ปี เด็กจะเริ่มเข้าใจปัญหาในมุมที่แตกต่างกัน เข้าใจถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลง สามารถแก้ไขปัญหาและเข้าใจความสัมพันธ์ของสิ่งของแต่ละอย่างในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่ไม่สามารถสร้างความคิดในเชิงนามธรรมได้ เด็กสามารถอธิบายหรือแก้ปัญหาต่าง ๆ โดยอาศัยการกระทำจากของจริงหรือจากสิ่งของที่เป็นวัตถุเท่านั้น

1.4 ขั้นปฏิบัติความคิดเชิงนามธรรม (The Period of Formal Operational Stage) เป็นระยะตั้งแต่อายุ 11 ถึง 15 ปี เป็นขั้นที่เด็กมองเห็นความชัดเจนทางนามธรรมได้เอง เด็กเริ่มมีความเข้าใจ และมีเหตุผล สามารถนำหลักเกณฑ์ของความสัมพันธ์ต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน สามารถใช้เหตุผลในการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ สามารถตั้งสมมติฐานโดยอาศัยจินตนาการหรือจากการสังเกต ซึ่งเด็กในวัยนี้จะมีความสามารถเชิงอุปมานและอนุมานมากขึ้น เพราะเป็นช่วงระยะที่เด็กมีการพัฒนาโครงสร้างทางสติปัญญาสูงสุด

จากทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget สรุปได้ว่า คนเราทุกคนสามารถพัฒนาสติปัญญาได้ตามลำดับขั้นและช่วงของวัย โดยอาศัยประสบการณ์และการเรียนรู้ ตลอดจนการใช้ประสาทสัมผัสช่วยในการับรู้ ได้แก่ ตา หู ลิ้น กาย และใจ เพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์เข้าด้วยกัน สามารถสร้างจินตนาการ มีความคิดเชิงนามธรรม และสามารถสร้างมโนภาพให้เกิดเป็นรูปธรรมได้

2. ทฤษฎีโครงสร้างทางสติปัญญาของ Guilford

Guilford (1967, p. 5) ได้พัฒนาความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างทางสติปัญญา โดยการสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางสติปัญญาออกมาเป็นหุ่นลูกบาศก์ (Model of Intellectual Ability) มากถึง 120 องค์ประกอบ มีลักษณะรวมกันเป็น 3 มิติ (Three Dimensional Model) และมีความเห็นว่าสติปัญญาเกิดจากการร่วมกันของมิติทั้ง 3 ดังนี้

2.1 มิติด้านวิธีการคิด (Operation) หมายถึง กระบวนการต่าง ๆ ที่บุคคลใช้ในการคิดแบ่งออกเป็น 5 ประการคือ การคิดแบบรู้และเข้าใจ (Cognitive: C) คิดแบบจำ (Memory: M) คิดแบบอเนกนัย (Divergent Thinking: D) คิดแบบเอกนัย (Convergent Thinking: N) และคิดแบบประเมิน (Evaluation: E) ซึ่งวิธีการคิดทั้งห้าประการในมิติที่หนึ่งนี้ไม่ได้เป็นอิสระจากกัน มนุษย์จะต้องใช้การคิดทั้งห้าประการร่วมกันอย่างต่อเนื่องกัน

2.2 มิติด้านเนื้อหา (Content) หมายถึง วัตถุหรือสิ่งเร้าที่ก่อให้เกิดความคิดหรือความรู้สึกที่สามารถตอบสนองได้ แบ่งออกเป็น 5 ประการคือ สิ่งที่มองเห็น (Visual: V) สิ่งที่ได้ยิน (Auditory: A) สัญลักษณ์ (Symbolic: S) ภาษา (Semantic: M) และพฤติกรรม (Behavior: B)

2.3 มิติด้านผลของการคิด (Products) หมายถึง ผลิตผลของความคิด ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นหน่วย (Unit) เป็นกลุ่มหรือพวกของสิ่งต่าง ๆ (Classes) เป็นความสัมพันธ์ (Relation) เป็นระบบ (System) เป็นการแปลงรูป (Transformation) การประยุกต์ (Implication) และการคาดคะเนในเชิงตรรกวิทยา (Logic) ที่ต้องอาศัยเหตุและผล การขยายข้อมูลออกไปในรูปการทำนายความสามารถทางความคิดของบุคคล เป็นผลจากการผสมผสานมิติด้านเนื้อหา และด้านปฏิบัติการเข้าด้วยกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ประการ คือหน่วย (Unit: U) จำพวก (Classes: C) ความสัมพันธ์ (Relation: R) การแปลงรูป (Transformation: T) ระบบ (System: S) และการประยุกต์ (Implication: I)

จากทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Guilford สรุปได้ว่า ความสามารถทางสติปัญญาสามารถวิเคราะห์ด้วยองค์ประกอบในรูปแบบจำลองหุ่นลูกบาศก์สามมิติ ได้แก่ มิติด้านวิธีการคิด

มิติด้านเนื้อหา และมิติด้านผลของการคิด ซึ่งทั้งสามมิติสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาการด้านมิติสัมพันธ์

3. ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Gardner

Gardner (2011, pp. 73 - 74) กล่าวถึงความฉลาดทางสติปัญญาว่า เป็นความฉลาดที่วัดด้วยแบบทดสอบเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับเชาว์ปัญญาของมนุษย์ เช่น ความสามารถในการแก้ไขปัญหาด้านตรรกะ ตัวเลข ความสามารถด้านความจำ ความสามารถทางด้านภาษา และความสามารถทางด้านการคิดวิเคราะห์ ต่อมาได้ค้นพบว่า ความฉลาดของมนุษย์ไม่ได้แสดงออกมาแค่เพียงความสามารถดังกล่าวข้างต้น แต่ความฉลาดของมนุษย์มีความหลากหลาย หรือที่เรียกว่า พหุปัญญา (Multiple Intelligence) ซึ่งความสามารถทางสติปัญญาแบ่งออกเป็น 9 ด้าน ดังนี้

3.1 ปัญญาด้านภาษา (Linguistic Intelligence) คือ ความสามารถในด้านภาษา การพูดโน้มน้าวผู้อื่น ความสามารถด้านการเขียน ความสามารถด้านบทกวีและความสามารถของความคิดในการประดิษฐ์คำ

3.2 ปัญญาด้านการคำนวณ (Logical–mathematical Intelligence) คือ ความสามารถในการคิดคำนวณ ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ ความสามารถในการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบและความสามารถในการใช้เหตุผล

3.3 ปัญญาด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Intelligence) คือ ความสามารถในการสร้างภาพในสมองสามารถในการจินตนาการในสิ่งที่ไม่เคยมีมาก่อน เช่น สร้างภาพตึกหรือสร้างเมืองขึ้นจากภาพจินตนาการของสถาปนิก รวมถึงความสามารถในการอ่านภาพแผนที่ แผนภูมิ และการสร้างสรรค์ในสิ่งใหม่ ๆ

3.4 ปัญญาด้านกายภาพหรือร่างกาย (Bodily–kinesthetic Intelligence) คือ ความสามารถในเคลื่อนไหวร่างกายได้อย่างเหมาะสม ความสามารถในการเล่นกีฬาได้อย่างคล่องแคล่ว ความสามารถในการเต้นรำที่ถูกจังหวะ ความสามารถในการแสดง รวมถึงความสามารถในด้านหัตถกรรมและการใช้เครื่องมือต่าง ๆ การสัมผัสและการใช้ภาษาท่าทาง

3.5 ปัญญาด้านดนตรี (Musical Intelligence) คือ ความสามารถในด้านการร้องเพลง ความสามารถจับระดับเสียงที่มีความแตกต่างกันได้ดี สามารถจดจำทำนอง จังหวะเพลง หรือเสียงดนตรีได้ดี รวมถึงความสามารถในการเล่นเครื่องดนตรีต่าง ๆ

3.6 ปัญญาด้านความเข้าใจระหว่างบุคคล (Interpersonal Intelligence) คือ ความสามารถในด้านการสื่อสาร การบริหารจัดการและความเป็นผู้นำ ความสามารถในด้านการเข้าสังคม มีความเป็นมิตรสามารถเข้ากับคนอื่นได้ง่าย เข้าใจถึงความรู้สึกของผู้อื่น มีมนุษย์สัมพันธ์ดี สามารถบริหารความขัดแย้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.7 ปัญญาด้านเข้าใจตนเอง (Intrapersonal Intelligence) คือ ความสามารถของบุคคลในการเข้าใจตนเอง เข้าใจถึงศักยภาพของตนเอง สามารถตั้งเป้าหมายในชีวิตได้อย่างเหมาะสม ชอบการทำงานคนเดียว รวมถึงชอบทำตามความสนใจของตนเอง และมีความมั่นใจในตนเอง

3.8 ปัญญาด้านธรรมชาติ (Naturalist Intelligence) คือ ความสามารถในการเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติ และปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เข้าใจความสำคัญของตนเองกับสิ่งแวดล้อม มองเห็นความงาม ความสัมพันธ์ของสรรพสิ่งในธรรมชาติ ตระหนักถึงความสามารถของตนเองที่จะมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์ธรรมชาติ

3.9 ปัญญาด้านการดำรงคงอยู่ของชีวิต (Existential Intelligence) คือ ความไวและความสามารถในการดำรงอยู่ของมนุษย์ เช่น ความหมายของชีวิต การเกิดแก่เจ็บตาย

จากทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญา Gardner สรุปได้ว่า ปัญญา คือ ความสามารถในการแก้ไขปัญหาและสร้างสรรค์สิ่งใหม่ให้เป็นประโยชน์แก่สังคม โดยการนำความคิดมาบูรณาการร่วมกันผ่านการประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ โดยการทำงานของสมองขั้นสูง (High Brain Function) และทุกคนสามารถพัฒนาตนเองให้มีปัญญาได้ในอีกหลายด้าน ซึ่งปัญญาด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Intelligence) ก็เป็นความสามารถทางสติปัญญาด้านหนึ่ง โดยอาศัยการบูรณาการของกระบวนการทางสมอง

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

นัทฐ์นภัส อิทธิกมลเลิศ (2549) ได้เปรียบเทียบคุณลักษณะของข้อสอบและแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพ และแบบแยกภาพที่มีลักษณะพื้นแตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก ค่าความเชื่อมั่น และค่าความเที่ยงของแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพและแยกภาพที่มีลักษณะพื้นต่างกัน 4 แบบคือ 1) มีพื้นเป็นสีขาว 2) มีพื้นเป็นลายเส้น 3) มีพื้นเป็นสีดำ และ 4) มีพื้นเป็นลายจุด กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2547 โรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานครกลุ่มศรีนครินทร์ จำนวน 800 คน ด้วยการสุ่มอย่างง่าย ผลการวิจัยปรากฏว่า ค่าความยากของแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพพื้นลายจุดมีความยากมากที่สุด และแบบซ้อนภาพพื้นเป็นสีขาวมีความง่ายที่สุด ส่วนแบบแยกภาพพื้นเป็นสีขาวมีความยากมากที่สุด และแบบแยกภาพพื้นเป็นลายเส้นมีความง่ายที่สุด โดยแต่ละรูปแบบของฉบับเดียวกันมีค่าความยากแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าแบบทดสอบสองฉบับในรูปแบบเดียวกันมีค่าความยากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < .05$ ในทุกรูปแบบ

สน วัฒนสิน (2551) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถทางสมองเบื้องต้นด้านมิติสัมพันธ์ ด้านเหตุผลเชิงนามธรรมกับความถนัดทางศิลปะ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ในจังหวัดปัตตานี จำนวน 120 คน เป็นนักเรียนชาย 60 คน นักเรียนหญิง 60 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ แบบทดสอบความสามารถด้านเหตุผลเชิงนามธรรม และแบบทดสอบความถนัดทางศิลปะ ปรากฏว่า ความสามารถทางสมองเบื้องต้นด้านมิติสัมพันธ์ มีความสัมพันธ์ในทางบวกระดับต่ำ ความถนัดทางศิลปะ มีสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ .285 กลุ่มนักเรียนชายและกลุ่มนักเรียนหญิง มีความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความสามารถด้านเหตุผลเชิงนามธรรม กับความถนัดทางศิลปะใกล้เคียงกัน มีค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ .281 และ .317 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีคะแนนจากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เหตุผลเชิงนามธรรม และความถนัดทางศิลปะไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ben–Chaim, Lappan, and Houang (1988) ได้ศึกษาการมองภาพของเด็กนักเรียนในระดับ 6, 7 และ 8 โดยใช้แบบทดสอบมิติสัมพันธ์ 10 แบบ คือ 1) แบบทดสอบประกอบภาพ 2) แบบทดสอบหารูปแปลน 3) แบบทดสอบหาด้านข้างจากรูปแปลน 4) แบบทดสอบหารูปทรงสามมิติจากแปลน 5) แบบทดสอบหาด้านต่าง ๆ จากรูปทรงสามมิติ 6) แบบทดสอบนับลูกบาศก์

7) แบบทดสอบหาด้านตรงข้ามจากลูกบาศก์ 8) แบบทดสอบหารูปทรงเมื่อบ่งชี้ลูกบาศก์ที่ถูกดึงออกมา 9) แบบทดสอบรวมองค์ประกอบ และ 10) แบบทดสอบจำแนกรูปบล็อก ผลการวิจัยพบว่า เด็กที่เรียนในระดับต่างกันจะมีความสามารถในการมองภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Sotthiwat (2008) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะทำกิจกรรมด้านการจินตภาพเชิงมิติสัมพันธ์ ระหว่างอาสาสมัครซึ่งเป็นนักดนตรี กับอาสาสมัครที่ไม่เคยได้รับการฝึกด้วยดนตรี ผลการศึกษาปรากฏว่า กลุ่มนักดนตรีมีค่าเฉลี่ย Amplitude สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เคยได้รับการฝึกด้วยดนตรีอย่างมีนัยทางสถิติ $p < .05$ และแผนที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าสมองแบบสองมิติยังแสดงว่ากลุ่มอาสาสมัครนักดนตรีมีการกระจายตัวของความต่างศักย์ไฟฟ้าสมองที่แตกต่างจากอาสาสมัครที่ไม่ได้รับการฝึกดนตรี ซึ่งค่า Amplitude ที่สูงกว่าในอาสาสมัครนักดนตรี แสดงว่า นักดนตรีมีสมาธิและความสามารถสูงกว่าผู้ที่ไม่เคยได้รับการฝึกด้วยดนตรี

Amsudin, Rafi, and Hanif (2011) ได้ศึกษาการฝึกวาดรูปภาพออโตกราฟฟี่ (Autography) กับการจินตภาพการหมุน และจินตภาพทางด้านมิติสัมพันธ์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา อายุระหว่าง 15 ถึง 16 ปี ผลการศึกษาปรากฏว่า นักเรียนที่ได้รับการฝึกการวาดภาพแบบออโตกราฟฟี่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีขึ้น

จากการงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า แบบทดสอบวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มีหลายรูปแบบ และใช้วัดระดับความสามารถในการมองภาพและการจินตนาภาพคำตอบได้แตกต่างกัน โดยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีความสำคัญต่อความสามารถของกระบวนการรับรู้และการเรียนรู้ สามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้ ด้วยการฝึกทักษะทางสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

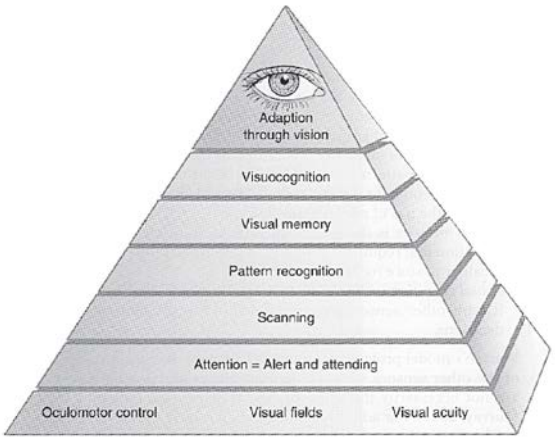
ตอนที่ 3 การรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception)

1. ทฤษฎีการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception Theory)

การรับรู้วัตถุหรือสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวเราเป็นผลมาจากระบบประสาททางการมองเห็น (Visual Sensation) การรับรู้ทางการมองเห็นเกิดจากการประมวลผลร่วมกันอย่างเป็นระบบกับความรู้สึกพิเศษอื่น เช่น การรับสัมผัส การดมกลิ่น การได้ยิน และการรับรู้ทางการมองเห็น ซึ่งการรับรู้ทางการมองเห็น มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสามารถด้านการเรียนรู้ และความสามารถในการวางแผนการเคลื่อนไหว เนื่องจากใช้พื้นที่สมองในการประมวลผลมากกว่าการรับรู้ทางประสาทสัมผัสชนิดอื่น ดังนั้นการรับรู้ทางการมองเห็นจึงเป็นความสามารถของกระบวนการทางสมองในการประมวลข้อมูลร่วมกันเพื่อเก็บประสบการณ์ที่ได้รับจากการเรียนรู้ (Schneck, 2010, pp. 357-362)

การรับรู้ทางการมองเห็นมีความเกี่ยวข้องกับทฤษฎีพื้นฐาน 3 ทฤษฎี ดังนี้

1.1 ทฤษฎีพัฒนาการ (Developmental Theory) เป็นลำดับการพัฒนาด้านการรับรู้ทางสายตา ซึ่งการรับรู้ทางการมองเห็นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) องค์ประกอบของการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception Components) และ 2) องค์ประกอบของการมองเห็นและการรู้คิด (Visual - Cognitive Components) ลำดับขั้นของการพัฒนาจะเริ่มต้นจากพื้นฐานแล้วจึงต่อยอดไปสู่ความสามารถที่สูงขึ้นไป ดังแผนภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 ลำดับขั้นการพัฒนาการด้านการรับรู้ทางสายตา (Schneck, 2010, p. 353)

1.1.1 พื้นฐานส่วนล่างสุด ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ 1) การควบคุมการเคลื่อนไหวของดวงตา (Oculomotor Control) เป็นความสามารถของมนุษย์ในการควบคุมความการเคลื่อนไหวของลูกตา 2) ลานสายตา (Visual Fields) คือ ช่วงการมองเห็นทั้งหมดของสายตา และ 3) ความคมชัดของการมองภาพ (Visual Acuity) คือ ความสามารถในการส่งสิ่งที่มองเห็นไปยังศูนย์กลางของสมองเพื่อแยกแยะได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสามองค์ประกอบดังกล่าว เป็นลำดับขั้นในการพัฒนาการรับรู้ทางสายตา ซึ่งสามารถพัฒนาการรับรู้ทางสายตาให้ดีขึ้นได้ในขั้นตอนต่อไป

1.1.2 ความสนใจในการมองเห็น (Visual Attention) คือ การคงช่วงความสนใจในการมองในสภาวะที่มีความตื่นตัว และการมีสมาธิกับสิ่งที่มองเห็น

1.1.3 การมองภาพอย่างรวดเร็ว (Scanning) คือ ความสามารถในการมองเห็นโดยการรวบรวมลักษณะต่างๆ ของสิ่งเร้า และสามารถเก็บจดจำภาพที่เห็นในช่วงเวลานั้นได้ในทันที

1.1.4 การจำแนกรูปแบบของสิ่งเร้า (Pattern Recognition) คือ ความสามารถในการเก็บข้อมูลที่ได้จากการมองเห็น เช่น สี รูปทรง พื้นผิว เป็นต้น

1.1.5 ความจำจากการมองเห็น (Visual Memory) คือ ความสามารถในการจดจำและเรียกความจำจากข้อมูลที่มองเห็นออกมาใช้ได้ในคราวต่อไป

1.1.6 การรู้คิดจากการมองเห็น (Visual Cognition) คือ ความสามารถจัดการข้อมูลที่ได้จากการมองเห็นนำไปบูรณาการร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการรับรู้ในด้านอื่น ๆ เพื่อใช้ในการวางแผน ตัดสินใจหรือการแก้ปัญหา และทำให้เกิดพฤติกรรมการปรับตัวจากภาพที่ได้อย่างเหมาะสมกับในสถานการณ์ต่าง ๆ

1.2 ทฤษฎีการได้มาของข้อมูล (Acquisition Theories) เป็นทฤษฎีที่กล่าวถึงการเรียนรู้ทักษะต่าง ๆ ผ่านการเรียนรู้จากสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก ดังนี้

1.2.1 กระบวนการรับสิ่งเร้าต่าง ๆ (Input of Stimuli)

1.2.2 กระบวนการแปลผล (Interpretation Process) ซึ่งข้อมูลที่ได้จาก

การมองเห็นต้องอาศัยความสามารถต่าง ๆ เช่น การสนใจ (Attention) ความจำ (Memory) การคัดแยกหรือจัดกลุ่ม (Discrimination) และการจินตภาพ (Visual Imaginary)

1.2.3 กระบวนการแสดงออก (Response) ความสามารถในการรับรู้ทางสายตากระทำสิ่งต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการเรียน การเล่น ตามที่ต้องการได้ เป็นต้น

1.3 ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลง (Dynamic Theory) จากทฤษฎีการเรียนรู้ทำให้เชื่อว่าการรับรู้ทางสายตาสามารถพัฒนาได้ โดยผ่านการเรียนรู้และการฝึกฝน ด้วยเทคนิคกระบวนการเรียนรู้และการสอน (Teaching-learning Process) ร่วมกับกิจกรรมการวิเคราะห์ และการสังเคราะห์ (Activity Analysis and Activity Synthesis)

2. กระบวนการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual Perception Process)

กระบวนการรับรู้ทางการมองเห็นเป็นความสามารถในการคงช่วงความสนใจ (Visual Attention) การจดจำ (Visual Memory) และการแยกแยะ (Visual Discrimination) ความแตกต่างของการมองเห็น ซึ่งสิ่งที่มองเห็นและนำข้อมูลที่ได้จากการมองเห็นไปแปลผล กระบวนการรับรู้ทางการมองเห็นประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ดังนี้

2.1 หน้าที่ของการรับภาพการมองเห็น (Visual Receptive Functions)

หน้าที่ของการรับภาพการมองเห็น เป็นกระบวนการได้มาและจัดการกับข้อมูลที่มาจากสิ่งแวดล้อมเพื่อให้สามารถแยกแยะสิ่งที่มองเห็น การปรับความชัด ของภาพที่เห็นได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง การรวมภาพที่ได้จากตาสองข้างมาเห็นภาพเดียว การลู่สายตาเข้าหากันเพื่อมองตรงไปยังวัตถุ การรับรู้ความลึกของภาพทำให้สามารถมองภาพเป็น 3 มิติได้

2.2 กระบวนการรู้คิดทางการมองเห็น (Visual Cognition Functions)

กระบวนการรู้คิดทางการมองเห็น เป็นความสามารถในการแปลผลและนำข้อมูลที่ได้จากการมองเห็นไปใช้ ประกอบด้วย

2.2.1 ความสนใจในการมองเห็น (Visual Attention) ความสามารถในการคงช่วงความสนใจไว้กับสิ่งที่มองเห็น และความสามารถคงช่วงความสนใจที่พัฒนาเพิ่มขึ้นได้จากการฝึกฝนและการเรียนรู้

2.2.2 ความจำสิ่งที่มองเห็น (Visual Memory) ความสามารถในการจดจำสิ่งที่มองเห็นซึ่งเป็นการประมวลผลร่วมกับประสบการณ์ในอดีตที่เคยเห็นมาก่อน

2.2.3 การแยกแยะสิ่งที่มองเห็น (Visual Discrimination) ความสามารถในการคัดแยกสิ่งที่มองเห็น สามารถแยกย่อยได้ดังนี้ การรู้จักวัตถุ (Recognition) คือ การระลึกได้ว่าสิ่งที่เห็นนั้นคืออะไร การจับคู่สิ่งที่มองเห็น (Matching) การจัดกลุ่มสิ่งที่มองเห็น (Sorting) นอกจากนี้กระบวนการรับรู้ทางการมองเห็น สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักใหญ่ ๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1 การรับรู้วัตถุ (Object Perception)

การรับรู้วัตถุ เป็นการรับรู้ทางการมองเห็นที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้วัตถุ ซึ่งเป็นการทำงานของสมองส่วนขมับ (Temporal Lobe) ประกอบด้วย

1) ความสามารถในการจดจำแยกแยะรูปทรงของวัตถุ (Visual Form Constancy) คือ ความสามารถในการจดจำวัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพแวดล้อมใด หันไปในทิศทางใด และขนาดเท่าไหร่

2) การแยกวัตถุ (Visual Closure) คือ ความสามารถในการแยกวัตถุออกจากกันไม่ว่าวัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์

3) การแยกภาพออกจากพื้น (Figure Ground Organization) คือ ความสามารถในการแยกวัตถุที่ต้องการออกจากพื้นหลังหรือสิ่งอื่น ๆ ที่ปะปนอยู่

ส่วนที่ 2 การรับรู้มิติสัมพันธ์ (Spatial Perception)

การรับรู้มิติสัมพันธ์ เป็นการรับรู้ทางการมองเห็นที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ทิศทาง และตำแหน่งของวัตถุว่ามีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมรอบตัวอย่างไร ซึ่งเป็นการทำงานของสมองส่วนกระหม่อม (Parietal Lobe) ประกอบด้วย

1) ความสามารถในการรับรู้ทิศทาง และตำแหน่งของวัตถุ (Position in Space) ช่วยให้เข้าใจความหมายของคำที่ระบุตำแหน่ง เช่น ใน - นอก บน – ล่าง - หลัง ซ้าย - ขวา เป็นต้น

2) ความสามารถในการรับรู้รูปแบบความสัมพันธ์กับสิ่งอื่น (Spatial Relations) ช่วยให้เกิดการวางแผนการเคลื่อนไหวที่ถูกต้อง

3) ความสามารถในการกะระยะความห่าง (Depth Perception) ระหว่างวัตถุกับสิ่งอื่น ๆ เช่น การรับรู้ความลึกและการรับรู้ระยะที่จะเอื้อมมือออกไปคว้าสิ่งของ

4) ความสามารถในการคิดภาพแผนที่ (Topographic Orientation) ความสามารถในการแยกวัตถุและเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของวัตถุต่างไว้ด้วยกัน เช่น ความสามารถในการรับรู้เส้นทางและการคิดภาพแผนที่การเดินทางเป็นต้น

2.3 การจินตภาพ (Visual Imagery/ Visualization)

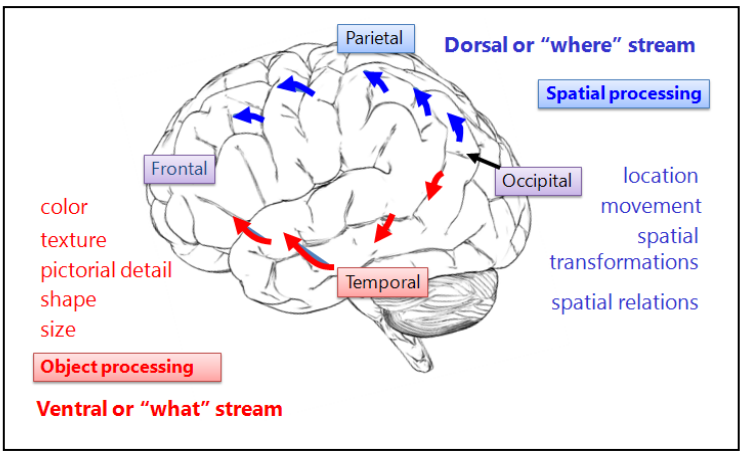
การจินตภาพ เป็นส่วนที่ต้องใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มาจากส่วนขององค์ประกอบของการมองเห็นเพื่อการรู้คิด (Visual Cognitive Components) มาประกอบกันเป็นการรับรู้สิ่งต่าง ๆ ทั้งการรับรู้ของบุคคล การสร้างมโนภาพ การสร้างความคิด และการรับรู้วัตถุรอบตัว ซึ่งมีความสำคัญต่อความสามารถในการคิดวางแผน การแก้ปัญหารวมถึงทักษะในการบริหารจัดการด้านอื่น ๆ

2.4 การเคลื่อนไหวระหว่างมือและตา (Eye-hand Coordination/ Visual Motor Integration)

การเคลื่อนไหวระหว่างมือและตา เป็นความสามารถด้านการมีสหสัมพันธ์การเคลื่อนไหวระหว่างตาและมือ ซึ่งเป็นทักษะในการเคลื่อนไหวที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งเร้าที่เกิดจากการมองเห็น

กระบวนการรับรู้ทางการมองเห็นทั้ง 4 ส่วนนี้ สรุปได้ว่า การรับรู้ทางการมองเห็นต้องอาศัยกระบวนการทางสมองในการตีความหมายหรือแปลความหมายของสิ่งเร้าของแต่ละบุคคลและโดยอาศัยประสบการณ์เดิมที่มีอยู่ ซึ่งกระบวนการรับรู้ทางการมองเห็น มีเส้นทางการประมวลผลของระบบประสาท สามารถแบ่งออกได้ 2 เส้นทาง คือ เส้นทางการประมวลผลเชิงวัตถุ (Object Processing) และเส้นทางการประมวลผลเชิงมิติสัมพันธ์ (Spatial Processing) โดยเส้นทางการประมวลผลเชิงวัตถุ จะเริ่มจากการรับรู้ด้วยการมองเห็น ส่งสัญญาณประสารทเพื่อประมวลผลที่สมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) จากนั้นส่งสัญญาณประสาทต่ำลงมาที่สมองส่วนขมับ (Temporal Lobe) และส่งสัญญาณไปสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) ส่วนเส้นทางการประมวลผลเชิงมิติสัมพันธ์ เริ่มจากการรับรู้ด้วยการมองเห็น ส่งสัญญาณประสาทเพื่อประมวลผลที่สมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) เช่นเดียวกัน จากนั้นส่งสัญญาณประสาทขึ้นไปที่สมองส่วนกระหม่อม (Parietal Lobe) และส่งสัญญาณไปสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) นอกจากนี้กระบวนการรับรู้ทางการมองเห็น เป็นความสามารถในการคงช่วงความสนใจ การจดจำ และการจัดกลุ่มสิ่งที่มองเห็น ตลอดจนนำข้อมูลที่ได้รับจากการมองเห็นไปแปลผล กระบวนการรับรู้ทางการ

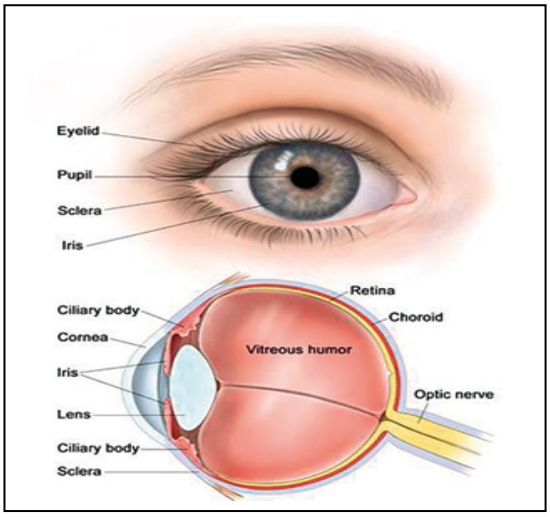
มองเห็น เป็นการทำงานของกระบวนการทางสมองที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น สามารถจำแนกได้สองส่วนคือ การรับรู้วัตถุและการรับรู้มิติสัมพันธ์ ซึ่งทั้งสองส่วนมีเส้นทางการประมวลสองเส้นทาง คือ การการรับรู้วัตถุ เป็นการทำงานของสมองส่วนขมับ ส่วนการรับรู้มิติสัมพันธ์ เป็นการทำงานของสมองส่วนกระหม่อม ซึ่งเป็นกระบวนการทางสมองขั้นสูง สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดทางสรีรวิทยา (Physiological Instrument) ดังภาพที่ 2-10



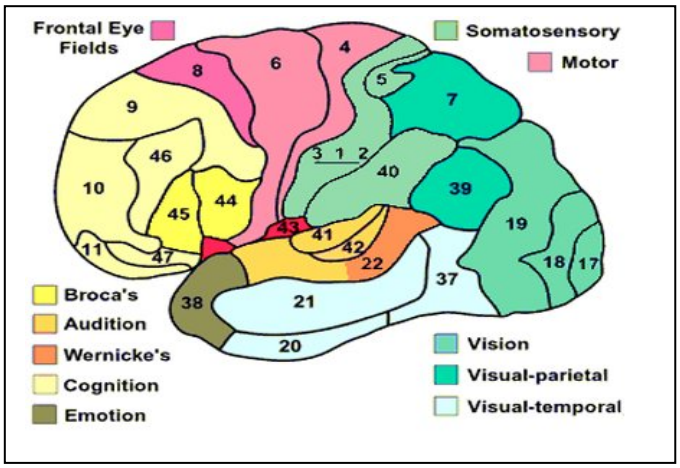
ภาพที่ 2-10 เส้นทางการประมวลผลของระบบประสาทการรับรู้ด้วยการมองเห็น (Kramer & Hinojosa, 2010, p. 65)

3. โครงสร้างการมองเห็นและวิถีประสาทรับเพื่อการมองเห็น

การมองเห็นจัดอยู่ในระบบประสาทรับความรู้สึกพิเศษ (Special Senses) ของมนุษย์มีเนื้อที่ของ Cerebral Cortex กว้างกว่าการรับความรู้สึกระบบอื่น การมองเห็นเป็นกระบวนการที่สมองใช้ข้อมูลจากตัวรับแสงในจอตา (Retina) โดยที่ตาเป็นเครื่องรับแสง โดยผ่านทางรูม่านตา (Pupil) ซึ่งแสงจะถูกหักเหและรวมแสงโดยกระจกตา (Cornea) และเลนส์ (Lens) เพื่อให้แสงตกที่จอตาซึ่งอยู่ด้านหลังลูกตา หลังจากนั้นตัวรับแสงที่จอตาจะถ่ายทอดแปลภาพของแสงที่ได้รับให้เห็นเป็นข่าวสารข้อมูล ส่งไปศูนย์กลางของการเห็น (Visual Area) ของสมองบริเวณส่วนท้ายทอย เพื่อแปลความหมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Boardman's Area 17, 18 และ 19 เพื่อแปลความหมายของวัตถุที่มองเห็น ดังภาพที่ 2-11 และ 2-12



ภาพที่ 2-11 โครงสร้างของดวงตาตามระนาบด้านข้าง (Smythies, 1996, p. 369)

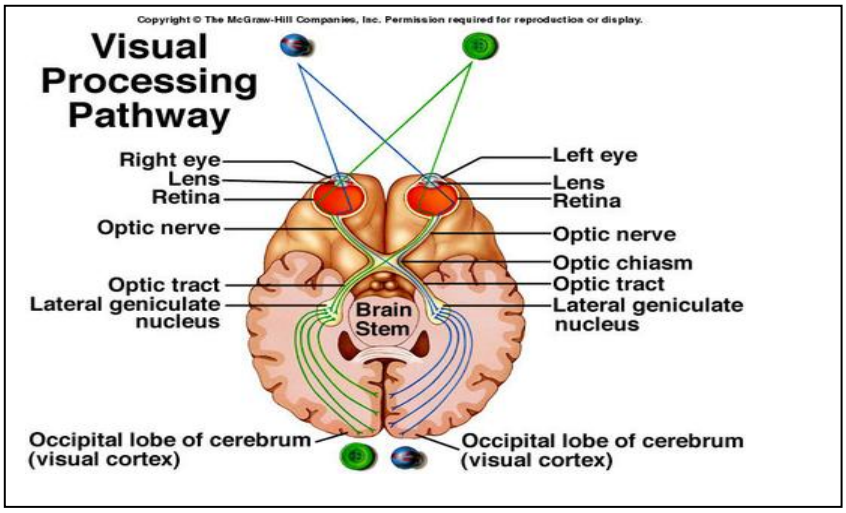


ภาพที่ 2-12 พื้นที่ Boardman ที่เกี่ยวกับการมองเห็น (Smythies, 1996, p. 369)

วิถีประสาทรับภาพเพื่อการมองเห็น (Visual Pathways)

แสงต้องเดินทางผ่านเซลล์ประสาทของจอตา 3 ชั้นก่อนไปถึงตัวรับแสง เมื่อเกิดศักย์ไฟฟ้าที่ตัวรับจะส่งถ่ายทอดไปยังปมประสาท (Ganglion) 2 ทาง คือ ทางตรงผ่านเซลล์ประสาทสองขั้ว (Bipolar) ส่วนทางอ้อมผ่านเซลล์ประสาทแนวนอน (Horizontal) เมื่อถึงเซลล์ปมประสาทจะเกิดศักย์ทำงาน (Action Potential) เส้นประสาทจากเซลล์ปมประสาทจะไปรวมเข้าบริเวณออฟติกดิส (Optic Disc) แล้วส่งไปยังเส้นประสาท Optic ไปสู่แลทเทอรอล เจนนิคูเลท นิวเคลียส (Lateral Geniculate Nucleus: LGN) เส้นประสาทจากจอตาที่รับมาจากครึ่งด้านจมูก (Nasal Half) จะข้ามไปด้านตรงกันข้ามแล้วจึงจะไปรวมกับเส้นประสาทจากครึ่งด้านขมับ (Temporal Half) ของจอตาอีกข้างหนึ่ง จากนั้นไป Synapse เจนนิคูเลท นิวเคลียส แล้วไปสู่ Visual หรือ Occipital Cortex (Area 17) ทำให้เกิดการรับรู้ว่ามีภาพเข้ามาที่จอตา จากนั้นถูกส่งต่อไปยัง Association Areas เพื่อ

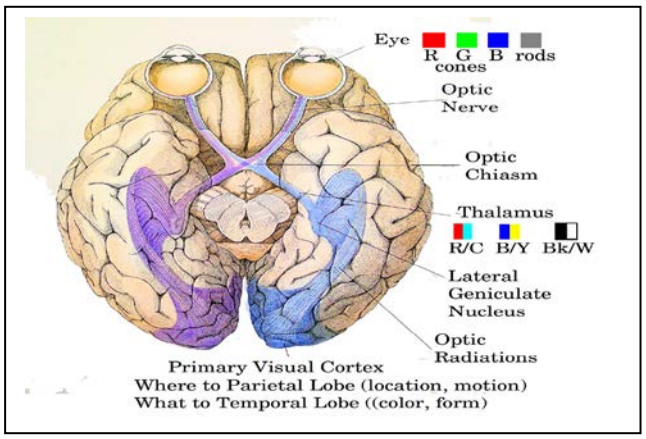
แปลภาพที่เห็นว่าเป็นอะไร และจากแลทเทอรอล เจนนิคูเลท นิวเคลียส อาจส่งไปยังกลุ่มอื่น ๆ เช่น ระบบแมคโนเซลลูลาร์ (Magnocellular) จะเกี่ยวข้องกับการรับรู้การเคลื่อนไหวให้รายละเอียดของภาพ และการรับภาพ 3 มิติ (Stereoscopic Vision) ส่วนระบบพาร์โวเซลลูลาร์ (Parvocellular) จะรับข้อมูลเกี่ยวกับภาพสี ความคมชัดเกี่ยวกับรูปร่าง เส้น และความสูงต่ำของภาพ ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 วิถีประสาทรับภาพ (Smythies, 1996, p. 371)

กระบวนการรับข้อมูลของการมองเห็น (Processing Visual Information)

การรับข้อมูลที่เกี่ยวกับการมองเห็น คือบริเวณ Primary Visual Cortex หรือ Area 17 ตั้งอยู่ที่ Occipital Cortex โดยรับกระแสประสาทจากเจนนิคูเลทนิวเคลียส เพื่อรับรู้ข้อมูลเบื้องต้นจาก Visual Areas ที่เกี่ยวข้องกับภาพ 3 มิติ และการเคลื่อนไหวของจอตา ซึ่งเจนนิคูเลทนิวเคลียสมีบริเวณรับข้อมูล (Receptive Field) เป็นแบบ Center - Surround ขณะที่เซลล์ประสาทส่วนใหญ่ใน Visual Cortex ตอบสนองต่อการกระตุ้นที่ซับซ้อนกว่า และเซลล์ประสาทบางชนิดอาจตอบสนองได้ดี ถ้ากระตุ้นเป็นรูปยาว หรือเป็นขอบที่มีทิศทาง หรือความถี่จำเพาะ สีจำเพาะ หรือการเคลื่อนไหวจำเพาะ เซลล์ประสาทของ Visual Cortex จะจัดเรียงตัวเป็นแนวแบบรัศมี โดยที่บริเวณที่จำเพาะดังกล่าวจะติดต่อจุดที่จำเพาะของจอตา ทำให้กระบวนการรับรู้ข้อมูลเกิดขึ้นทั้งแบบลำดับขั้นและแบบแนวขนาน แบบลำดับขั้นจากจอตามาถึงสมองส่วนสูง สามารถอธิบายการตอบสนองของเซลล์ต่าง ๆ ต่อการกระตุ้นจำเพาะ ซึ่งแต่ละขั้นที่สูงขึ้นไปจะเพิ่มจำนวนเซลล์ที่รับการกระตุ้นจำเพาะ เพื่อทำให้เกิดภาพที่ซับซ้อนขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลบางอย่างที่รับจากสิ่งกระตุ้น เช่น ความคมชัดของภาพ สี ตลอดจนการเคลื่อนไหวของภาพ 3 มิติ จะถูกนำขึ้นไปยังสมองส่วนสูง แยกกันในแบบแนวขนาน (Parallell Processing) คือ อาศัยวิถีประสาทหลายเส้นทางในการแปลความหมายต่าง ๆ ของสิ่งกระตุ้น ดังภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 ไพรมารี่วิชวลคอร์เทกซ์ Primary Visual Cortex (Smythies, 1996, p. 371)

4. คุณสมบัติของการมองเห็น (Visual of Property)

ความไวต่อภาพสี (Color Sensitivity)

เซลล์ที่ไวต่อสีจะไม่ไวต่อทิศทางการกระตุ้น แต่ Single Opponent Cell ซึ่งเป็นเซลล์ที่พบของจอตาจะตอบสนองได้ดีด้วยการกระตุ้นที่มีสีใดสีหนึ่งตรงกลาง และมีสีตัดกันรอบนอก เช่น ตรงกลางเป็นสีแดงรอบนอกเป็นสีเขียว หรือตรงกลางเป็นสีน้ำเงินรอบนอกเป็นสีเหลือง เป็นต้น ส่วน Double Opponent Cells จะถูกกระตุ้นโดยสีหนึ่งหรือยับยั้งโดยสีตัดกันตรงกลางของ Receptive Field และถูกยับยั้งโดยสีหนึ่งและกระตุ้นโดยสีตัดกันรอบนอก และบางชนิดรับมาจาก Magnocellurlar ซึ่งจะไม่ไวต่อสี แต่มีการตอบสนองต่อพื้นที่สว่างบริเวณใดก็ได้ใน Receptive Field ซึ่งเป็นการช่วยทำให้การรับภาพสีชัดเจนมากยิ่งขึ้น

การจัดเรียงตัวเป็นคอลัมน์ (Ocular Domainance Column)

เซลล์ประสาทใน Visual Cortex จะจัดเรียงตัวเป็นคอลัมน์ซึ่งเซลล์จะมีหน้าที่สัมพันธ์ใกล้ชิดกัน โดยครึ่งซ้ายของลานสายตาแต่ละข้างจะส่งไปยังครึ่งขวาของจอตาแต่ละข้างและจะส่งต่อไปยังสมองซีกขวา ส่วนครึ่งขวาของลานสายตาจะส่งต่อไปยังสมองซีกซ้ายเช่นกัน โดยที่เซลล์ประสาทเหล่านี้จะจัดเรียงตัวในรูปแบบของ Ocular Domainance Column ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการประเมินความลึกของภาพ และสร้างความรู้สึกของโลกสามมิติ

ความคมชัดของการเห็น (High Acuity Vision)

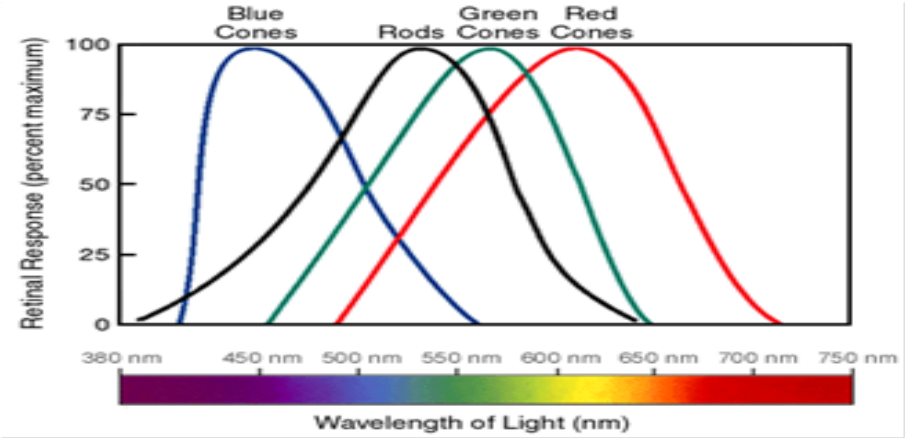
ความคมชัดของการเห็น เกี่ยวกับรูปร่าง เส้น ความสูงต่ำของภาพเป็นหน้าที่ของระบบ Parvocellular ความคมชัดไม่ขึ้นอยู่กับ Optic แต่ขึ้นอยู่กับการทำงานของจอตา บริเวณ Fovea ซึ่งมีความคมชัดที่สูงสุด เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างเซลล์รูปกรวย (Cone Cell) ประมาณ 2.5 ไมโครเมตร หรือ 0.01 องศา ถ้าห่างออกไปจากศูนย์กลางของจุดรับแสงบนจอประสาทตา (Fovea) จะพบว่า Receptive Field จะใหญ่ขึ้น เนื่องจากใช้จำนวนเซลล์รูปกรวย มากขึ้นและความคมชัดจะลดลง

การเห็นภาพสี (Color Vision)

แสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ในสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400 - 700 นาโนเมตร ซึ่งมองเห็นเป็นแสงสีขาว สีจะดูดซึมแสงบางคลื่นแล้วสะท้อนสีที่เหลือออกมาทำให้มองเห็นเป็นสี ตัวรับภาพสีมีเซลล์รูปกรวย อยู่ 3 ชนิดมี

ความจำเพาะต่อแสงที่มีสเปกตรัมต่างกัน 3 สี คือ เซลล์รูปกรวยสีฟ้า (Blue Cones) จะมีความไวมากที่สุดต่อแสงสีน้ำเงิน มีความยาวคลื่นประมาณ 430 นาโนเมตร เซลล์รูปกรวยสีเขียว (Green Cones) มีความไวมากที่สุดต่อแสงสีเขียว มีความยาวคลื่นประมาณ 530 นาโนเมตร และเซลล์รูปกรวยสีแดง (Red Cones) มีความไวมากที่สุดต่อแสงสีแดงหรือสีส้ม มีความยาวคลื่นประมาณ 560 นาโนเมตร

ส่วนการมองเห็นในที่มืด จะใช้เซลล์รูปแท่ง (Rod cells) มีความไวต่อแสงที่ความยาวคลื่น 498 นาโนเมตร จะสะท้อนสีน้ำเงินและสีแดงออกมาจึงมองเห็นเป็นสีม่วง ซึ่งมีช่วงความไว (Sensitive Curve) กว้างและซ้อนทับกันมาก การรับรู้สีเกิดจากการรับรู้เซลล์ชนิดใดถูกกระตุ้น ถ้าเซลล์รูปกรวยทั้ง 3 ชนิดถูกกระตุ้นพร้อม ๆ กัน และเท่า ๆ กัน จะมองเห็นเป็นสีขาว ดังภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 ความยาวคลื่นของแสงในสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) (Smythies, 1996, p. 372)

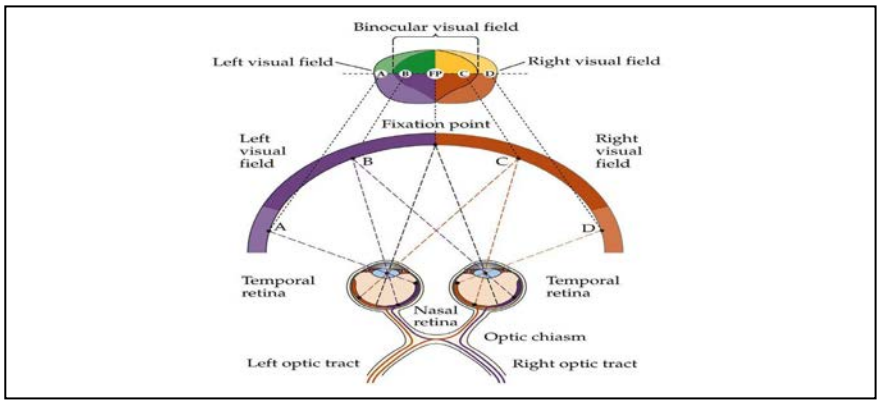
การมองภาพ 3 มิติ (Stereoscopic Vision)

การมองภาพ 3 มิติเกิดจากการมองเห็นทั้ง 2 ตา (Binocular Vision) โดยภาพจะตกบนบริเวณที่สัมพันธ์กัน และจุดที่คล้ายคลึงกันของจอตาทั้ง 2 ข้าง ซึ่งลานสายตา (Visual Field) ของตาซ้ายและตาขวาจะค่อนข้างเหมือนกัน และเมื่อตาทั้ง 2 ตาถูกโฟกัสที่วัตถุเดียวกันจะทำให้ลานสายตาทั้ง 2 ข้างซ้อนกัน ดังนั้น ภาพของวัตถุที่ตกบนจุดใด ๆ บน 60 องศาจากจุดศูนย์กลางของลานสายตาจะมองเห็นทั้ง 2 ตา และภาพที่เห็นจากตาทั้งสองจะต้องตกลงบนจุดที่คล้ายคลึงกันของจอตาทั้งสองข้าง จึงทำให้ Visual Cortex แปลผลเป็นภาพเดียวกัน แต่ถ้าไม่เป็นดังกล่าวจะมองเห็นเป็นภาพซ้อน ซึ่งเรียกว่า Diplopic (Double Vision) การมองเห็นด้วยสองตามีความสำคัญในการรับรู้ความลึกหรือระยะห่างทำให้รับรู้ภาพ 3 มิติ ทำให้ลานสายตามีขนาดมากขึ้นกว่าเมื่อมองด้วยตาข้างเดียว ทั้งยังช่วยชดเชยจุดบอดที่เกิดขึ้นในตาแต่ละข้างด้วย การรับรู้ความลึกด้วยการมองสองตา ยังเกิดความห่างกันของตาทั้งสองข้าง ซึ่งอยู่ห่างประมาณ 2 นิ้ว ภาพที่ตกลงบนจอของตาแต่ละข้างจะแตกต่างกัน เพราะตาแต่ละข้างมองวัตถุจากคนละมุม นั่นคือ วัตถุที่อยู่หน้าจมูกห่าง 1 นิ้ว จะเกิดภาพบน Temporal Portion ของจอตาแต่ละข้าง ในขณะที่วัตถุเล็กอยู่หน้าจมูกห่าง 20 ฟุต จะมีภาพตกที่จุดคล้ายคลึงกันในจอตาส่วน Nasal Porion ของตา ซึ่งการรับรู้ความลึกยังเกิดขึ้นได้จากการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุ หรือการโยกศีรษะเคลื่อนตำแหน่งไปซ้ายขวา (Movement Parallax) จะพบว่าภาพที่เห็นมี

การเปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถทราบระยะของวัตถุที่อยู่ใกล้หรือไกลได้ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับประสบการณ์การเรียนรู้ ซึ่งจะช่วยในการรับรู้ถึงความลึก หรือระยะทางได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

5. ลานสายตา (Visual Field) และการเคลื่อนไหวของตา (Eye Movement)

ลานสายตา คือ ขอบเขตของสิ่งแวดล้อมภายนอกทั้งหมดที่สามารถมองเห็นได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของลูกตา ลานสายตาจะกลับหัวที่จอตา คือลานสายตาครึ่งบนจะตกบนครึ่งล่างของจอตา ส่วนลานสายตาครึ่งขวาจะตกบนครึ่งซ้ายของจอตา องค์ประกอบทางกายวิภาคทำให้ขอบเขตการมองเห็นถูกจำกัด คือบริเวณด้านบนโดยคิ้ว ทางด้านล่างโดยโหนกแก้ม ตรงกลางโดยสันจมูก ด้านขมับจะถูกจำกัดโดยทิศทางของตาและความไวของจอตาในส่วนรอบนอก ลานสานตาส่วนน้อยถูกจำกัดโดยโครงสร้างของจอตาเอง คือ การไม่มีตัวรับแสงที่ออฟติคดิส ทำให้จุดบอดอยู่ในลานสายตา แต่ที่เราไม่มีความรู้สึก เนื่องจากลานสายตาอีกข้างมาชดเชยแทน และมีการปรับตัวของ Visual Cortex ดังแสดงในภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-16 ลานสายตา (Visual Field) (Smythies, 1996, p. 373)

การควบคุมการเคลื่อนไหวของลูกตา

การควบคุมให้ลูกตาเคลื่อนที่ไปตามวัตถุที่ต้องการดูนั้น ถูกควบคุมจากซีรีบรัมคอร์เท็กซ์ การเคลื่อนไหวของลูกตาถูกควบคุมโดยกล้ามเนื้อลูกตา (Extra ocular Muscles) จำนวน 3 คู่บนเปลือกตา ได้แก่

1) มีเดียลเรกตัส (MediaRecti) และเลคเทอรัลเรกตัส (Lateral Recti) ทำงานตรงกันข้ามเพื่อเคลื่อนลูกตาตามแนวนอนไปทางจมูก หรือไปทางขมับ

2) สุพีเรียร์เรกตัส (Superior Recti) และอินฟีเรียร์เรกตัส (Inferior Recti) ทำงานตรงข้ามกันเพื่อเลื่อนลูกตาขึ้นหรือลง และมีหน้าที่หมุนลูกตาไปทางจมูก หรือไปทางขมับ

3) สุพีเรียร์เรกตัส (Superior Recti) และอินฟีเรียร์ ออบลีก (Inferior Obliques) ทำงานเพื่อหมุนลูกตาไปทางจมูก หรือออกไปทางขมับ และดึงลูกตาขึ้นลง

ชนิดของการเคลื่อนไหวของตา

1) การเคลื่อนไหวแบบคอนจูเลต (Conjugate) เกิดจากสัญญาณจากระบบประสาทไปที่ตาทั้งสองข้าง ให้เกิดการเคลื่อนไหวพร้อมกันไปในทิศทางเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าจะมองไปทางซ้าย

กล้ามเนื้อเลตเทอรัลเรกตัสของตาซ้ายและ มีเดียลเรกตัสของตาขวาจะต้องหดตัวและกล้ามเนื้อมีเดียลเรกตัสของตาซ้ายเลคเทอรัลเรกตัสจะต้องคลายตัว

2) การเคลื่อนไหวแบบ Fixation เป็นการเลื่อนสายตาไปจ้องมองวัตถุได้อย่างฉับพลัน ควบคุมโดยระบบประสาทสองระบบระบบแรกการกลอกตาไปภายใต้อำนาจของจิต (Voluntary Fixation Mechanism) ถ้าบริเวณนี้ถูกทำลายทั้ง 2 ข้าง ผู้ป่วยจะไม่สามารถถอนสายตาจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งได้ ผู้ป่วยต้องกระพริบตาเสียก่อน หรือใช้มือปิดตาชั่วคราวแล้วจึงเคลื่อนตาไปได้ และระบบที่สองเมื่อพบวัตถุที่ต้องการแล้วจะหยุดตาโดยไม่อยู่ในอำนาจของจิต ซึ่งถ้าถูกทำลายทั้ง 2 ข้าง ผู้ป่วยจะไม่สามารถมองนิ่งอยู่ที่จุดจุดใดจุดหนึ่งที่ต้องการได้

3) การเคลื่อนไหวแบบ Saccadic Conjugate Movement เป็นการเคลื่อนไหวลูกตาไปในแนวทางเดียวกันอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ภาพที่สนใจมาตกที่ศูนย์กลางของจุดรับแสงบนจอประสาทตา เช่น ในขณะขับรถ ขณะหมุนตัว หรือในขณะที่เราอ่านหนังสือจะเกิดการเคลื่อนไหวของลูกตาทางเดียวอย่างรวดเร็วในแต่ละบรรทัดที่เรากำลังอ่าน

4) การเคลื่อนไหวแบบ Persuit เป็นการให้ตาหยุดนิ่งอยู่ที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนไหว เป็นกลไกขั้นสูงของคอร์เท็กซ์ เช่น ถ้าวัตถุเคลื่อนไหวขึ้นลงเป็นคลื่น ๆ ในอัตราเร็วหลาย ๆ ครั้ง ใน 1 วินาที ครั้งแรกตาอาจไม่สามารถจ้องมองได้ แต่หลังจากนั้นประมาณ 2 - 3 วินาที ตาจะสามารถตามแนวทางการเคลื่อนไหวของวัตถุในแบบเดียวกันได้ ซึ่งเป็นการแสดงถึงความสามารถระดับสูงของคอร์เท็กซ์ในการมองแบบอัตโนมัติภายใต้จิตสำนึก

5) การเคลื่อนไหวแบบ Optic Kinetic Nystagmus คือ ยอมให้ตาจ้อง (Fixate) อยู่บนจุดที่ต่อเนื่องกันในภาพที่เคลื่อนไหว เช่น การมองออกไปนอกหน้าต่างรถไฟขณะที่กำลังแล่นอยู่ ตาจะมองจับไปจุดที่ต่อเนื่องกันในภาพที่ผ่านสายตา ตาจะมองนิ่งไปที่วัตถุบางอย่าง และจะเคลื่อนไหวถอยหลังในเวลาเดียวกันกับที่วัตถุเคลื่อนไหวถอยหลัง แต่ถ้าตาเคลื่อนไกลไปข้างหนึ่งจะกระโดดกลับโดยอัตโนมัติ เพื่อที่จะมองไปที่จุดใหม่ซึ่งผ่านมาช้า ๆ ในทิศทางถอยหลัง เช่น การเคลื่อนไหวช้าเพื่อไปในทิศทางหนึ่ง การเคลื่อนไหวในทิศทางตรงกันข้าม

6) การเคลื่อนไหวแบบ Convergence การเคลื่อนไหวชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อภาพที่สนใจอยู่ห่างจากตาใกล้กว่าระยะ 6 เมตร และเคลื่อนเข้ามาเรื่อย ๆ และการเคลื่อนไหวของลูกตาทั้งสองออกจากกัน (Divergence) จะเกิดขึ้นเมื่อภาพที่สนใจกำลังเคลื่อนออกไป

ตอนที่ 4 การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

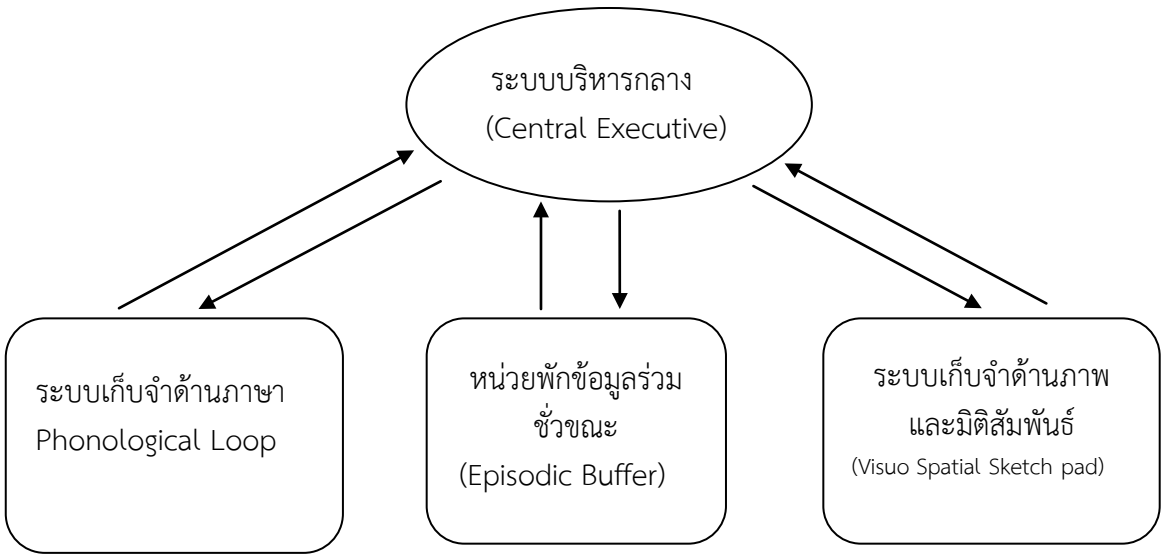
ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความเร็วในการประมวลผล กลยุทธ์ที่ใช้ในการประมวลผล การเก็บรวบรวมข้อมูล และกระบวนการบริหารของสมอง โดยการจินตนาการภาพในสมองและโครงสร้างของความจำขณะทำงานที่สำคัญต่อความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ซึ่งความจำขณะทำงาน (Working Memory: WM) เป็นแนวคิดที่พัฒนาโดย Baddeley’s (2000) ประกอบด้วยหน่วยการทำงานหลัก 4 ส่วน ดังภาพที่ 2-17

ระบบบริหารส่วนกลาง (Central Executive Function) ทำหน้าที่ประมวลข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลเกี่ยวกับเสียงและภาพที่ได้รับจากสิ่งเร้าที่มากระตุ้น รวมทั้งนำข้อมูลจากความจำระยะยาวมาใช้ ทำให้เกิดความตั้งใจในการเลือกกิจกรรมที่จะทำ การจัดการข้อมูลตามคำสั่ง และการเก็บรักษาข้อมูลที่มีการทำงานหลายขั้นตอน ซึ่งเป็นการประมวลผลของสมองขั้นสูง

1. ระบบเก็บจำด้านภาษา (Phonological Loop) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลด้านเสียงของสิ่งเร้าเป็นเสียงพูดหรือเสียงที่คิดในใจ จะเกี่ยวข้องกับการพูดและการได้ยิน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เก็บข้อมูลเสียงชั่วคราว (Phonological Store) สามารถสูญหายได้หากไม่ทวนซ้ำ และส่วนของกระบวนการกระตุ้นข้อมูลให้คงอยู่ (Articulator Loop) ซึ่งการประมวลผลเกี่ยวกับเสียงมีข้อจำกัดโดยการเก็บเสียง จะเก็บเป็นช่วงเวลาที่สั้นไม่เกิน 2 วินาที ส่วนการเก็บข้อมูล จะเก็บได้เพียง 5 – 8 หน่วย (Item) และการประมวลผลเกี่ยวกับเสียงสามารถเก็บได้น้อยลง เมื่อข้อมูลเสียงที่ได้รับมีความคล้ายกัน นอกจากนี้ข้อมูลเสียงที่มีความยาวจะทำให้ความสามารถในการจดจำเสียงลดลงด้วย

2 ระบบเก็บจำด้านภาพและมิติสัมพันธ์ (Visuo-spatial Sketchpad) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลด้านการมองเห็นที่ไม่มีการเคลื่อนไหว ได้แก่ ข้อมูลด้านรูปร่าง สี ขนาดของวัตถุ และมิติสัมพันธ์ซึ่งจะเก็บข้อมูลตำแหน่งของสิ่งเร้า การเคลื่อนไหว ทิศทาง โดยเก็บข้อมูลภาพและมิติสัมพันธ์ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เช่น การจำวัตถุหรือสถานที่ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการสร้างและจัดการภาพในใจ ซึ่งเป็นการเก็บชั่วคราวสามารถเรียกกลับมาใช้งานได้ ส่วนการสลายตัวของภาพเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในไม่กี่วินาที แต่ระบบเก็บจำด้านภาพและมิติสัมพันธ์มีการประมวลผลที่ดีกว่า เนื่องจากเป็นการประมวลผลแบบองค์รวม โดยการจัดเก็บภาพและมิติสัมพันธ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของการประมวลผลของสมองขั้นสูงมากกว่าการจัดเก็บเสียง

3. หน่วยพักข้อมูลร่วมชั่วขณะ (Episodic Buffer) ทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งเป็นการเก็บรักษาข้อมูลที่มีความจุจำกัดไว้ชั่วคราวแล้วเชื่อมโยงกันเป็นเรื่องราว สามารถจัดเก็บข้อมูลชั่วคราวได้จำนวนมาก ซึ่งระบบจะจัดเก็บข้อมูลโดยไม่ต้องอาศัยการจัดเก็บข้อมูลในส่วนการประมวลผลของสมองขั้นสูง หรือการดึงข้อมูลโดยตรงจากความจำระยะยาว (Baddeley, 2002, pp. 86 - 90, Alloway, 2004, pp. 90 – 92, Dehn, 2008, pp. 15 – 19)



ภาพที่ 2-17 Baddeley’s (2000) Working Memory Model. (Dehn, 2008, p.15)

ดังนั้น การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความจำขณะทำงาน (Working Memory: WM) ซึ่งเป็นระบบการเก็บจำด้านภาพและมิติสัมพันธ์ (Visuo-Spatial Sketchpad) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลภาพและมิติสัมพันธ์ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ สามารถเรียกคืนกลับมาใช้งานได้ และระบบเก็บจำด้านภาพและมิติสัมพันธ์ มีการประมวลผลที่ดีกว่า เนื่องจากเป็นการประมวลผลแบบองค์รวมของการประมวลผลของสมองขั้นสูง ซึ่งแนวทางการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีดังนี้

1. การติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Three Dimensional Multiple Object Tracking (3D–MOT)

การติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ เป็นเทคนิคที่ใช้ทดสอบทฤษฎีกระบวนการติดตามภาพ (Theory of Visual Index or FINST) ของ Pylyshyn and Storm (Pylyshyn, 2001, pp. 141 – 144) สร้างจากสมมติฐานที่ว่า กระบวนการจดจ่อต่อสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายนั้น สามารถเกิดขึ้นได้อย่างอิสระ และไม่เกี่ยวกับสิ่งเร้าอื่น โดยการจดจ่อต่อสิ่งเร้าจะมีลักษณะแบบเดียวกัน เมื่อสิ่งเร้านั้นเกิดการเคลื่อนไหว ซึ่งการพัฒนาครั้งแรกได้นำมาทดสอบสมมติฐานในการจดจ่อภาพ โดยการใช้ลำแสงกระตุ้นการจดจ่อต่อสิ่งเร้า เมื่อมีการเปลี่ยนจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง และสามารถแบ่งการจดจ่อต่อสิ่งเร้าได้หลายตัว ซึ่งมีลำดับขั้นในการติดตามวัตถุเคลื่อนที่ (MOT) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจำแนกสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นทำกิจกรรม โดยการเปลี่ยนการจดจ่อต่อสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย หลังจากได้รับการกระตุ้น ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับภาพ ตำแหน่งของสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายทุกตัว จะถูกนำไปลงรหัสและเก็บไว้ในระบบความจำเกี่ยวกับตำแหน่งของสิ่งเร้า

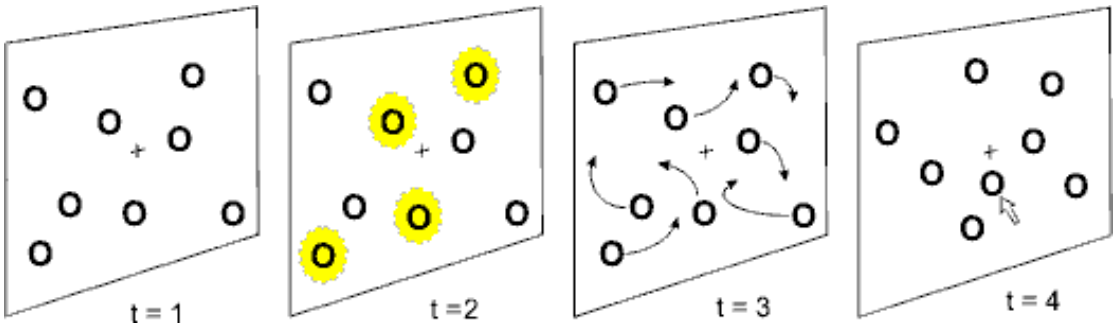
ขั้นตอนที่ 2 การจดจ่อกับสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย เป็นการเรียกคืนข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย เพื่อจะกำหนดลำดับที่ของสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 3 การเปลี่ยนตำแหน่งสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งย้ายไปจากตำแหน่งเดิม การจดจ่อเส้นทางในการเปลี่ยนตำแหน่งสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายก็จะเริ่มต้นขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 การเรียกคืนสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย ขณะมีการเปลี่ยนความสนใจไปยังตำแหน่งใหม่ สิ่งเร้าที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่เลือก จะกลายเป็นสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายแทน

ขั้นตอนที่ 5 ตำแหน่งปัจจุบันของสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย จะถูกลงรหัสและเก็บไว้ในระบบความจำจนกว่าจะเกิดการยอมรับสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายนั้น กิจกรรมการติดตามวัตถุจะเสร็จสิ้นลง

หากจะทำกิจกรรมใหม่ ต้องเริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 - 5 ไปจนกว่ากิจกรรมการติดตามวัตถุจะเสร็จสิ้นลง นอกจากนี้การติดตามวัตถุเคลื่อนที่ (MOT) ยังมีการกำหนดและการติดตามตัวกระตุ้นที่เป็นเป้าหมายและตัวกระตุ้นที่ไม่เป็นเป้าหมายให้เคลื่อนไหวในพื้นที่ว่างที่จำกัดบริเวณไว้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ดังภาพที่ 2-18



ภาพที่ 2-18 การต่อเนื่องของเหตุการณ์ซึ่งเป็นแบบอย่างการทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Sequence of Events in a Typical Multiple Object Tracking (MOT) Experiment) (Pylyshyn, 2007)

จากภาพที่ 2-18 แสดงให้เห็นการทดลองพื้นฐานในภาพแรก (t = 1) มีวัตถุที่เป็นตัวกระตุ้นเหมือนกัน 8 ลูก แล้วแบ่งกลุ่มวัตถุที่เป็นเป้าหมายออกเป็น 4 ลูก โดยมีแสงสว่างเพื่อให้เห็นเด่นชัดภายในระยะเวลาสั้น ดังภาพภาพ t = 2 ต่อจากนั้นแสงสว่างจะหยุดกระพริบ แล้ววัตถุทั้งหมดจะรวมตัวกันแล้วเคลื่อนที่อย่างอิสระ ประมาณ 10 วินาที ตามภาพ t = 3 จากนั้นวัตถุจะหยุดการเคลื่อนไหวทั้งหมด ตามภาพ t = 4 ผู้ทดลองต้องตอบว่า วัตถุที่เป็นเป้าหมายนั้น คือ วัตถุลูกใด

จากการศึกษาการติดตามสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายกับตัวกระตุ้นในขณะที่มีการเคลื่อนไหว ผู้ทดลองสามารถติดตามได้ไม่เกิน 3 ตัว เมื่อมีการเคลื่อนไหวเร็ว และสามารถติดตามได้ไม่เกิน 7 ตัว เมื่อมีการเคลื่อนไหวช้ากว่า ซึ่งผู้ทดลองสามารถทำได้ในระดับการผิดพลาดที่ไม่แตกต่างกัน (Pylyshyn et al., 1994, p. 270) และตัวกระตุ้นเป้าหมายไม่ควรมีจำนวนมากกว่า 4 ตัว เพื่อให้ผู้ทดลองได้ใช้เวลาในการแยกแยะ และติดตามสิ่งเร้าเหล่านั้นโดยใช้เวลาเคลื่อนไหวภายในเวลา 10 วินาที (Pylyshyn, 2001, p. 142) และจากการตรวจสอบการแบ่งการจดจ่อกับตัวกระตุ้นที่มีระดับความลึกที่แตกต่างกัน โดยใช้กระบวนการติดตามหลายภาพของ Viswanathan and Mingolla (2002, p. 1415) แนะนำว่า สิ่งเร้าที่เป็นสีเดียวจะดึงดูดความสนใจได้น้อยกว่าสิ่งเร้าที่มีสองสี และสิ่งเร้าที่มีการเคลื่อนไหวยาก สามารถจำแนกข้อมูลเกี่ยวกับมิติสัมพันธ์ได้ และสิ่งเร้าในรูปแบบของสามมิติ จะจำแนกสิ่งเร้าได้ยากกว่าสิ่งเร้าในรูปแบบของสองมิติ รวมถึง สิ่งเร้าที่มีสีหรือรูปทรงที่มีการเปลี่ยนแปลง ผู้ทดลองมีแนวโน้มที่จะสนใจสิ่งเร้ามากกว่าตัวกระตุ้น (Bahrami, 2003, p. 960) นอกจากนี้ สิ่งเร้าที่มีลักษณะรูปทรงที่แตกต่างกัน ผู้ทดลองไม่สามารถติดตามได้ถึง 4 ตัว เนื่องจากการเคลื่อนไหวของสิ่งเร้าที่มีลักษณะรูปทรงที่แตกต่างกัน มีความซับซ้อนมากกว่าการเคลื่อนไหวของสิ่งเร้าที่มีลักษณะรูปทรงเดียวกัน ตลอดจนผู้ทดลองไม่สามารถกำหนดลักษณะของสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายได้ เมื่อสิ่งเร้าเป้าหมายมีการเคลื่อนไหวเร็วมากขึ้น (Scholl, Pylyshyn, & Feldmam, 2001, p. 159)

2. รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (3-Dimensional Multiple Object Tracking - 3D MOT Brain Training Task)

รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ เป็นรูปแบบที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่เน้นกระบวนการทางปัญญา (Cognitive Training)

ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยศาสตราจารย์ Jocylene Faubert (Chief Technology Officer CogniSens Athletics Inc.) โดยใช้แนวคิดการติดตามวัตถุเคลื่อนที่ (Multiple Object Tracking: MOT) ควบคู่กับเทคโนโลยีภาพสามมิติ (Three Dimensions) และความเสมือนจริง (Virtual Reality) จึงเป็นเทคโนโลยีการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Three-Dimensional Multiple Object Tracking: 3D MOT) โดยรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ เป็นการรวม 4 คุณลักษณะสำคัญของกระบวนการมองเห็น ประกอบด้วย

2.1 การกระจายความสนใจ (Distributing Attention) ไปยังวัตถุหลายสิ่งที่กำลังเคลื่อนไหว โดยเริ่มจากแนวคิดที่ว่าคนเราสามารถมองตามวัตถุหลายสิ่งได้อย่างไร โดยเน้นการศึกษาไปที่นักกีฬาฟุตบอลที่ต้องกระจายความสนใจไปยังลูกบอล เพื่อนร่วมทีม และผู้เล่นจากฝ่ายตรงข้าม จากนั้นพยายามหาวิธีการเพื่อพัฒนาความสามารถในการติดตามวัตถุหลายสิ่งในเวลาเดียวกัน

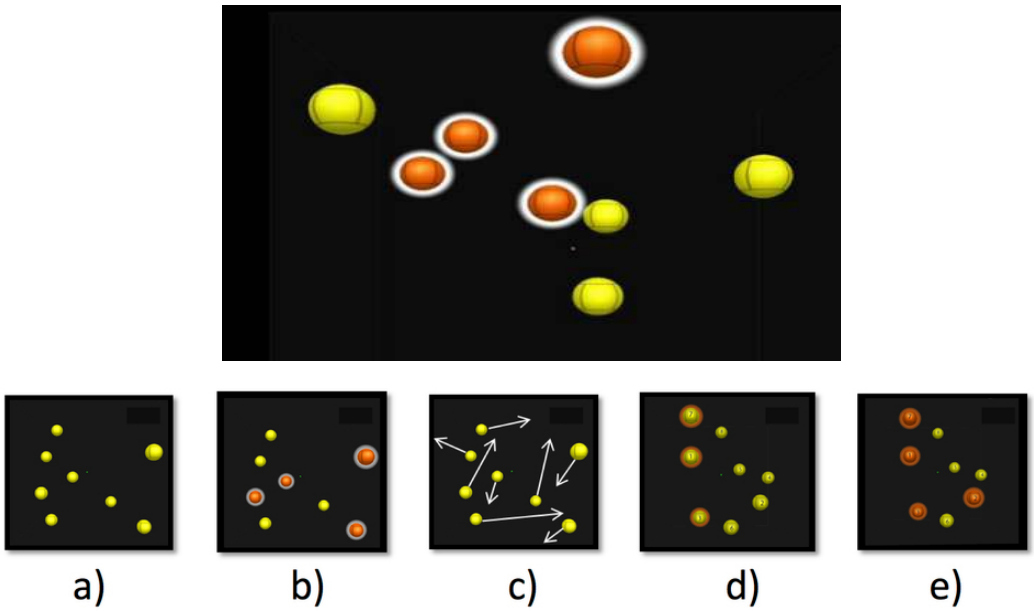
2.2 การมองภาพมุมกว้าง (Large Visual Field) เมื่อนักกีฬาอยู่ในสนามที่ต้องมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา การมองภาพในมุมกว้างจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง ทำให้สามารถส่งหรือรับบอลจากเพื่อนร่วมทีมได้ และสามารถมองหาพื้นที่ที่จะทำให้ทีมของตัวเองได้เปรียบในการทำคะแนนหรือสามารถคาดการณ์ ได้ว่านักกีฬาฝ่ายตรงข้ามจะจัดการป้องกันอย่างไรหรือจะบุกขึ้นมาอย่างไร

2.3 ความจริงเสมือน (3-dimensional: 3D) ใช้การมองตามวัตถุทรงกลมที่เคลื่อนไหวอย่างอิสระ ไม่ว่าจะไปทางซ้าย ทางขวา ไปข้างหน้า หรือย้อนกลับมาด้านหลัง วัตถุทรงกลมทุกชิ้นสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทาง เพื่อให้ผู้ฝึกพัฒนาการติดตามวัตถุ เหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 ความเร็ว (Speed Threshold) คนทั่วไปสามารถติดตามวัตถุทรงกลมเหล่านี้ได้ 4 ชิ้น นักวิจัยโปรแกรมดังกล่าว จึงได้พัฒนาความเร็วของการมองเห็น โดยเพิ่มความเร็วของวัตถุทรงกลมเหล่านั้นเพื่อให้ผู้ฝึกสามารถติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่ได้เร็วยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้นักกีฬาสามารถนำไปปรับใช้ในการมองดูลูกบอลที่เคลื่อนที่ไปมาอย่างรวดเร็วได้ดียิ่งขึ้น

จึงสรุปได้ว่ารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ เป็นการฝึกทักษะเกี่ยวกับการเข้าใจในการรับรู้ ช่วยพัฒนาสมองให้เกิดการจดจำ ซึ่งรูปแบบของกิจกรรมการทดสอบอาศัยคุณสมบัติดึงดูดความสนใจของสมอง โดยสิ่งเร้าเป็นภาพวัตถุทรงกลมหลายสิ่งที่เคลื่อนไหวอย่างอิสระ มีไฟกระพริบ กระตุ้นให้สมองเกิดความตื่นตัว (Alert) ซึ่งเป็นกลไกการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสนใจ และเป็นปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้เกิดการเลือกความสนใจ โดยการใช้ความตั้งใจควบคุมความสนใจไปยังสิ่งเร้า ปัจจัยที่เป็นตัวกระตุ้นการเลือกความสนใจประกอบด้วย กลไกภายนอกหรือล่างขึ้นบน เป็นความสนใจที่มีลักษณะเป็นไปโดยอัตโนมัติ และกลไกภายในหรือบนลงล่าง เป็นการใช้ความตั้งใจควบคุมความสนใจไปยังสิ่งกระตุ้น ซึ่งทั้งสองกลไกมีการทำงานร่วมกัน โดยที่สมองมีแนวโน้มที่จะสนใจต่อข้อมูลที่มีลักษณะความแปลกใหม่ (Novelty) นำมาซึ่งความตื่นเต้น เร้าใจ ความเข้มข้นของสิ่งเร้า เช่น สีตัดกัน ความเคลื่อนไหว การเคลื่อนที่และความเร็ว เพื่อให้สมองเกิดความตื่นตัว ซึ่งระยะเวลาความสนใจของมนุษย์จะเป็นช่วงสั้น ๆ หากเป็นความสนใจแบบเพ่งความสนใจ (Focused Attention) จะเป็นการตอบสนองต่อช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 8 วินาที ส่วนความสนใจต่อเนื่อง (Sustained Attention) เป็นระดับความสนใจที่คงที่ต่อกิจกรรมเป็นเวลานานขึ้น มีระยะเวลาสูงสุดประมาณ 20 นาที (Dukette & Cornish, 2009, pp. 72 - 73) และหากความสนใจดังกล่าวทำงานไปพร้อมกันตลอดเวลา จะทำให้สามารถเลือกสิ่งสำคัญและให้ความ

สนใจต่อสิ่งนั้นได้นานขึ้น ในทางทฤษฎีการมีทักษะความสนใจที่บกพร่องจะนำไปสู่การบกพร่องเกี่ยวกับการรับรู้ได้ (Combs & Gouvier, 2004, pp. 727 - 738.)



ภาพที่ 2-19 กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Faubert, 2012)

จากภาพที่ 2-19 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ด้วยการจำวัตถุทรงกลมหลายลูกที่มีการเคลื่อนไหวอย่างอิสระ ผ่านหน้าจอภาพขนาด 65 นิ้ว ด้วยการสวมแว่นตา 3 มิติ โดยกิจกรรมเริ่มต้นจากวัตถุทรงกลมคือลูกบอลสีเหลือง จำนวน 8 ลูก โดยแต่ละลูกจะมีหมายเลขกำกับไว้ คือ 1 ถึง 8 จะกระจายอยู่ที่หน้าจอภาพ (ภาพที่ 2-19 a) จากนั้นลูกบอลสีเหลือง จะมีไฟกระพริบเป็นสีแดง ซึ่งเป็นเป้าหมายที่จะให้ผู้เล่นติดตาม รวม 4 หมายเลข หรือ 4 ลูก ในช่วงเวลาสั้น ๆ (ภาพที่ 2-19 b) ต่อจากนั้นลูกบอลเป้าหมายทั้ง 4 หมายเลข จะกลายเป็นสีเหลืองเหมือนเดิม รวม 8 ลูก ระหว่างนั้นจะมีการเคลื่อนที่เข้าไปปะปนรวมกันและเปลี่ยนทิศทางสลับไปมาระหว่างกัน ประมาณ 8 วินาที (ภาพที่ 2-19 c) จากนั้นลูกบอลสีเหลือง ทั้ง 8 ลูก ก็จะหยุดนิ่งลง ผู้รับการทดสอบจะต้องตอบว่าลูกบอลที่จำในตอนแรกจำนวน 4 ลูกนั้น ว่าอยู่ ณ ตำแหน่งใดตามหมายเลข 1 ถึง 8 หลังจากตอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะมีการเฉลยคำตอบตำแหน่งที่ถูกต้องออกมา (ภาพที่ 2-19 d) ซึ่งความเร็วเริ่มต้นของผู้รับการทดสอบแต่ละคนจะถูกกำหนดตามโปรแกรมโดยอัตโนมัติ หากผู้รับการทดสอบตอบถูกทั้ง 4 ตำแหน่ง การทดลองครั้งต่อไปจะเพิ่มความเร็วขึ้นโดยอัตโนมัติ และในทางตรงกันข้ามหากผู้รับการทดสอบตอบถูก แต่ไม่ครบ 4 ตำแหน่ง การทดลองครั้งต่อไปความเร็วก็จะช้าลง ซึ่งผู้รับการทดสอบจะต้องทำการทดสอบซ้ำ ๆ เช่นนี้ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนครบ 20 ครั้ง จึงจะนับเป็น 1 เกม โดย 1 เกม จะใช้เวลาประมาณ 6 นาที ไม่รวมระยะเวลาตอบและเวลาเฉลยคำตอบ

กระบวนการความสนใจ (Attention Process) มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเรียนรู้ของมนุษย์ การให้ความสนใจต่อสิ่งเร้าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัด การคัดแยกและการจัดการต่อสิ่งเร้า ดังนั้นกระบวนการดังกล่าวจะต้องมีการคัดกรองการไหลผ่านของข้อมูลเข้าสู่ระบบประสาท

รับความรู้สึก โดยจะเพิ่มประสิทธิภาพการไหลของข้อมูลที่มีความสำคัญ ขณะเดียวกันก็จะกำจัดข้อมูลหรือลดการไหลของข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง หรือข้อมูลไม่มีความสนใจเข้าสู่ระบบประสาทรับความรู้สึกในสมอง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับเป้าหมาย และการทำงานของสมองในส่วนพรีฟรอนทัลคอร์เท็กซ์ (Prefrontal Cortex) (Taylor & Fragoponagos, 2005, pp. 353 - 369) กระบวนการความสนใจจึงเป็นหนึ่งในขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของการรับรู้หรือการรู้คิดของกระบวนการทางสมองขั้นสูง เป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนของสมอง กระบวนการความสนใจจึงเกิดขึ้นได้อย่างอิสระและมีความเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับการรับรู้ความรู้สึก จนเกิดการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมขึ้นที่สมองและมีความคงสภาพ ระดับความสนใจขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่มากระตุ้นหรือสิ่งเร้าที่แตกต่างกันไป (Pratchaya, 2012) นอกจากนี้ ระดับความสนใจต่อสิ่งเร้ายังอยู่ภายใต้อิทธิพลของอารมณ์ด้วย เช่น ความเครียด (Stress) ที่เป็นอารมณ์เชิงลบหรือการเสริมแรงเชิงลบ (Negative Reinforcement) ระดับความสนใจต่อสิ่งเร้าก็จะลดลง ในทางตรงกันข้ามหากมีแรงจูงใจ โดยการให้รางวัล (Reward) หรือการเสริมแรงเชิงบวก (Positive Reinforcement) ระดับความสนใจต่อสิ่งเร้านั้นก็จะเพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันเชื่อว่าการให้ความสนใจต่อสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายนั้น จะทำให้เกิดการคัดหลั่งของสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) กลุ่มอะเซทีลโคลีน (Acetylcholine: Ach) จากชั้นของเปลือกสมองใหญ่ หรือ Cerebral Cortex นอกจากนี้ยังเชื่อว่าระบบประสาทนี้ จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับแรงจูงใจ (Motivation System) และการให้ความสนใจต่อสิ่งเร้า โดยเฉพาะการเลือกให้ความสนใจต่อสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย (Selective Attention) นั้นจะเป็นการทำงานของสมอง Prefrontal Cortex และ Cingulate Gyrus (Sarter & Lustig, 2009, p. 36) แต่การให้ความสนใจที่เกี่ยวข้องกับทิศทางนั้นจะเกี่ยวข้องกับสมองพาไรทัลโลบ (Parietal Lope) Thalamus และบางส่วนของสมองส่วนกลาง (Sternberg, 2009, pp. 51 - 52) ส่วนการคงช่วงความสนใจ (Sustained Attention) นั้นจะเกี่ยวข้องกับสมอง Frontal และ Parietal Region ของสมองซีกขวา (Himmelheber et al., 1998, pp. 945 - 957) รวมถึงมีการศึกษาวิจัยประโยชน์ของกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ เพื่อการฟื้นฟูความบกพร่องที่เกิดจากการมองวัตถุที่ลดลง (Recognized Impairments) (Brosseau-Lachaine, Gagnon, Forget & Faubert, 2008, pp. 657 - 668) ดังนั้นการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ดียิ่งขึ้น

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ

Neubauer, Bergner, and Schatz (2010) ได้ศึกษาอิทธิพลของเพศและการฝึกที่มีต่อจินตภาพการหมุน (Mental Rotation) และการกระตุ้นของสมอง (Brain Activation) โดยการเปรียบเทียบระหว่างกิจกรรมทดสอบบนจอภาพ 2 มิติ และ 3 มิติ กับกลุ่มตัวอย่างที่ถนัดมือขวา จำนวน 77 คน เพศชาย จำนวน 38 คน เพศหญิง จำนวน 39 คน มีอายุเฉลี่ย 15 ปี ในการทดสอบความสามารถเชิงจินตนาการภาพการหมุนก่อนและหลังฝึก ผู้วิจัยใช้แบบทดสอบสติปัญญา Intelligent Structured Analysis ที่พัฒนาจากโมเดลสติปัญญาของ Thurstone ขณะทำกิจกรรมทดสอบความสามารถเชิงจินตนาการภาพการหมุนทั้งสองชนิด พร้อมกับวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง รูปแบบของแบบทดสอบบนหน้าจอ 2 มิติ และ 3 มิติ ประกอบด้วย 5 กิจกรรม เป็นแบบทดสอบที่ใช้ภาพกระตุ้น ข้อแตกต่าง คือ การแสดงผลบนหน้าจอ 2 มิติ และ 3 มิติ เริ่มกิจกรรมด้วยเครื่องหมายบวก

ใช้เวลา 3000 มิลลิวินาที ต่อด้วยภาพตัวกระตุ้นที่แสดงในเวลา 8000 มิลลิวินาที ตอบคำถามโดยกดปุ่ม YES กับ NO ตอบ YES เมื่อภาพตัวกระตุ้นเป็นภาพเดียวกัน และตอบ NO เมื่อภาพตัวกระตุ้นไม่ใช่ภาพเดียวกัน ขณะฝึกต้องเล่นกิจกรรม 7 ชนิด เป็นเวลา 14 วัน แต่ละกิจกรรมประกอบด้วย Cube Task, Brick Task และเกม Tetris แตกต่างกันตรงความยากของกิจกรรม การวิเคราะห์ข้อมูลของคลื่นไฟฟ้าสมอง ใช้เทคนิค ERD (Event–related Desynchronization Approach) ของคลื่น Alpha ผลการวิจัย ความแม่นยำในการตอบแบบทดสอบ ปรากฏว่า เพศชายมีคะแนนจากการทำแบบทดสอบความสามารถเชิงจินตนาการภาพการหมุนในรูปแบบ 2 มิติ สูงกว่าเพศหญิง แต่ไม่สามารถจำแนกได้ว่าเพศชายมีคะแนนความสามารถเชิงจินตนาการภาพการหมุนในรูปแบบ 3 มิติ สูงกว่าเพศหญิง อย่างไรก็ตาม คะแนนของทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้น โดยเพศหญิงได้รับอิทธิพลการฝึกมากกว่าเพศชายเวลาในการทำแบบทดสอบ กลุ่มทดลองทำแบบทดสอบหลังฝึกกิจกรรมใช้เวลาน้อยก่อนฝึก กลุ่มทดลองใช้เวลาการทำกิจกรรมการหมุนในรูปแบบ 3 มิติ น้อยกว่าการทำกิจกรรมการหมุนในรูปแบบ 2 มิติ และพบว่าเพศชายหลังการฝึกมีการกระตุ้นสมองน้อยกว่าก่อนการฝึก

Gentile, Swing, Lim and Khoo (2012) ได้ศึกษาอิทธิพลของการเล่นโทรศัพท์และการเล่นวีดีโอเกมที่มีต่อการพัฒนาของสมองเกี่ยวกับกระบวนการความสนใจ กลุ่มตัวอย่างเป็นวัยรุ่นตอนปลายและผู้ใหญ่ตอนต้น จำนวน 1323 คน ใช้เวลา 13 เดือน ปรากฏว่า การดูโทรทัศน์และการเล่นวีดีโอเกม มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการความสนใจเพิ่มขึ้น เครื่องมือในการวิจัยเป็นแบบประเมินครูผู้สอนและประเมินตนเอง ผลการวิจัย วีดีโอเกมที่มีเนื้อหาที่รุนแรงมีผลกระทบในเรื่องความสนใจและความหุนหันพลันแล่น สิ่งสำคัญ คือ เวลาที่ใช้เล่นวีดีโอเกมเป็นตัวทำนายความสอดคล้อง

Legault and Faubert (2012) ได้ศึกษาการพัฒนาการรับรู้ทางการเคลื่อนไหว ศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองต่อการติดตามวัตถุเคลื่อนไหวอย่างอิสระแบบสามมิติในสภาพแวดล้อมของความจริงเสมือน กลุ่มตัวอย่าง เป็นผู้สูงอายุที่มีอายุระหว่าง 64 - 73 ปี จำนวน 41 คน มีสายตาปกติ ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มผู้สูงอายุที่ฝึก 5 สัปดาห์ มีคะแนนการติดตามวัตถุสูงกว่ากลุ่มผู้สูงอายุที่ไม่ได้ฝึก นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มผู้สูงอายุที่ได้ฝึกสามารถพัฒนาการรับรู้การเคลื่อนไหวทางชีวภาพได้ดีกว่ากลุ่มผู้สูงอายุที่ไม่ได้ฝึกด้วยเช่นกัน และในปีเดียวกันได้ศึกษาการพัฒนาการรับรู้การเคลื่อนไหวของร่างกายในผู้สูงอายุ โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มที่ฝึกด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ 2) กลุ่มฝึกโดยการมองภาพการเคลื่อนไหวของส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และ 3) กลุ่มที่ไม่ได้ฝึก และหลังจากทำการฝึกเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าผู้สูงอายุในสองกลุ่มแรกมีการรับรู้การเคลื่อนไหวทางร่างกายที่ระยะทาง 4 เมตร และ 16 เมตร ไม่แตกต่างกัน รวมถึงการศึกษาความสามารถในการมองภาพการเคลื่อนไหว โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มนักกีฬาชั้นเลิศ 2) กลุ่มนักกีฬาปกติ และ 3) กลุ่มนักศึกษามหาวิทยาลัย ด้วยโปรแกรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มนักกีฬาชั้นเลิศ มีความสามารถในการมีการตอบสนองต่อความเร็วดีขึ้น (Faubert, 2013) การมองภาพของสิ่งที่เคลื่อนไหวได้ดีกว่ากลุ่มนักกีฬาปกติ และกลุ่มนักศึกษามหาวิทยาลัย

Boon, Theeures, and Belopolsky (2013) ได้ศึกษาการเก็บข้อมูลไว้ในความจำขณะทำงาน (Working Memory) กลุ่มตัวอย่าง มีอายุระหว่าง 18 - 28 ปี รวม 25 คน ด้วยโปรแกรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ผลปรากฏว่า ทันทีที่วัตถุหยุดการเคลื่อนไหวเส้นทางการมองเห็นจะเสื่อมลง ทำให้ความจำขณะทำงานเข้าไปแทนที่หลังจากวัตถุหยุดการเคลื่อนไหว 200 มิลลิวินาที

สรุปได้ว่า กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สามารถช่วยพัฒนาความสามารถในการตอบสนองต่อความเร็วได้ดีขึ้น จึงช่วยเพิ่มความจำขณะทำงาน ซึ่งความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นหนึ่งในองค์ประกอบของความจำขณะทำงาน ดังนั้นการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมองจึงช่วยเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้

ตอนที่ 5 การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. คลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG)

คลื่นไฟฟ้าสมอง คือ ผลรวมของศักย์ไฟฟ้านอกเซลล์ของกลุ่มนิวรอนในสมองที่อยู่ใต้บริเวณอิเล็กโทรด (ขั้วไฟฟ้า) สัญญาณที่บันทึกได้คือสัญญาณเดียวกับของ Electrocorticogram (ECoG) เพียงแต่ EEG มีขนาดเล็กกว่าและมีความถี่ต่ำกว่า เนื่องจากบันทึกไกลจากแหล่งกำเนิดผ่านชั้นกะโหลกศีรษะและหนังศีรษะ ค่าที่บันทึกเป็นผลรวมการทำงานของกลุ่มนิวรอนการวางขั้วไฟฟ้าจะวางเป็นคู่ที่บริเวณ Frontal, Parietal, Occipital และ Temporal lobe ทั้งสองซีกสมอง ความถี่ที่บันทึกได้จะเปลี่ยนแปลงในช่วง 1 - 50 Hz (ปกติ 1 - 30 Hz) มีความสูงคลื่นขนาด 10-100 μVโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 10 - 50 μV แม้ว่าความถี่ค่อนข้างซับซ้อนและขนาดเปลี่ยนแปลงมากในเวลาช่วงสั้น ๆ (สุพรพิมพ์ เจียสกุล และคณะ, 2548)

คลื่นไฟฟ้าสมองเกิดจากการส่งถ่ายสารเคมี (โซเดียมและโพแทสเซียม) ระหว่างเซลล์ประสาทขณะที่สมองทำงานจากเครือข่ายเซลล์ประสาทในสมองที่มีมากกว่าพันล้านเซลล์คลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้เกิดจากศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน (Action Potential) ของเยื่อหุ้มเซลล์ การที่ผิวด้านในของเซลล์และด้านนอกของเยื้อหุ้มเซลล์มีความเป็นประจุบวก (Captions) และประจุลบ (Anions) ไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า (Action Potential) โดยผิวด้านในจะมีประจุลบอยู่มากกว่าผิวภายนอกเซลล์เสมอ เมื่อเซลล์อยู่ในภาวะปกติความต่างศักย์ของเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดจากคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีคุณสมบัติของการเลือกผ่าน (Permeability) ทำให้สารชนิดหนึ่งชนิดใดสามารถแพร่ผ่าน (Diffusion) เข้าไปในเซลล์ได้ดีกว่าอีกชนิดหนึ่ง ก่อให้เกิดการกระตุ้นหรือการยับยั้งของเซลล์ประสาทที่อยู่บริเวณผิวนอกของสมอง คลื่นไฟฟ้าสมองที่สามารถวัดได้จากบริเวณผิวนอกของสมองผ่านขั้วไฟฟ้าจะมีระดับประจุไฟฟ้าที่ไมโครแอมแปร์ (μA)

2. การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG Signal Recorder)

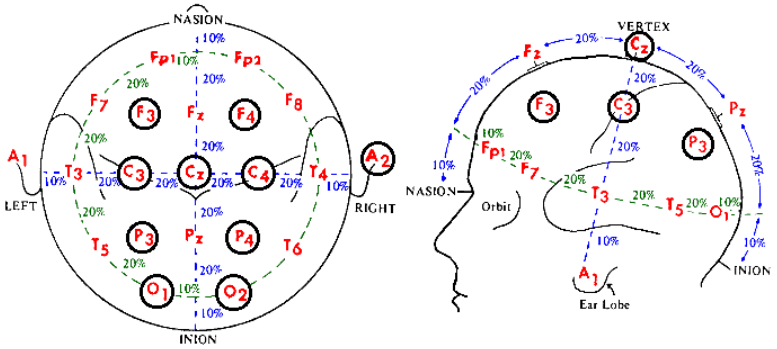
การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง สามารถบันทึกจากหนังศีรษะหลายๆ จุดได้พร้อม ๆ กัน ขั้วไฟฟ้าที่ใช้มักเป็น Silver - Silver Chloride Disks ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร วางติดกับหนังศีรษะตามมาตรฐานสากลระบบวางขั้วไฟฟ้า 10-20 Electrode Placement System โดยแบ่งตามตำแหน่งศีรษะ เช่น Frontal Pole (FP), Frontal (F), Central (C), Parietal (P), Temporal (T) และ Occipital (O) การตรวจไฟฟ้าสมองแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ดังนี้

2.1 การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองขณะพัก (Resting EEG Recording) เป็นการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะพักโดยไม่มีการให้สิ่งกระตุ้น เพื่อดูการทำงานของสมองในขณะนั้น

2.2 การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิด (Evoked Potentials: EP) เป็นการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่มีการให้สิ่งกระตุ้นซ้ำ ๆ เป็นการประเมินการทำงานของสมองในภาพรวม เช่น การกระตุ้นด้วยแสง (Visual Evoked Potentials: VEP) การกระตุ้นด้วยเสียง (Auditory Evoked Potentials: AEP) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สอดคล้องกับสิ่งกระตุ้นเท่านั้น

2.3 การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองอีอาร์พี (Ever Related Potentials: ERP) เป็นการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่ให้สิ่งกระตุ้นซ้ำ ๆด้วยเช่นกัน เช่นการตอบสนองต่อภาพหรือการตอบสนองต่ออักษร แต่สิ่งกระตุ้นที่ใช้ในการตรวจคลื่นไฟฟ้าชนิดนี้ต้องอาศัยกระบวนการทางสติปัญญาตอบสนอง สัญญาณไฟฟ้าสมองเป็นสัญญาณดิจิตอลและบันทึกสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือทางไฟฟ้า (EEG Signal Recorder) ซึ่งมีหน้าที่ขยายและแปลงข้อมูล การนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ (Quantitative EEG, qEEG) ผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ Fast Fourier Transform (FFT) ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปตัวเลขดิจิตอลที่ได้จากการสุ่มด้วยความถี่ที่คงที่ (Sampling Frequency) ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของอนุกรมเวลาแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time-Series Data) โดยทั่วไปจะใช้ความถี่ในการสุ่มมากกว่า 250 Hz เพื่อให้ได้ความละเอียดเพียงพอต่อการนำไปแปลผล โดยที่แกนนอนคือเวลา (มีหน่วยเป็นวินาที) และแกนตั้งคือระดับศักย์ไฟฟ้า (มีหน่วยเป็นไมโครโวลต์) การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองจะทำการบันทึกตั้งแต่เริ่มปรากฏสิ่งกระตุ้นจนถึงเวลาที่ผู้ถูกทดสอบตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น ได้แก่ ความสูง (Amplitude) และความกว้าง (Latency) ของคลื่น การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองมี 2 โดเมน ได้แก่ โดเมนเวลา (Time Domain) และโดเมนความถี่ (Frequency Domain) คลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะที่แตกต่างกัน เช่น ขณะตื่น หลับตา หรือกำลังพักผ่อน มีทั้งคลื่นบวก (+) ใช้สัญลักษณ์เป็น P (Positive) และคลื่นลบ (-) ใช้สัญลักษณ์เป็น N (Negative)

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิด (Evoked Potentials: EP) เป็นการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่มีการให้สิ่งกระตุ้นซ้ำ ๆ เป็นการประเมินการทำงานของสมองในภาพรวม เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สอดคล้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์



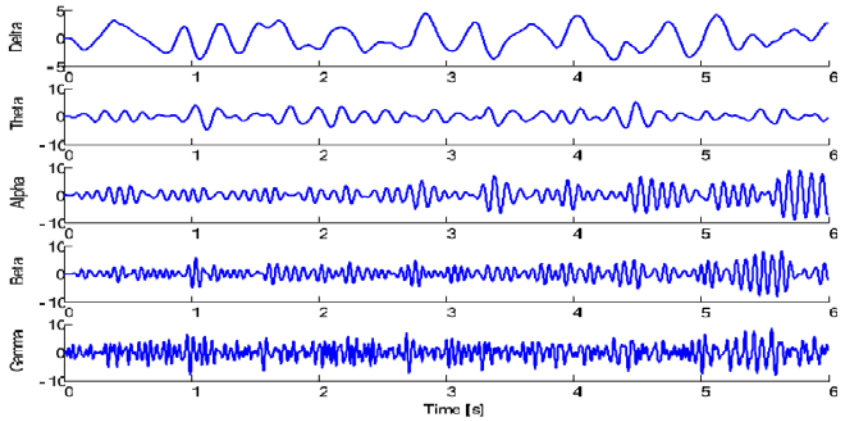
ก. ด้านบนของศีรษะ ข. ด้านซ้ายของศีรษะ

ภาพที่ 2-20 ตำแหน่งการวางขั้วไฟฟ้าตามมาตรฐานสากล ระบบ 10 - 20

3. ความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง

ความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมองแบ่งออกเป็น 5 ระดับ มีชื่อเรียกตามความถี่ของคลื่นโดยเรียงลำดับตั้งแต่ความถี่ต่ำไปยังความถี่สูง ได้แก่ Delta Theta Alpha Beta และ Gamma (Sanel & Chamber, 2007) ซึ่งความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ใช้ทดสอบ เช่น P300 เป็นคลื่นที่นิยมใช้เป็นดัชนีในการศึกษากระบวนการทางสมองมีค่าเป็นบวก ปรากฏในช่วงเวลา 250 -

600 มิลลิวินาที ดังภาพที่ 2- 20 โดยที่ความกว้างของคลื่นเป็นดัชนีที่แสดงถึงเวลาที่ใช้ในกระบวนการทางปัญญา (Cognitive) ส่วนความสูงของคลื่นแสดงถึงผลรวมของศักย์ไฟฟ้าหลังจุดประสานประสาท (Post Synaptic Potential) ดังนั้นกิจกรรมที่ต้องอาศัยความใส่ใจและกิจกรรมที่มีความซับซ้อนจะมีการทำงานของเซลล์ประสาทมาก



ภาพที่ 2-21 คลื่นไฟฟ้าสมองในแต่ละช่วงความถี่ (Kotchoubery, 2006, pp. 42 - 44)

4. การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมอง

การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Even-Related Potential: ERP) เป็นการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรม โดยกำหนดช่วงระยะเวลาสั้น ๆ การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยวิธีนี้ สามารถศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นในสมองกับพฤติกรรมที่ต้องการศึกษา (Kotchoubey, 2006, p. 42) การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ มี 2 ลักษณะ คือ ศักย์ไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่เกิดจากเซลล์ประสาททำงานพร้อมกัน (Even-Related Synchronization: ERS) และศักย์ไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่เกิดจากเซลล์ทำงานไม่พร้อมกัน (Even-Related Desynchronization: ERD) (Pfurtscheeler & Silva, 1999, p. 1842) การประเมินผลการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองนั้นทำได้โดยการพิจารณาความสูง (Amplitude) และความกว้าง (Latency) ซึ่งในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ด้วยแกนความถี่ (Frequency Domain Analysis) โดยนำคลื่นไฟฟ้าสมองมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (Relative Power: RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง และการกระจายตัวของคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคลื่นไฟฟ้าสมอง

Arce et al. (1995) ได้ศึกษาผลของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และเพศที่มีต่อพลังงานสัมพัทธ์ ศึกษาด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) วัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำด้วยแบบทดสอบ และวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะลืมตาและหลับตา ทำการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองแบบ Absolute Power (AP) และ Relative Power (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง 5 คลื่น ในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาอายุระหว่าง 17 - 21 ปี ผลปรากฏว่า กลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง คลื่นความถี่ Alpha 1 มีพลังงานสัมพัทธ์ Relative Power (RP) ต่ำกว่ากลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ และผู้หญิงมีค่า

พลังงานเฉลี่ย Absolute Power (AP) ของช่วงความถี่ Beta 1 และ Beta 2 สูงกว่า ซึ่งแสดงว่าผู้หญิงมีความเครียดมากกว่าผู้ชาย

Corsi-Cabrera et al. (1997) ได้เปรียบเทียบผลของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้านเพศกับความสัมพันธ์ระหว่างสมองสองซีก และระหว่างสมองแต่ละซีก วัดด้วยกิจกรรมคลื่นไฟฟ้าสมองศึกษากับเพศชาย จำนวน 10 คน และเพศหญิง จำนวน 10 คน อายุระหว่าง 17 - 20 ปี ที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง การศึกษาความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยระหว่างสมองสองซีกกับสมองแต่ละซีกด้วยสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ (Pearson Product Moment Coefficients) ใน 5 ช่วงความถี่คลื่นหลังจากกรองสัญญาด้วย FFT ประกอบด้วย Theta (3.66 - 7.32 Hz), Alpha 1 (7.57 - 9.52 Hz), Alpha 2 (9.77 - 12.45 Hz) Beta 1 (12.70 - 17.58 Hz) และ Beta 2 (17.83 - 25.15 Hz) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของช่วงความถี่คลื่นระหว่างเพศชายกับเพศหญิง และระหว่างกลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกับกลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ผลความแตกต่างระหว่างเพศ พบว่า คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ในขณะหลับตา เปรียบเทียบตำแหน่งขั้วไฟฟ้าระหว่าง C3 กับ C4 พบว่า เพศหญิงสูงกว่าเพศชาย ในขณะที่เพศชายมีคลื่นไฟฟ้าสมอง Beta) และ Beta 2 ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าระหว่าง F3 กับ C4 ขณะลืมตาเพศชายมีคลื่นไฟฟ้าสมองสูงทุกคลื่น สำหรับผลความแตกต่างระหว่างความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ พบว่า กลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 บริเวณสมองส่วนหน้าทั้งซีกซ้ายและซีกขวากับการลืมตาและการหลับตา สูงกว่ากลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

Vitouch et al. (1997) ได้ศึกษาการทำงานของสมองของผู้มีความสามารถทางด้านมิติสัมพันธ์สูงกับผู้มีความสามารถทางด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ ในขณะทำกิจกรรมด้านมิติสัมพันธ์กับกิจกรรมด้านภาษา ด้วย Slow Potential Topography จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 26 คน อายุระหว่าง 20 - 30 ปี เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกับกลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ ศึกษาด้วย DC-Recoded ผลการสร้างภาพความต่างศักย์ไฟฟ้า พบว่า ภาพสามารถแสดงความแตกต่างได้อย่างชัดเจนทั้งในการวัดด้วยเครื่องมือที่เป็นด้านมิติสัมพันธ์และด้านภาษา และพบว่ามีศักย์ไฟฟ้าทางลบสูงสุดในสมองส่วนบริเวณตรงกลางทางด้านหน้าซีกซ้าย ในแบบวัดเงื่อนไขด้านภาษา (Left Fronto-Central Region) ส่วนแบบวัดเงื่อนไขทางด้านมิติสัมพันธ์ พบว่ามีการทำงานของสมองบริเวณท้ายทอยและบริเวณกระหม่อม (Occipital - Parietal Region) ในกรณีของกลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำจะพบว่ามี Amplitude สูงในสมองซีกขวาบริเวณ Occipital - Parietal Region ขณะที่กลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง พบว่าการทำงานของสมองค่อนข้างสมมาตรในบริเวณ Occipital และบริเวณ Occipital - Parietal Region ซึ่งการค้นพบดังกล่าวแสดงถึงความสำคัญของสมองบริเวณส่วนท้ายทอย

Bhattacharya and Petsche (2002) ได้ศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองระหว่างการรับรู้ด้วยการมองดูรูปวาด กับการจินตนาการรูปวาด โดยเปรียบเทียบความแตกต่างในการทำหน้าที่และพื้นที่บริเวณการกระตุ้นของสมองระหว่างอาสาสมัครเพศหญิง จำนวน 20 คน กลุ่มที่เป็นศิลปิน จำนวน 10 คน อายุเฉลี่ย 44.3 ปี กำลังศึกษาระดับปริญญาโทจากสถาบันวิจิตรศิลป์กรุงเวียนนา และกลุ่มที่ไม่ใช่ศิลปิน จำนวน 10 คน อายุเฉลี่ย 37.5 ปี โดยไม่ได้รับการฝึกอบรมในศิลปกรรมใด ๆ บันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง 19 ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าตามมาตรฐานระดับสากล ด้วยความถี่ที่ 128 Hz และ

12 bitA/D; สัญญาณเฉลี่ยของ Ear lobes ทั้งสองถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง โดยอาสาสมัครทำกิจกรรมหลัก 2 กิจกรรม คือ การมองดูรูปวาดที่เป็นภาพนิ่งฉายลงบนผนังสีขาว และการจินตนาการรูปวาดแต่ละภาพ ผลการวิจัยปรากฏว่า งานศิลปะเป็นความถนัดทางสมองซีกขวา ในขณะมองดูรูปวาดเกิดการกระตุ้นของระบบประสาทของคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta และ Gamma ซึ่งเป็นช่วงคลื่นความถี่สูง และขณะจินตนาการรูปวาดเกิดการกระตุ้นของระบบประสาทของคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงคลื่น Delta ส่วนช่วงคลื่นความถี่ไฟฟ้าสมอง Alpha ลดลง และพบว่ามีการกระตุ้นของคลื่นไฟฟ้าสมองในสมองซีกขวาสูงกว่าในสมองซีกซ้าย ทั้งนี้คลื่นไฟฟ้าสมองเกิดจากการกระตุ้นในช่วงความถี่สูง ซึ่งเป็นความสามารถในการเชื่อมโยงของเซลล์ประสาทบริเวณที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับภาพ

Farber and Sinitsyn (2009) ได้ศึกษาการทำหน้าที่ขององค์ประกอบของความจำขณะทำงานในเด็กอายุ 7 ถึง 8 ขวบ ด้วยการวิเคราะห์สัญญาณต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของความจำขณะทำงานกับกิจกรรมที่ใช้กระตุ้น 2 กิจกรรม ได้แก่ Short-term Traces of Visuo-spatial และตัวอักษร เปรียบเทียบที่เวลา 1500 มิลลิวินาที เพื่อดูความแตกต่างของระดับ (Degree) และหมวด (Mode) เพื่อเชื่อมโยงกับพื้นที่บริเวณผิวสมอง และความกว้างกับสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง ผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมมิติสัมพันธ์ (Visuospatial) มีคลื่นไฟฟ้าสมองสูงขึ้นที่ N200 ในตำแหน่งขั้ววัดสัญญาณที่ O_1 O_2 T_5 T_6 P_3 และ P_4 ส่วนกิจกรรมที่เป็นตัวอักษรมีคลื่นไฟฟ้าสมองเพิ่มขึ้นที่ N200 ในตำแหน่งขั้ววัดสัญญาณที่ F_3 F_4 F_7 F_8 C_3 C_4 P_3 P_4 T_3 และ T_4 รวมถึงมีคลื่นไฟฟ้าสมองเพิ่มขึ้นที่ P150 และ P300 ในตำแหน่งของสมองบริเวณ Occipital และ Temporo–Parieto-Occipital และมีการตอบสนองในทางบวกที่ช่วงเวลา 300 – 600 มิลลิวินาที

Moradi et al. (2011) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback กรณีศึกษาในผู้ป่วย 2 คน คนแรกเป็นชาย อายุ 28 ปี ทำงานในโรงกลั่นน้ำมัน ปัจจุบันเขามีความวิตกกังวลพฤติกรรมก้าวร้าวหวาดกลัว มีความมั่นใจในตนเองต่ำ โดยผู้ป่วยที่รายงานว่า มีอาการวิตกกังวลในลักษณะเช่นนี้มาเป็นเวลา 10 ปีแล้ว คนที่สองเป็นหญิง อายุ 20 ปี มีสภาพทางเศรษฐกิจสูง เป็นผู้ที่มีความวิตกกังวล ก้าวร้าว หงุดหงิด มีความตึงเครียด มีความรู้สึกไวต่อคำพูดของผู้อื่น ก่อนการรักษาได้รับการแนะนำเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับ EEG Feedback Training ก่อนการฝึกได้มีการเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้า ในบริเวณสมองส่วนกลางใช้ตำแหน่ง CZ, C3 และ C4 บริเวณสมองส่วนหน้าใช้ตำแหน่ง FZ, F3 และ F4 บริเวณสมองส่วนกลางกระหม่อมใช้ตำแหน่ง PZ และขั้วไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับ Ear Lobes โดย EEG ศึกษาใน 6 คลื่น ดังนี้ ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Delta (1 - 4 Hz), Theta (4 - 8 Hz), Alpha 1 (8 - 12 Hz), Alpha 2 หรือ SMR (12 - 15 Hz), Beta 1 (15 - 18 Hz) และ Beta 2 (20 - 33 Hz) ผลการศึกษาก่อนการฝึกอบรม ปรากฏว่า ช่วงคลื่นความถี่ไฟฟ้าสมอง Alpha บริเวณสมองส่วนกลางกระหม่อม (PZ) และช่วงคลื่นความถี่ไฟฟ้าสมอง Beta 1 บริเวณสมองส่วนหน้า (FZ) ลดลงเมื่อเทียบกับคนปกติหลังจากได้รับการฝึกอบรม ผลการวิจัย ปรากฏว่า หลังการฝึกอบรมทำให้ช่วงคลื่นความถี่ไฟฟ้าสมอง Alpha และ Beta 1 เพิ่มขึ้น โดยช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 แสดงถึงความตั้งใจ ความมีสมาธิในการคิด และความสามารถในการจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะเกิดการกระตุ้นบริเวณสมองส่วนหน้า ถ้าช่วงคลื่นความถี่ไฟฟ้าสมอง Beta 1 ลดลง หมายถึง การขาดสมาธิ ขาดความคิดตรึกตรอง และขาดความสามารถในการจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นกระบวนการทำงานของสมองบริเวณ Occipital - Parietal Region เมื่อวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Even - Related Brain Potential: ERPs) ชี้ให้เห็นว่า ผู้ที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ จะมี Amplitude สูงบริเวณสมองซีกขวา ส่วนผู้ที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง การทำงานของสมองค่อนข้างสมมาตรในบริเวณส่วนท้ายทอย (Occipital) และ Occipital - Parietal Region และเมื่อวิเคราะห์ทางแกนความถี่ (Frequency Domain Analysis) เกี่ยวกับงานศิลปะที่มีความโดดเด่นในการใช้ความคิดสร้างสรรค์และการจินตนาการ ซึ่งเป็นความถนัดทางสมองซีกขวา ชี้ให้เห็นว่าในขณะที่มองรูปวาด เกิดการกระตุ้นระบบประสาทของคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงคลื่นความถี่สูง คือ Beta และ Gamma ทั้งนี้เป็นเพราะความสามารถในการเชื่อมโยงของเซลล์ประสาทบริเวณที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับภาพ ส่วนขณะจินตนาการรูปวาดเกิดการกระตุ้นในช่วงคลื่นความถี่ต่ำ โดยคลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha มีการลดลง สำหรับการศึกษาที่วิเคราะห์ด้วยพลังงานสัมพัทธ์ (Relative Power: RP) ขณะลืมตา ผลการวิจัยของ Arce et al. (1995) และผลการวิจัยของ Corsi - Cabrera et al. (1997) ชี้ให้เห็นว่า กลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ต่ำกว่ากลุ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ แต่จากผลการศึกษาของ Moradi et al. (2011) ที่ได้บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนเข้ารับการฝึกอบรมและหลังเข้ารับการฝึกอบรม ข้อค้นพบแตกต่าง จากผลการศึกษาของ Arce et al. (1995) และผลการศึกษาของ Corsi - Cabrera et al. (1997) ซึ่งผลการวิจัยของ Moradi et al. (2011) ได้นำเสนอผลก่อนเข้ารับการรักษาด้วย Neurofeedback พบว่า ผู้ป่วยที่มีความเครียดหรือมีความวิตกกังวลสูง ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha กระตุ้นสมองบริเวณสมองส่วนกลาง (PZ) และช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta บริเวณสมองส่วนหน้า (FZ) ลดลง เมื่อเทียบกับคนปกติ แต่หลังจากได้รับการรักษา ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha และ Beta 1 เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวแสดงถึง การมีสมาธิในการคิดตรึกตรองและมีความสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ จึงเกิดการกระตุ้นบริเวณสมองส่วนหน้า ในช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha และ Beta 1 เพิ่มขึ้น ถ้าคลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ลดลง หมายถึง การขาดสมาธิ ขาดความคิดตรึกตรอง และขาดความสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้

จากการศึกษาข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยต้องการค้นหาข้อสรุปเกี่ยวกับการกระตุ้นระบบประสาทของคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองจากแหล่งกำเนิด จำนวน 4 คลื่น ได้แก่ Alpha 1 Alpha 2 Beta 1 และ Beta 2 โดยใช้ EEG Lab ในการบันทึกและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปในการวิเคราะห์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (Relative Power: RP) ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ซึ่งจากผลงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่า ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha และช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta เป็นช่วงคลื่นความถี่คลื่นที่มีบทบาทสำคัญต่อการเชื่อมโยงระบบประสาทของคลื่นไฟฟ้าสมอง ที่ได้รับตัวกระตุ้นจากการทำแบบทดสอบวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และเพื่อนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าระหว่างกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ใช้รูปแบบการฝึกสมอง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายและเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น โดยการศึกษาด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง มีรายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

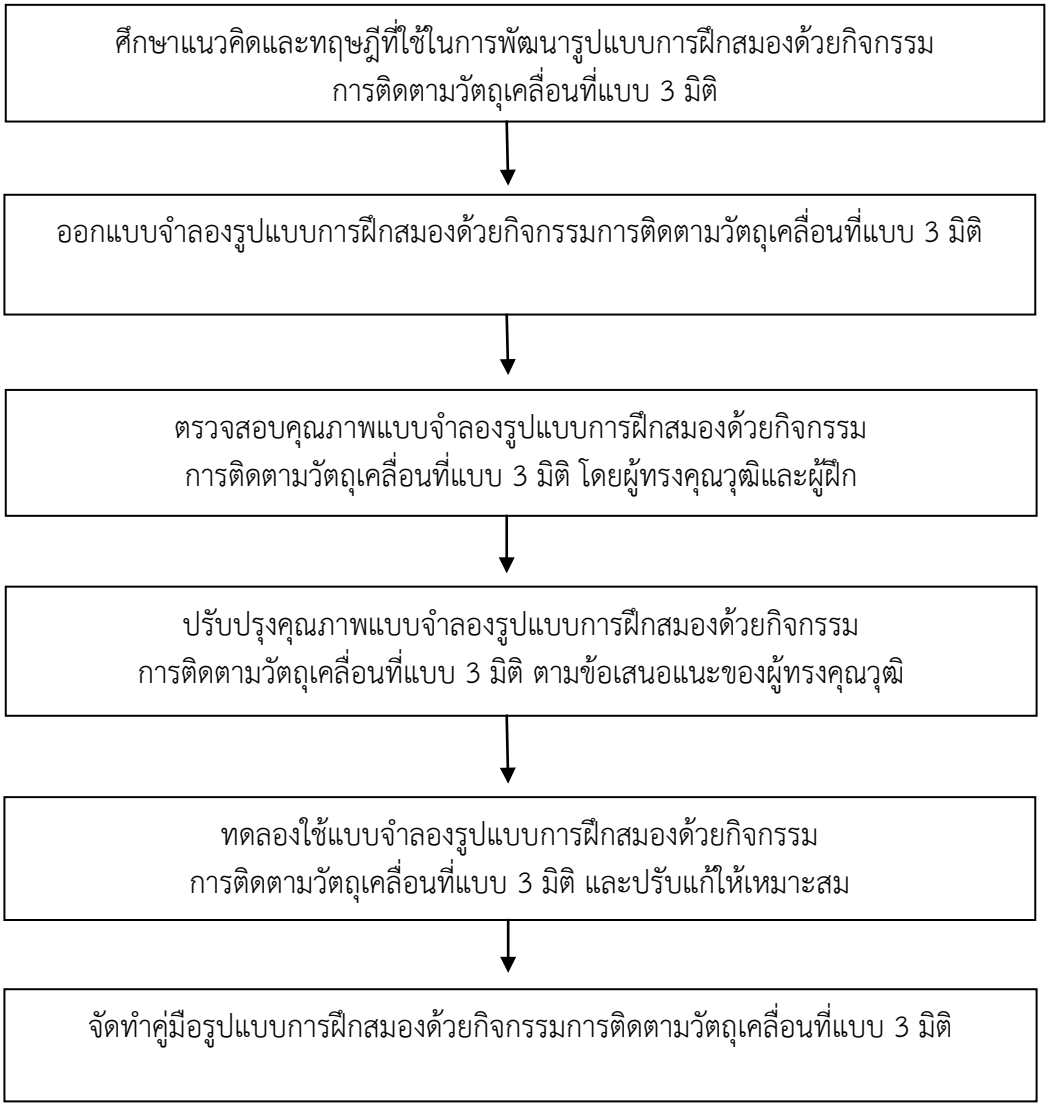
1. ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ
2. ออกแบบจำลองรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ
3. ตรวจสอบคุณภาพแบบจำลองรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ
4. ปรับปรุงแบบจำลองรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ
5. ทดลองใช้แบบจำลองรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ และปรับแก้ให้เหมาะสม
6. จัดทำคู่มือรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาผลการนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

1. กลุ่มตัวอย่าง
2. แบบแผนการทดลอง
3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
4. วิธีดำเนินการทดลอง
5. การเก็บรวบรวมข้อมูล
6. การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

การพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีขั้นตอนการพัฒนา ดังนี้



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ

การพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีรายละเอียดแต่ละขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ

1.1 แนวคิดจากทฤษฎีการติดตามภาพ (Theory of visual indexing or FINST) ของ Pylyshyn (1972 cited in Pylyshyn & Storm, 1988, p. 180) FINST ย่อมาจาก Fingers of INSTantion (Sear & Pylyshyn, 2000, p. 2) ในระยะเริ่มแรกใช้การติดตามวัตถุด้วยการมองภาพแบบ 2 มิติ ต่อมาได้พัฒนามาเป็นการมองภาพแบบ 3 มิติ ด้วยแบบจำลองการติดตามวัตถุหลายตัวเคลื่อนที่ (Multiple Object Tracking: MOT) (Pylyshyn & Storm, 1988, pp. 141 - 144) เป็นแบบจำลองประกอบด้วย 5 กิจกรรม ได้แก่ 1. การแสดงสิ่งเร้า (Presentation) 2. การบ่งบอกเป้าหมาย (Indexation) 3. การเคลื่อนไหว (Movement) 4. การกำหนดสิ่งเป้าหมาย (Identification) และ 5. การเรียกคืนข้อมูล (Feedback) (Pylyshyn, 2001, p. 42) โดยแบบจำลองการติดตามวัตถุหลายตัวเคลื่อนที่ (MOT) มีบทบาทสำคัญกับกระบวนการทางสมองช่วยกระตุ้นความสนใจ (Attention) ความจำขณะทำงาน (Working Memory) และการประมวลผลข้อมูลทางการมองเห็น (Visual Information Processing) (Pylyshyn et al. 1994; Pylyshyn & Storm, 1988; Scholl & Pylyshyn, 1999)

1.2 แนวคิดของ Yakimanskaya (1991) ชุดการฝึกสมองที่ประกอบด้วยสิ่งเร้าหรือตัวกระตุ้นที่มีการเคลื่อนไหวในรูปแบบสามมิติ จะเป็นสื่อช่วยให้ผู้ฝึกสมองเกิดการรับรู้ สามารถมองเห็นภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าได้ในทุกมิติ และยิ่งรับรู้ถึงมิติต่าง ๆ ในหลายด้าน จะทำให้ง่ายต่อการสร้างมโนภาพ และสามารถนำวัตถุหรือสิ่งเร้าในสมองไปจัดกระทำหรือการแก้ปัญหาได้

1.3 แนวคิดของ Strong and Smith (2002) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีการเคลื่อนไหวในรูปแบบของสามมิติ เป็นสื่อช่วยกระตุ้นโครงสร้างการทำงานของสมอง ทำให้สมองเกิดการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น

1.4 แนวคิดของ Christou, Pittalis et al. (2007) การรับรู้ทางการมองเห็นในรูปแบบการเคลื่อนไหว ทำให้เกิดมโนภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าในสมองสมบูรณ์แบบ มากกว่าในรูปแบบของภาพนิ่งภาพสองมิติ หรือภาพที่อยู่ในหน้าหนังสือ

1.5 แนวคิดของ Wright ea al. (2008) กิจกรรมการฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่มีลักษณะคงทนถาวร สามารถเปลี่ยนแปลง และใช้อ้างอิงไปยังองค์ประกอบต่าง ๆ ของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ โดยเฉพาะกิจกรรมที่ต้องอาศัยกระบวนการทางสมองเป็นฐาน (Cognitive Process-based Task) เช่น กระบวนการความสนใจ (Attention Process) จะต้องลงรหัสข้อมูลของสิ่งเร้า (Encoding) เพื่อสร้างมโนภาพ (Imagery) ไว้ในความจำขณะทำงาน (Working Memory) จากนั้นจึงเปรียบเทียบมโนภาพของสิ่งเร้าที่เก็บไว้ในความจำ (Memory) เพื่อยืนยันผลของความจำขณะทำงาน (Kornkasen & Black, 2015, p. 281)

1.6 แนวคิดของ Huffman (2011) โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามมิติแบบเคลื่อนไหว ช่วยให้บุคคลสามารถมองเห็นภาพของสิ่งเร้าได้ชัดเจนและลึกถึงในทุกมิติ ส่งผลให้บุคคลนั้นสามารถรับรู้ปฏิสัมพันธ์ของสิ่งแวดล้อมภายนอก กระตุ้นให้เกิดการแทนภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าในสมองได้อย่างถูกต้อง และบรรจุเก็บไว้ในระบบของความจำ ทำให้เกิดการหยั่งรู้และเข้าใจถึงความสัมพันธ์ในมิติต่าง ๆ ของสิ่งเร้า

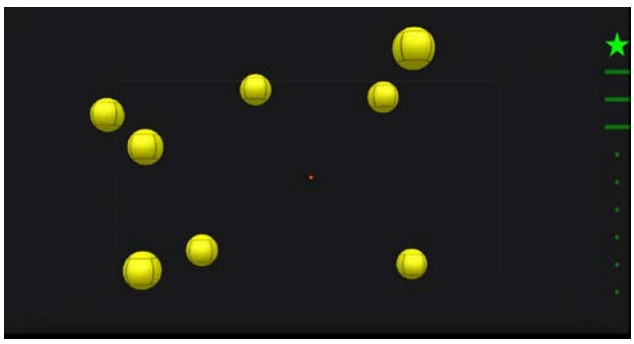
จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สรุปได้ว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นความสามารถในการรวบรวมข้อมูลของวัตถุหรือสิ่งเร้า โดยการสร้างมโนภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้า เพื่อลงรหัสบันทึกไว้ในระบบของความจำ และสามารถเรียกคืนมโนภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้านั้นไว้ เพื่อจัด

กระทำต่อไป (Eliot & Hauptman, 2002) และการฝึกสมองด้วยตัวกระตุ้นในรูปแบบ 3 มิติ ที่มีการเคลื่อนไหวช่วยให้ผู้ฝึกเกิดการรับรู้ สามารถมองเห็นภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าได้ในทุกรอบด้าน และสามารถจินตนาการสร้างมโนภาพของสิ่งเร้าได้ดียิ่งขึ้น เมื่อมีการรับรู้วัตถุหรือสิ่งเร้าในหลายด้านและในหลายมิติ ทำให้เกิดความง่ายต่อการจินตนาการในการสร้างมโนภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้า เพื่อจัดกระทำหรือสามารถแก้ปัญหาได้ (Yakimanskaya, 1991) นอกจากนี้ การแสดงภาพเสมือนจริง (Virtual reality) จะทำให้เกิดการเรียนรู้ ช่วยกระตุ้นโครงสร้างการทำงานของสมอง (Connell, 1998) โดยวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นภาพเคลื่อนไหวในรูปแบบ 3 มิติ สามารถช่วยกระตุ้นกระบวนการทางสมองให้เกิดกระบวนการคิดเชิงมิติ ช่วยให้บุคคลสามารถมองเห็นภาพของสิ่งเร้าได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น และเข้าถึงความลึกในทุกมิติของวัตถุได้มากขึ้น จึงช่วยให้กระบวนการทางสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ทำงานได้ดียิ่งขึ้น (Strong & Smith, 2002) ดังนั้น รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (3-Dimensional Multiple Object Tracking-3D MOT) จึงเป็นรูปแบบการฝึกสมองที่เน้นกระบวนการทางปัญญา (Cognitive Training) โดยใช้แนวคิดการติดตามวัตถุหลายสิ่งเคลื่อนที่ควบคู่กับเทคโนโลยีภาพสามมิติและความเสมือนจริง จึงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้

ขั้นตอนที่ 2. ออกแบบจำลองรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ประกอบด้วยรายละเอียด ดังนี้

2.1 กำหนดลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น

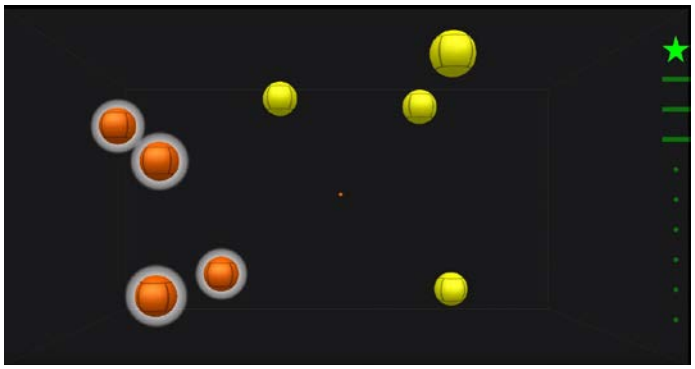
จากทฤษฎีการติดตามภาพที่ระบุไว้ว่า วัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้นมีลักษณะรูปทรงที่แตกต่างกัน กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถติดตามวัตถุหรือสิ่งเร้านั้นได้ (Scholl, Pylyshyn & Feldman, 2001, p. 159) และจากทฤษฎีความจำขณะทำงาน (Working Memory) ของระบบเก็บจำด้านภาพและมิติสัมพันธ์ สามารถทำการเก็บข้อมูลได้สูงสุด 8 หน่วย (Item) (Baddeley, 2002, pp. 86 – 90) รวมถึงสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้นมีสีเหลือง จะเป็นสีที่ดึงดูดความสนใจ ทำให้เกิดความรู้สึกสนุกสนานร่าเริงและแปลกใหม่ (Kandinsky, 1988) ดังนั้น ผู้วิจัยกำหนดลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้มีลักษณะรูปทรงแบบเดียวกัน คือ ลูกบอลทรงกลมสีเหลือง จำนวน 8 ลูก (ดังภาพที่ 3-2)



ภาพที่ 3-2 ลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น (Faubert, 2012)

2.2 กำหนดลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย (Indexation)

จากทฤษฎีการติดตามภาพที่ระบุไว้ว่า วัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายให้ติดตามไม่ควรมีเกิน 4 ตัว (Pylyshyn et al., 2001) และสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายมีสีแดง จะเป็นสีที่สามารถมองเห็นได้รวดเร็วที่สุด และการที่สิ่งเร้าที่มีสีถึงสองสี จะดึงดูดความน่าสนใจต่อสิ่งเร้าได้มากกว่าการมีเพียงสีเดียว (Viswanathan & Mingolla, 2002, p. 1415) ดังนั้น ผู้วิจัยกำหนดลักษะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายให้มีลักษณะรูปทรงแบบเดียวกัน เพื่อให้ผู้ฝึกจำแนกสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายได้ชัดเจนและมีสองสี คือ ลูกบอลทรงกลมสีแดงและมีสีขาวล้อมรอบอีกชั้นหนึ่ง จำนวน 4 ลูก (ดังภาพที่ 3-3)



ภาพที่ 3-3 ลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย (Faubert, 2012)

2.3 กำหนดวิธีการเคลื่อนที่ (Movement) ของวัตถุหรือสิ่งเร้า

จากแนวคิดการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าในหลายทิศทาง ช่วยให้บุคคลสามารถมองเห็นภาพของสิ่งเร้าได้ชัดเจนและลึกถึงในทุกมิติ (Huffman, 2011, p.) ซึ่งการเคลื่อนที่ในหลายทิศทางดังกล่าว สามารถกระตุ้นกระบวนการรับรู้ (Perception Process) ได้มากกว่าการเคลื่อนที่เพียงทิศทางเดียว (Pylyshyn et. al. 2001. p. 142) ดังนั้น ผู้วิจัยกำหนดวิธีการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าให้เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงในทิศทางที่แตกต่างกัน

2.4 กำหนดระยะเวลาในการจดจ่อความสนใจของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า กลไกการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสนใจ (Attention) ของมนุษย์ จะมีการตอบสนองต่อความสนใจเป็นช่วงสั้น ๆ ประมาณ 8 วินาที (Dukette & Cornish, 2009) ดังนั้น ผู้วิจัยกำหนดระยะเวลาในการจดจ่อความสนใจ (Focused Attention) ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย เป็นเวลา 8 วินาที

2.5 การกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้า

เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาถึงความเร็วในการติดตามวัตถุหรือสิ่งเร้าเคลื่อนที่ที่เพียงพอและเหมาะสมในขณะมีการจดจ่อความสนใจต่อภาพ แต่จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า มีการศึกษาการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ในกลุ่มบุคคลทั่วไป โดยกำหนดความเร็วที่ 1 เมตรต่อ 1/3 วินาที (Faubert, 2012) ดังนั้น ผู้วิจัยกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่ 1 เมตรต่อ 1/3 วินาที

2.6 กำหนดฉากพื้นหลังของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น

จากการศึกษาทฤษฎีการรับรู้เกี่ยวกับภาพและพื้น พบว่า การจัดหมวดหมู่การรับรู้ภาพ จะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ภาพ (Figure) และพื้นหลัง (Ground) โดยภาพจะเป็นจุดเน้นหรือจุดสำคัญทำให้เกิดการรับรู้ก่อน หรือเป็นส่วนที่ลอยเด่นอยู่ตรงหน้า มีลักษณะและมีขอบเขตจำกัด มองเห็นได้ชัด ส่วนพื้นจะเป็นส่วนที่สำคัญน้อยกว่าภาพ จึงมองเห็นอยู่ข้างหลังภาพและเป็นส่วนที่ปรากฏติดต่อกันโดยไม่มีขอบเขตจำกัด (Gestalt's Perceptual Theory, 1919, p. 38) และจากทฤษฎีดังกล่าว พื้นที่มีลวดลายและมีหลายสี จะทำให้การมองเห็นภาพไม่ชัดเจน อาจเกิดเป็นภาพลวงตาได้ (Matlin, 2014, pp. 34 - 41; อุบลวรรณ ภวกานันท์, 2555 หน้า 63) ดังนั้น ผู้วิจัยกำหนดฉากพื้นหลังให้มีเพียงสีเดียวและไม่มีลวดลาย เพื่อให้ผู้ฝึกสามารถมองเห็นภาพได้ชัดเจนมากที่สุด

2.7 กำหนดวิธีการให้คะแนน

ผู้วิจัยกำหนดวิธีการให้คะแนนการตอบถูกด้วยอัตราความเร็วก้าวหน้า หากผู้ฝึกตอบถูกครบทั้ง 4 ลูก ในเกมครั้งถัดไปลูกบอลทรงกลมจะเคลื่อนไหวเร็วขึ้นตามโปรแกรมที่กำหนดโดยอัตโนมัติ และในทางตรงกันข้ามหากผู้ฝึกตอบผิดในเกมครั้งถัดไปลูกบอลจะเคลื่อนไหวช้าลงตามโปรแกรมที่กำหนดโดยอัตโนมัติด้วยเช่นกัน

2.8 กำหนดระยะเวลาในการฝึก

ผู้วิจัยกำหนดระยะเวลาในการฝึก วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที รวมเวลา 10 วัน ซึ่งสอดคล้องกับระดับความสนใจต่อเนื่อง (Sustained Attention) ต่อกิจกรรม มีระยะเวลาสูงสุด 20 นาที (Dukette & Cornish, 2009, pp. 72 - 73) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Faubert พบว่าผู้ฝึกมีแนวโน้มผลคะแนนการฝึกดีขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่เริ่มต้นฝึกติดต่อกันจนถึงระยะเวลาในการฝึก 20 นาที แต่หลังจากนั้นคะแนนการฝึกมีแนวโน้มลดลง (Faubert, 2012)

ขั้นตอนที่ 3. การตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้ฝึก มีรายละเอียดดังนี้

การตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ มีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง โดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 คน ประกอบด้วย

3.1 ดร. กนก พานทอง

อาจารย์ประจำวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

3.2 ดร. ปรัชญา แก้วแก่น

อาจารย์ประจำวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

3.3 ดร. ยรรยง พันธ์สวัสดิ์

อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผู้ทรงคุณวุฒิ ตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ด้านการดำเนินการตามขั้นตอนของรูปแบบการฝึกสมอง ประกอบด้วยวัตถุประสงค์ กำหนดเวลา ขั้นตอนการทำกิจกรรม และการประเมินผลกิจกรรมความสอดคล้องของวัตถุประสงค์กับเนื้อหา กิจกรรมความน่าสนใจ ส่งเสริมให้นักเรียนกระตือรือร้นในการฝึกกิจกรรม กิจกรรมความ

เหมาะสมกับระยะเวลา กิจกรรมเรียงลำดับจากง่ายไปสู่ยาก ความเป็นไปได้ในการปฏิบัติกิจกรรม และกิจกรรมเหมาะสมกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. ด้านการออกแบบรูปแบบการฝึกสมอง ประกอบด้วย ภาพสื่อความหมาย สี (ความชัดเจนของตัวอักษร ตัวเลขและภาพและความสวยงาม สบายตา ดึงดูดความสนใจ)

3. ด้านลักษณะทั่วไปของรูปแบบการฝึกสมอง ประกอบด้วย ใช้งานง่ายและสะดวก ความเหมาะสมกับการใช้งานและความสัมพันธ์ของภาพประกอบกับเนื้อหา

4. ด้านภาพรวมของรูปแบบการฝึกสมอง ประกอบด้วย ลำดับขั้นตอนการฝึกกิจกรรม ที่ใช้อ่านแล้วเข้าใจง่ายภาพประกอบชัดเจนและภาพประกอบเหมาะสม

5. คู่มือการใช้รูปแบบการฝึกสมอง ประกอบด้วย ใช้งานง่ายและสะดวกความเหมาะสมกับการใช้งานและความสัมพันธ์ของภาพประกอบกับเนื้อหา

6. ขนาดของห้องที่ใช้ในการฝึก ประกอบด้วย ขนาดของห้อง เครื่องปรับอากาศ

7. อุปกรณ์หลัก ประกอบด้วย

7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows 7) และการ์ดแสดงผล (Display Card) หน่วยความจำ 512 MB ขึ้นไป

7.2 โทรทัศน์แสดงผล 3 มิติ (3 D) ขนาดความกว้างหน้าจอ 65 นิ้ว

7.3 แว่นตา 3 มิติ แบบแอคทีฟชัดเตอร์ (Active Shutter Glasses)

7.4 ซอฟต์แวร์ (Software) โปรแกรมนิวโรแทรคเกอร์ (NeuroTracker)

7.5 สาย HDMI สำหรับเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับโทรทัศน์

7.6 เก้าอี้มีเบาะนั่งพร้อมพนักพิง

8. ตำแหน่งความห่างระหว่างจอโทรทัศน์กับผู้ฝึก คือ 1.65 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่มองเห็นภาพได้ชัดเจนมากที่สุด

9. ฉากพื้นหลัง ประกอบด้วย ฉากพื้นหลังสีเดียวและไม่มีลวดลาย

10. จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น ประกอบด้วย ลูกบอลทรงกลมสีเหลือง จำนวน 8 ลูก

11. จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย ประกอบด้วย ลูกบอลทรงกลมสีแดงและมีสีขาวล้อมรอบอีกชั้นหนึ่ง จำนวน 4 ลูก

12. วิธีการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย คือ การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงในทิศทางที่แตกต่างกัน

13. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย คือ ความเร็วที่ 1 เมตร ต่อ 1/3 วินาที

14. ระยะเวลาในการจดจ่อความสนใจของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย คือ เวลา 8 วินาที

15. เวลาที่ใช้ในการฝึก คือ วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที รวมเวลา 10 วัน

16. วิธีการให้คะแนน คือ อัตราความเร็วก้าวหน้า

ผลการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

ผลการพิจารณาความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ทรงคุณวุฒิ ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 การตรวจความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

ด้านที่ประเมิน	*M*	*SD*	ระดับความเหมาะสม
การดำเนินการตามขั้นตอนของรูปแบบการฝึกสมอง	4.25	0.29	มาก
การออกแบบรูปแบบการฝึกสมอง	4.29	0.55	มาก
ลักษณะทั่วไปของรูปแบบการฝึกสมอง	4.33	0.38	มาก
ภาพรวมของรูปแบบการฝึกสมอง	4.25	0.29	มาก
คู่มือการใช้รูปแบบการฝึกสมอง	4.33	0.38	มาก
ขนาดห้อง	4.25	0.29	มาก
อุปกรณ์	4.63	0.51	มากที่สุด
ตำแหน่งความห่างระหว่างโทรทัศน์กับผู้ฝึก	4.25	0.29	มาก
ฉากพื้นหลัง	4.25	0.29	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น	4.25	0.29	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.63	0.51	มากที่สุด
วิธีการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.25	0.29	มาก
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.29	0.55	มาก
ระยะเวลาในการจดจ่อความสนใจของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.33	0.38	มาก
เวลาที่ใช้ในการติดตามวัตถุ	4.25	0.29	มาก
วิธีการให้คะแนน	4.33	0.38	มาก
สรุปผลโดยรวม	4.32	0.37	มาก

จากตารางที่ 3-1 ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย แสดงให้เห็นว่ามีความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมาก

(*M* = 4.32) แสดงว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมที่ใช้เพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้ทรงคุณวุฒิ มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม โดยให้แบ่งกลุ่มทดลอง ออกเป็น 2 ทีม คือ ทีม A และ ทีม B และให้เพิ่มการพักระหว่างฝึก ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้กลุ่มทดลองทำการฝึกวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที คือ ให้ทำการฝึกครั้งที่ 1 เป็นเวลา 20 นาที พัก 20 นาที แล้วจึงเริ่มการฝึกครั้งที่ 2 เป็นเวลา 20 นาที อีกครั้ง เพื่อให้ผู้ฝึกได้มีเวลาพักผ่อนสายตา ป้องกันความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อตา ซึ่งอาจส่งผลต่อการทดลองได้

ผลการประเมินโดยผู้ฝึก

ผู้ฝึกทำการประเมิน รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้ฝึกเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแสนสุข จังหวัดชลบุรี กำลังศึกษาในปีการศึกษา 2557 ที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ให้นักเรียนแต่ละคนทดลองใช้รูปแบบการฝึกสมองที่พัฒนาขึ้น วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที รวม 10 วัน แล้วทำการประเมิน ปรากฏว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมสำหรับใช้ฝึกนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 การตรวจความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ฝึก

ด้านที่ประเมิน	*M*	*SD*	ระดับความเหมาะสม
การดำเนินการตามขั้นตอนของรูปแบบการฝึกสมอง	4.22	0.38	มาก
การออกแบบรูปแบบการฝึกสมอง	4.11	0.19	มาก
ลักษณะทั่วไปของรูปแบบการฝึกสมอง	4.30	0.48	มาก
ภาพรวมของรูปแบบการฝึกสมอง	4.21	0.35	มาก
ขนาดห้อง	4.30	0.48	มาก
อุปกรณ์	4.64	0.35	มากที่สุด
ตำแหน่งความห่างระหว่างโทรทัศน์กับผู้ฝึก	4.11	0.19	มาก
ฉากพื้นหลัง	4.21	0.35	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น	4.11	0.19	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.22	0.38	มาก
วิธีการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.64	0.35	มากที่สุด
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.22	0.38	มาก

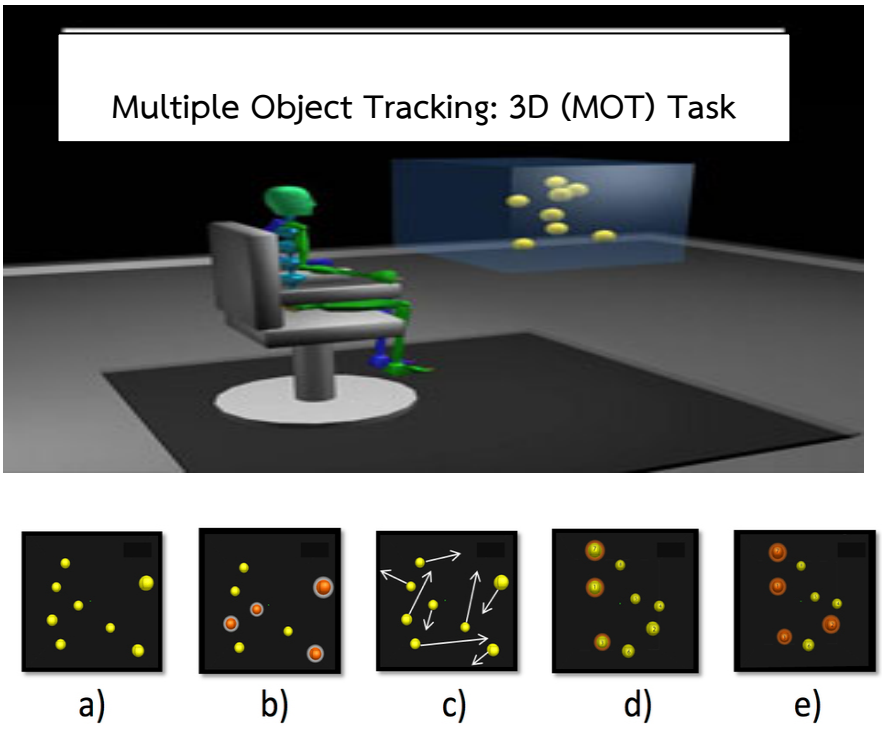
ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

ด้านที่ประเมิน	*M*	*SD*	ระดับความเหมาะสม
ระยะเวลาในการจดจ่อความสนใจของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.22	0.38	มาก
เวลาที่ใช้ในการติดตามวัตถุ	4.21	0.35	มาก
วิธีการให้คะแนน	4.30	0.48	มาก
สรุปผลโดยรวม	4.28	0.35	มาก

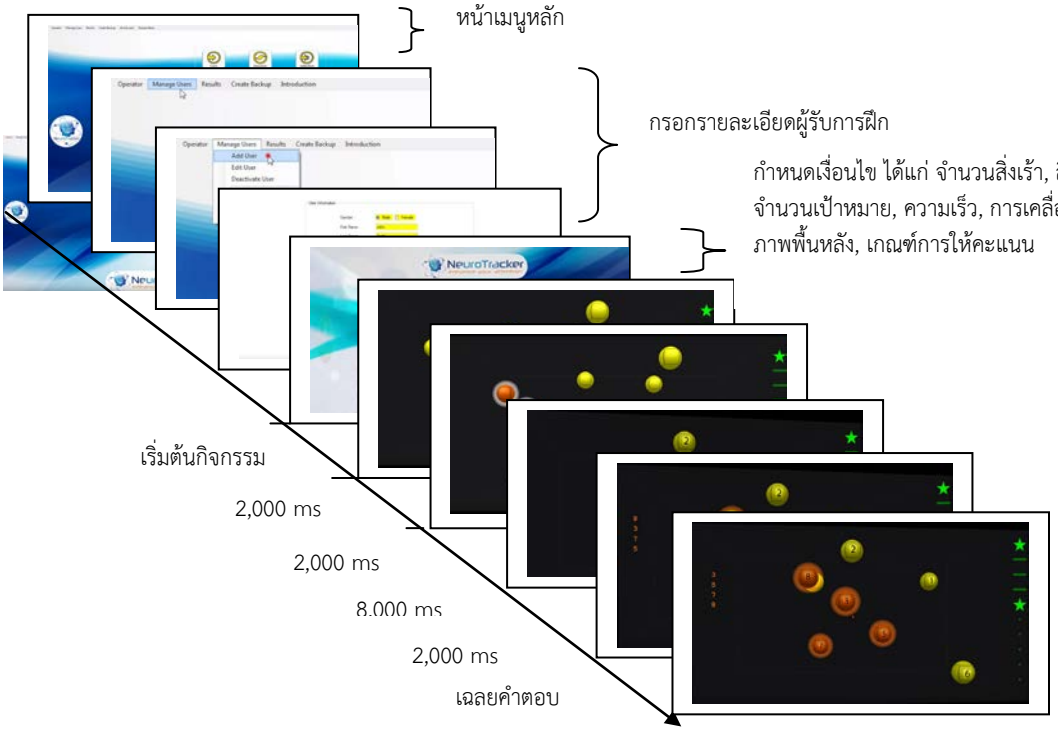
จากตารางที่ 3-2 ปรากฏว่า ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ฝึก แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก (*M* = 4.28)

ขั้นตอนที่ 4. ปรับปรุงแบบจำลองรูปแบบกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ขั้นตอนที่ 5. นำแบบจำลองรูปแบบกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติไปทดลองใช้ (Try Out)



ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนของกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Faubert, 2012)



ภาพที่ 3-5 ลำดับรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ขั้นตอนที่ 6. จัดทำคู่มือการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น เพื่อไปใช้เก็บข้อมูลจริงกับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาผลการนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ศึกษาผลการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ด้วยการนำรูปแบบการฝึกสมองที่ออกแบบขึ้นไปทดลองใช้ โดยการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง มีรายละเอียดดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี สังกัดเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 18 ภาคเรียนที่ 2 ประจำปีการศึกษา 2557 จำนวน 46 คน จากอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการวิจัย และมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนด โดยมีวิธีการพิจารณาเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์ดังนี้

เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion Criteria)

1. เป็นผู้ที่มีสุขภาพดี ไม่เป็นโรคเกี่ยวกับระบบประสาท

2. ไม่มีพยาธิสภาพทางการมองเห็น การได้ยิน และการเคลื่อนไหว

3. มีความถนัดในการใช้มือข้างขวา

4. มีความสามารถในการใช้คอมพิวเตอร์

5. ไม่เคยได้รับการฝึกสมองโดยใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ

6. มีความเต็มใจเข้าร่วมการทดลองตามที่กำหนดและได้รับการยินยอมจากผู้ปกครอง

เกณฑ์การคัดออก (Withdraw Criteria)

1. เจ็บป่วยขณะเข้าร่วมการทดลอง

1. เข้าร่วมการทดลองไม่ครบตามกำหนด

2. แบบแผนการทดลอง

เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) แบบ Randomized Pretest and Posttest Control Group Design (Edmonds & Kennedy, 2013, p. 27) ที่มีการสุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่ม แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง 1 กลุ่ม และกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม มีการวัดก่อนและหลังการทดลองทั้งสองกลุ่ม โดยกลุ่มทดลองจะได้รับตัวแปรที่จัดกระทำ คือ การฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 แบบแผนการทดลองแบบ Randomized Pretest and Posttest Control Group Design

การสุ่มเข้ากลุ่ม Randomized	กลุ่ม Group	วัดก่อนการทดลอง Pretest	สิ่งทดลอง Treatment	วัดหลังการทดลอง Posttest
R	E	O_{E1}	X	O_{E2}
R	C	O_{c1}	---	O_{c2}
		← Time →		

คำอธิบายตารางที่ 3-3

R หมายถึง การสุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

E หมายถึง กลุ่มทดลอง

C หมายถึง กลุ่มควบคุม

X หมายถึง ตัวแปรที่จัดกระทำ คือ รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

O_{E1} หมายถึง การวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของคลื่นไฟฟ้าสมอง ก่อนได้รับการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

O_{E2} หมายถึง การวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของคลื่นไฟฟ้าสมอง หลังได้รับการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

O_{C1} หมายถึง การวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของคลื่นไฟฟ้าสมอง ของกลุ่มควบคุมก่อนการทดลอง

O_{C2} หมายถึง การวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของคลื่นไฟฟ้าสมอง ของกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง

การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้ได้รับการตรวจสอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยของวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา เมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2558 และกลุ่มตัวอย่างสมัครใจเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยได้ประชุมแนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์การวิจัย รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง ประโยชน์ที่กลุ่มวิจัยจะได้รับ ผลกระทบที่อาจเกิดจากการวิจัยอย่างละเอียด ณ โรงเรียนแสนสุข จังหวัดชลบุรี เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใจ จึงสมัครเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ แล้วให้ลงนามความยินยอมในหนังสือสัญญาความสมัครใจและเซ็นยินยอมเข้าร่วมการทดลอง ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มตัวอย่างจะเก็บไว้เป็นความลับ โดยจะเปิดเผยเฉพาะผลสรุปในภาพรวม เพื่อใช้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาทางวิชาการเท่านั้น และกลุ่มตัวอย่างสามารถบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยได้ทุกเมื่อ

3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. แบบสอบถามข้อมูล ทั่วไป เช่น เพศ อายุ ประวัติการบาดเจ็บที่ศีรษะ การมองเห็น การได้ยิน ความผิดปกติด้านร่างกาย ประวัติเกี่ยวกับสุขภาพจิต ความสามารถในการใช้คอมพิวเตอร์ และความถนัดการใช้มือ

2. รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Multiple Object Tracking (3D - MOT Task) เป็นรูปแบบการฝึกสมองที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเพื่อพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ประกอบด้วย วิธีการ และระยะเวลา สำหรับใช้ในการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ คือ ทำการฝึกวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที เป็นเวลา 10 วัน

3. แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Recognition Ability Test) เป็นแบบทดสอบมาตรฐาน วัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนิวตัน (Newton, 2009) ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Super Lab 4.5 แบ่งออกเป็น 3 ฉบับ ฉบับละ 17 ข้อ มีลักษณะเป็นแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ประกอบด้วย การระบุภาพเหมือนเมื่อมีการหมุนภาพ การแยกชิ้นส่วน การประกอบชิ้นส่วนของรูปทรง การคลี่กล่อง การระบุตำแหน่งเป้าหมายเมื่อมีการพับกระดาษ รวม 3 ฉบับ ฉบับละ 17 ข้อ รวมทั้งสิ้น 51 ข้อ มีคะแนนเต็ม 51 คะแนน

4. แบบวัดความถนัดในการใช้มือของเอดินเบอร์ก (Edinburgh Handness Inventory)

5. แบบวัดระดับสายตาระยะใกล้ด้วย Snellen’s Chart

6. เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) เป็นเครื่องวัดสัญญาณยี่ห้อไบโอแพ็ก (BIOPAC) รุ่น EEG100, MP 150 ประเทศสหรัฐอเมริกา และหมวกอิเล็กโตรด (Nineteen Electrode Cap) ที่อ้างอิงระบบมาตรฐานสากล 10-20 (10-20 System) บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม AcqKnowledge 4.0 และนำข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้ มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังนี้

6.1 แถบวัดความยาว ใช้วัดรอบศีรษะเพื่อเลือกขนาดหมวกวัดสัญญาณไฟฟ้าให้เหมาะสมกับขนาดศีรษะของแต่ละคน และดินสอสีเขียนบนผิวหนังสำหรับทำเครื่องหมายที่บริเวณผิวหนัง

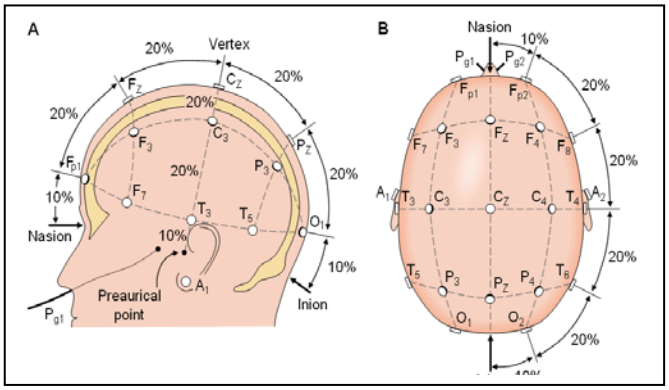
6.2 แอลกอฮอล์ 75% เพื่อขจัดเซลล์ที่ตายแล้วออกไป เพื่อลดความต้านทานบริเวณหนังศีรษะ

6.3 หมวกอิลาสติก (Elastic Cap) ที่มีขั้วไฟฟ้า (Electrode) แบบ Ag/AgCl วางตามระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 ขนาดเล็ก (รอบศีรษะ 50 - 54 เซนติเมตร) และขนาดกลาง (รอบศีรษะ 54 - 58 เซนติเมตร) ในการวิจัยนี้ใช้หมวกขนาดกลาง

6.4 เจลสำหรับนำสัญญาณไฟฟ้า (Conductive Gel)

6.5 หลอดฉีดยา (Syringe) และเข็มฉีดยาปลายทู่ (Blunt Needle) เบอร์ 15

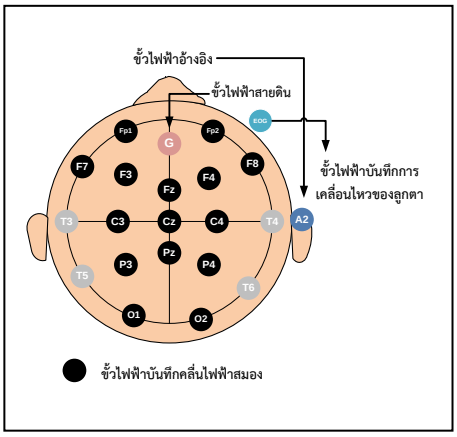
6.6 เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalograms Recording) เป็นเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง BIOPAC Systems (MP150 Model) จำนวน 16 ช่องสัญญาณ (Channels) ทำการบันทึกแบบ Real - Time Recorder พร้อมหมวกอิลาสติก (Elastic Cap) ที่มีขั้วไฟฟ้า (Electrode) แบบ Ag/AgCl วางตามระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 (10/20 International System of Electrode Placement) ดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 ระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 (A) ด้านซ้าย และ (B) ด้านบนของศีรษะ
A = Ear Lobe, C = Central, PG = Nasopharyngeal, P = Parietal, F = Frontal, FP = Frontal Polar, O = Occipital (Sharbrough et al., 1991)

ขั้วไฟฟ้าจำนวน 16 ขั้ว วางในแนวกลางศีรษะ 3 ตำแหน่ง (FZ, CZ, PZ) และสองข้างศีรษะอีก 10 ตำแหน่ง (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, P3, และ P4) ใช้ขั้วไฟฟ้าที่ติ่งหูข้างขวา (A2) เป็นตำแหน่งอ้างอิง (Reference Electrode) 1 ขั้ว ขั้วไฟฟ้าสำหรับบันทึกการเคลื่อนไหว

ของลูกตา (Electro-Occulogram: EOG) 1 ขั้ว บริเวณด้านล่างของเบ้าตาขวา (Right Infraorbital Region) พร้อมขั้วไฟฟ้าที่เป็นสายดิน (Ground Electrode: G) จำนวน 1 ขั้ว ดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (Sharbrough et al., 1991)

สัญญาณไฟฟ้าจากการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ได้รับการแปลงสัญญาณอะนาลอก (Analog) ไปเป็นดิจิตอล (Digital) ด้วยอัตราการสุ่ม 250 Hz กำหนดค่าความต้านทานในแต่ละขั้วไฟฟ้าน้อยกว่า 5 KΩ การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AcqKnowledge 4.2, BIOPAC Systems, Inc.

4.7 โปรแกรม Acqknowledge 4.2 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปของบริษัท BIOPAC เชื่อมต่อกับกล่องรับสัญญาณไฟฟ้า MP150 ทำหน้าที่บันทึกและวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าสมองที่วัดได้ขณะที่กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

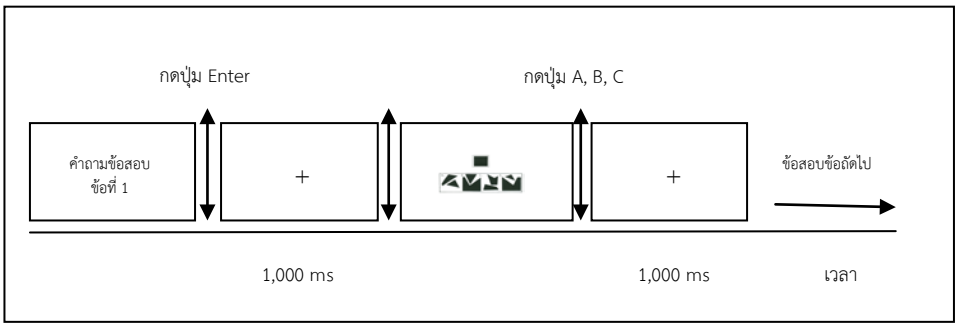
4.8 เครื่อง Stim Tracker ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่าง STP 100 ของเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าของ BIOPAC กับโปรแกรม Super Lab 4.5 โดยส่งเครื่องหมาย (Marker) ไปปรากฏที่ Acqknowledge 4.2 ขณะบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

4.9 แป้นกดปุ่มเพื่อเลือกคำตอบขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยแป้นกดปุ่มนี้เชื่อมต่อกับโปรแกรม Super Lab 4.5 เพื่อบันทึกการกดเลือกคำตอบ ขณะที่กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

การตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Recognition Ability Test)

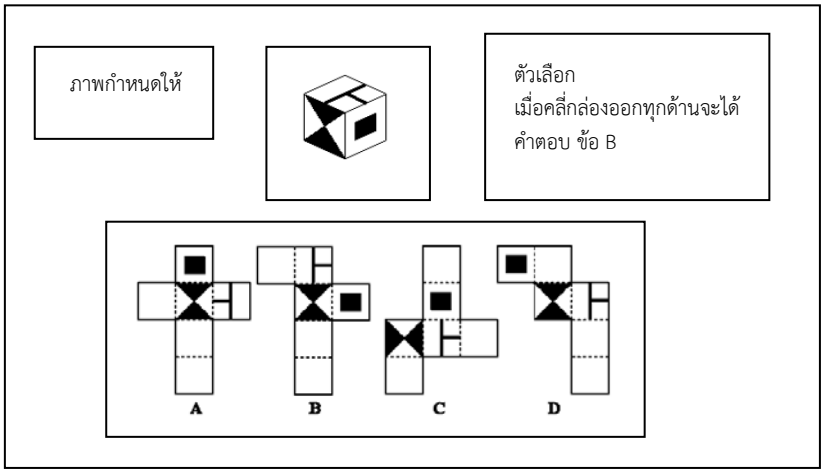
ผู้วิจัยนำแบบทดสอบความสามารถมิติสัมพันธ์ของนิวตัน (Newton, 2009) ซึ่งเป็นแบบทดสอบมาตรฐานมาบรรจุในโปรแกรมสำเร็จรูป Super Lab 4.5 รวม 60 ข้อ โดยแบ่งออกเป็นแบบทดสอบย่อย จำนวน 3 ฉบับ ฉบับละ 20 ข้อ ทั้งนี้เพื่อให้การทดสอบแต่ละฉบับใช้เวลาทดสอบไม่เกิน 20 นาที เนื่องจากถ้าให้ผู้ทดสอบทำแบบทดสอบนานเกินไปอาจส่งผลต่อการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองของผู้ทดสอบ ทำให้เกิดคลื่นไฟฟ้ารบกวนจากความเหนื่อยล้าได้ มีขั้นตอนการดำเนินการสร้างดังนี้

1. การออกแบบลำดับขั้นตอนการทดสอบแต่ละข้อ เพื่อแปลงแบบทดสอบความสามารถมิติสัมพันธ์จากข้อสอบแบบกระดาษ เป็นแบบข้อสอบผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Super Lab 4.5 มีรายละเอียดดังภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 แผนภาพขั้นตอนการทดสอบข้อสอบมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

เมื่อเข้าสู่โปรแกรมทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ โปรแกรมในหน้าต่างนี้จะแสดงข้อสอบออกมาทีละข้อ เพื่อให้ผู้รับการทดสอบอ่านข้อคำถามจนเข้าใจ แล้วจึงกดปุ่ม Enter จากนั้นโปรแกรมจะแสดงเครื่องหมายกากบาท (+) เป็นเวลา 1,000 มิลลิวินาที เพื่อเตรียมความพร้อม หลังจากนั้นจะแสดงข้อสอบที่ละข้อ ผู้รับการทดสอบจะต้องเลือกคำตอบเพียงคำตอบเดียว ด้วยการกดปุ่ม A, B, C หรือ D บนแป้นพิมพ์ จากนั้นหน้าจอจะปรากฏเครื่องหมายกากบาท (+) มาอีกครั้ง เป็นเวลา 1,000 มิลลิวินาที และตามด้วยข้อสอบข้อต่อไปทันทีจนครบทุกข้อ เมื่อนำแบบทดสอบย่อยทั้ง 3 ชุด เข้าในโปรแกรม Super Lab 4.5 แล้วนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาดุษฎีนิพนธ์ และปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำต่อไป



ภาพที่ 3-9 หน้าต่างข้อสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

2. นำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 15 คน เพื่อดำเนินการสอบและหาเวลาเฉลี่ยของการตอบข้อสอบแต่ละข้อ พร้อมทั้งให้ค่าความยากของข้อสอบแต่ละข้อ

3. นำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่กำหนดเวลาจากการทดลองในข้อ 2. นำมาแก้ไขระยะเวลาของการดำเนินการสอบในแต่ละข้อ โดยกำหนดเวลาใหม่เป็น 2,000 มิลลิวินาที แล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ที่ที่มีลักษณะใกล้เคียง แต่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของเวลาและดำเนินการสอบแบบทดสอบ พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณภาพของแบบทดสอบทั้งรายข้อและรายฉบับ จากผลการวิเคราะห์ได้คัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายรายข้อ (p) ระหว่าง 0.57 – 0.80 และค่าอำนาจจำแนกรายข้อ (r) ระหว่าง 0.20 – 0.87 ปรากฏว่าข้อสอบมีคุณภาพจำนวน 51 ข้อ และไม่มีคุณภาพ จำนวน 9 ข้อ จากนั้นนำข้อสอบมีคุณภาพทั้ง 51 ข้อ ไปวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Cronbach’s Alpha Coefficient) (Lotrakul et al., 2008) มีค่าเท่ากับ 0.94 รายละเอียด ดังภาคผนวก จ

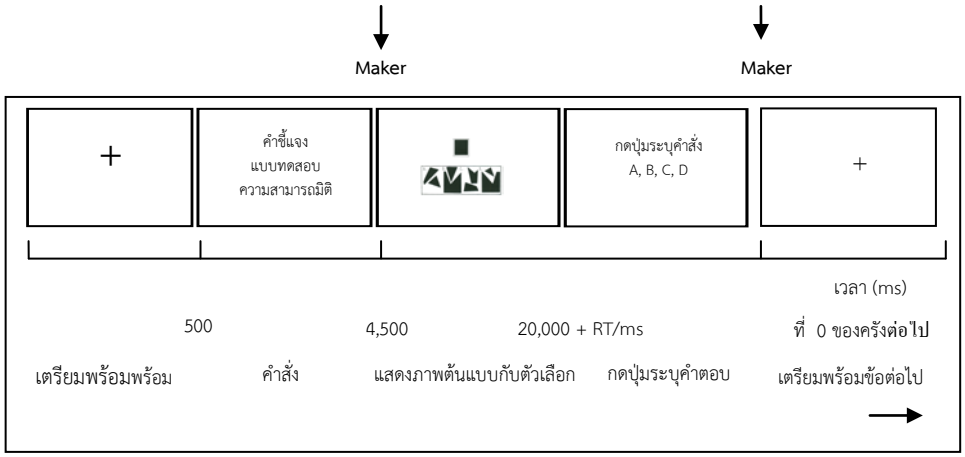
4. นำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่มีคุณภาพ จำนวน 51 ข้อ มาแบ่งเป็นแบบทดสอบย่อยรวม 3 ฉบับ ฉบับละ 17 ข้อ ใช้เป็นแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนและหลังการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

การศึกษานำร่อง (Pilot Study)

การศึกษานำร่องเป็นการตรวจสอบช่วงเวลาที่เหมาะสมของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์แต่ละข้อ กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ที่มีลักษณะใกล้เคียง แต่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน โดยแบ่งการศึกษานำร่องออกเป็น 2 ครั้ง ดังต่อไปนี้

ครั้งที่ 1 ศึกษานำร่องกับนักเรียน จำนวน 15 คน ทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำเวลาเฉพาะข้อที่ตอบข้อสอบถูกมาคำนวณค่าเฉลี่ย และนำเวลาเฉลี่ยไปกำหนดเวลาให้กับข้อสอบเพื่อศึกษานำร่องครั้งที่ 2 กับนักเรียนกลุ่มใหม่

ครั้งที่ 2 การกำหนดเวลาตามเวลาเฉลี่ยให้กับแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์รายข้อที่ได้จากการศึกษานำร่องในครั้งที่ 1 ไปทดลองใช้กับนักเรียน จำนวน 15 คน จากนั้นนำเวลาเฉพาะข้อที่ตอบข้อสอบถูกที่บันทึกจากโปรแกรม Super Lab 4.5 มาคำนวณค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง และนำเวลาเฉลี่ยที่ได้ มาปรับเวลาใช้ในการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ฉบับก่อนการทดลองเพื่อนำไปกำหนด Maker เชื่อมสัญญาณกับเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองสำหรับใช้เก็บข้อมูลจริงต่อไป



ภาพที่ 3-10 ลำดับและเวลาการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของการบันทึกสัญญาณ (Maker)

4. วิธีดำเนินการทดลอง

การศึกษานี้แบ่งการดำเนินการทดลองออกเป็น 3 ระยะ มีรายละเอียดดังนี้

1. ระยะก่อนการทดลอง (Initial Stage)

ระยะก่อนการทดลองเป็นการดำเนินการเพื่อคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง มีดังนี้

1.1 ติดต่อประสานงานกับผู้อำนวยการโรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี เพื่อขออนุญาตดำเนินการประชาสัมพันธ์รับสมัครอาสาสมัครนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดในขั้นต้นเข้าร่วมโครงการวิจัย มีอาสาสมัครผ่านเกณฑ์จำนวน 90 คน

1.2 กำหนดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มด้วยวิธีการสุ่ม (Random Assignment) ด้วยการจับฉลาก และจัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลอง ซึ่งเป็นกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น จำนวน 30 คน และกลุ่มควบคุมซึ่งไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง จำนวน 30 คน

1.3 นัดหมายเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย พร้อมทั้งให้นักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย และให้ผู้ปกครองลงนามอนุญาต ก่อนดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

1.4 กำหนดตารางวัน เวลา เพื่อดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา (Centre of Excellence in Cognitive Science: CECoS) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม ก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

1.5 กำหนดตารางวัน เวลา ให้กับกลุ่มทดลองใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ณ โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

1.6 กำหนดตารางวัน เวลา เพื่อดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา (Centre of Excellence in Cognitive Science: CECoS) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม

อีกครั้งหนึ่ง หลังจากกลุ่มทดลองใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ให้แล้วเสร็จภายใน 4 สัปดาห์

2. ระยะทดลอง (Working Stage)

2.1 ระยะทดลอง เป็นระยะที่กลุ่มทดลอง จำนวน 30 คน ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า ผู้เข้าร่วมการทดลอง 4 คน ต้องเรียนพิเศษ และผู้เข้าร่วมการทดลอง 3 คน ต้องทำงาน ทำให้เหลือกลุ่มทดลอง จำนวน 23 คน จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม A จำนวน 11 คน และกลุ่ม B จำนวน 12 คน สลับวันกันมาฝึก โดยเริ่มจากกลุ่ม A เริ่มทำการฝึกวันที่ 22, 24, 26, 28 เมษายน พ.ศ. 2558 และวันที่ 2, 6, 8, 10, 12, 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ส่วนกลุ่ม B เริ่มทำการฝึกวันที่ 23, 25, 27, 29 เมษายน พ.ศ. 2558 และวันที่ 1, 3, 5, 7, 9, 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 โดยกลุ่ม A และกลุ่ม B จะมีตารางกำหนดวันและเวลาของแต่ละคน เริ่มตั้งแต่เวลา 08.00 - 19.30 น จำนวน 10 วัน วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที รายละเอียดตามตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ตารางการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ

อาทิตย์	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัส	ศุกร์	เสาร์
			A	B	A	B
A	B	A	B	หยุด	B	A
B	หยุด	B	A	B	A	B
A	B	A	A			

3. ระยะหลังการทดลอง (Final Stage)

หลังจากการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นเสร็จแล้ว กลุ่มตัวอย่างได้รับการเตรียมความพร้อมสำหรับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังต่อไปนี้

3.1 ทำความสะอาดหนังศีรษะด้วยสำลีชุบแอลกอฮอล์ 75% เพื่อขจัดเซลล์ที่ตายแล้วออกไปและลดความต้านทานบริเวณหนังศีรษะ

3.2 วัดขนาดศีรษะด้วยแถบวัดความยาว เพื่อเลือกขนาดหมวกอิลาสติกให้เหมาะสมกับขนาดศีรษะ โดยที่หมวกขนาดเล็ก สำหรับผู้ที่มีขนาดเส้นรอบศีรษะเท่ากับ 50 - 54 เซนติเมตร ขนาดกลาง สำหรับผู้ที่มีขนาดเส้นรอบศีรษะเท่ากับ 54 - 58 เซนติเมตร มีวิธีวัดโดยใช้แถบวัดความยาวจากจุดกึ่งกลางระหว่างหน้าผากกับจมูก (Nasion) ไปจนถึงรอยนูนด้านหลังศีรษะ (Inion) จากด้านหน้าไปยังด้านหลังเท่ากับกี่เซนติเมตร จากนั้นวัดจากจุด Nasion และ Inion ขึ้นไปเท่ากับ 10% ของความยาวที่วัดได้ในตอนแรก เช่น วัดจากด้านหน้าไปด้านหลังได้ 34 เซนติเมตร ก็ให้วัดขึ้นมา 3.4 เซนติเมตร และใช้ดินสอสีแบบลบออกได้ทำเครื่องหมายจุดระบุตำแหน่งไว้ จากนั้นใช้แถบวัดความยาวรอบศีรษะให้ผ่านจุดทั้งสอง แล้วเลือกขนาดหมวกให้ตรงกับความยาวที่วัดได้

3.3 สวมหมวกอิลาสติกที่มีขั้วไฟฟ้าภายในบนศีรษะของกลุ่มตัวอย่าง โดยให้ตำแหน่งขั้วไฟฟ้า FP1 และ FP2 อยู่ระหว่างจุดที่วัดจาก Nasion ขึ้นมา 10% จากนั้นยึดหมวกให้พอดีกับศีรษะของกลุ่มตัวอย่างจากด้านหน้าไปด้านหลัง ตรวจดูให้แน่ใจว่าตำแหน่งขั้วไฟฟ้าที่อยู่ภายในหมวก

อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยเฉพาะขั้วไฟฟ้าที่ต้องอยู่ในแนวกลางศีรษะ คือ FZ CZ และ PZ รวมทั้งตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอื่นด้วย

3.4 บรรจุเจลสำหรับนำสัญญาณไฟฟ้า (Conductive Gel) โดยใช้เข็มฉีดยาปลายทู่ (Blunt Needle) เบอร์ 15 ดูดเจลเข้าไปในหลอดฉีดยา (Syringe) เพื่อนำเจลไปบรรจุลงในตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับขั้วไฟฟ้าที่อยู่ใต้หมวกอิลาสติกจนครบทุกขั้วไฟฟ้า

3.5 ติดขั้วไฟฟ้าภายนอกชนิดติดกับผิวหนัง (Adhesive External Electrode) บริเวณด้านล่างของเบ้าตาขวา (Right Infraorbital Region) เพื่อบันทึกการเคลื่อนไหวของลูกตา (Electro -Occulogram: EOG) 1 ขั้ว และติดขั้วไฟฟ้าแบบหนีบบริเวณติ่งหูข้างขวา (A2) เพื่อเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrode) 1 ขั้ว

3.6 ให้กลุ่มตัวอย่างนั่งหน้าจอคอมพิวเตอร์บนเก้าอี้ในท่าที่สบาย ในห้องที่มีแสงไฟสลัว โดยนั่งห่างจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ประมาณ 80 เซนติเมตร ต่อสายจากทุกขั้วไฟฟ้าเข้ากับระบบบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของ BIOPAC Systems จากนั้นตรวจร่างกายกลุ่มตัวอย่างอีกครั้งโดยพยาบาลวิชาชีพ เพื่อให้แน่ใจว่ากลุ่มตัวอย่างพร้อมสำหรับทำกิจกรรมการทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

3.6.1 วัดอัตราการหายใจ (Respiratory Rate) ด้วยการนับการเคลื่อนไหวของทรวงอก ค่าปกติจะมีอัตราการหายใจ 12 - 20 ครั้งต่อนาที

3.6.2 วัดอุณหภูมิร่างกาย (Basal Body Temperature) ด้วยปรอทวัดไข้ (Thermometer) ค่าปกติจะมีอุณหภูมิร่างกาย 36.8 – 37.4 องศาเซลเซียส

3.6.3 วัดอัตราการเต้นของชีพจร (Heart rate) ด้วยการใช้เครื่องมือหูฟัง (Apical pulse) ค่าปกติจะมีอัตราการเต้นของชีพจร 60 - 100 ครั้งต่อนาที

3.6.4 วัดความดันโลหิต (Blood Pressure/ BP) ด้วยเครื่องมือวัดความดันที่แขน วัดความดันของหลอดเลือดแดงในขณะที่หัวใจบีบตัว หรือตัวบน (Systolic pressure) ค่าปกติอยู่ระหว่าง 114 - 127 มิลลิเมตรปรอท (mm.Hg) และวัดความดันของหลอดเลือดแดงในขณะที่หัวใจคลายตัวหรือ ตัวล่าง (Diastolic pressure) ค่าปกติอยู่ระหว่าง 77 - 83 มิลลิเมตรปรอท (mm.Hg)

เมื่อตรวจสอบผ่านตามวิธีการดังกล่าวข้างต้น และกลุ่มตัวอย่างมีความพร้อมแล้วจึงเริ่มทำกิจกรรมการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ รวม 3 ฉบับ ฉบับละ 17 ข้อ รวมทั้งสิ้น 51 ข้อ พร้อมกับบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองต่อเนื่องกันไป รวมเวลาในการทำแบบทดสอบประมาณคนละ 25 นาที โดยมีพยาบาลวิชาชีพเป็นผู้ดูแลตลอดระยะเวลาขณะทำการทดลอง อีกทั้งกลุ่มตัวอย่างสามารถออกจากกระบวนการทดลองได้ทุกเมื่อ หากรู้สึกไม่สบายทั้งร่างกายและจิตใจ โดยจะไม่มีผลกระทบใดถึงกลุ่มตัวอย่าง

3.7 บันทึกแฟ้มข้อมูลพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมองที่ได้จากการทำแบบทดสอบเพื่อนำไปใช้ในการดำเนินการกับข้อมูลต่อไป

3.8 เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ให้กลุ่มตัวอย่างทำความสะอาดศีรษะด้วยการสระผมในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้ให้ และเดินทางกลับ

3.9 ทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการทดลองครั้งต่อไป

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ มีขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ติดต่อประสานงานกับผู้อำนวยการโรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี เพื่อขออนุญาตดำเนินการประชาสัมพันธ์ รับสมัครอาสาสมัครนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดในขั้นต้นเข้าร่วมโครงการวิจัย ระหว่างวันที่ 11 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 มีอาสาสมัครผ่านเกณฑ์ จำนวน 90 คน

2. กำหนดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มด้วยวิธีการสุ่ม (Random Assignment) จำนวน 60 คน ด้วยการจับฉลาก และจัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มทดลองเป็นกลุ่มใช้การฝึกสมองโดยใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น จำนวน 30 คน และกลุ่มควบคุมเป็นกลุ่มไม่ใช้การฝึกสมอง จำนวน 30 คน

3. นัดหมายกลุ่มตัวอย่างเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย พร้อมตอบข้อซักถาม รวมทั้งให้นักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย และนำไปให้ผู้ปกครองลงนามอนุญาตก่อนดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัย ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง เมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2558

4. กำหนดตารางวัน เวลา เพื่อดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา (Centre of Excellence in Cognitive Science: CECoS) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนการทดลองของทั้ง 2 กลุ่ม จำนวน 46 คน กลุ่มทดลองเหลือระหว่างวันที่ 9 - 10 เมษายน 2558 และวันที่ 20 - 21 เมษายน 2558 ช่วงเช้า (เวลา 08.30 - 12.00 น.) และช่วงบ่าย (เวลา 13.00 - 17.30 น.) กลุ่มทดลองเหลือ จำนวน 46 คน เนื่องจากเจ็บป่วยขณะเข้าร่วมการทดลอง และเข้าร่วมการทดลองไม่ครบต้องเรียนพิเศษและช่วยทางบ้านทำงาน

5. กำหนดตารางวัน เวลา ให้กับกลุ่มทดลองจำนวน 23 คน เพื่อดำเนินการฝึกสมองโดยใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ณ ห้องปฏิบัติการ 102 โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม A จำนวน 11 คน และกลุ่ม B จำนวน 12 คน สลับวันกันมาฝึก โดยเริ่มจากกลุ่ม A เริ่มทำการฝึกวันที่ 22, 24, 26, 28 เมษายน พ.ศ. 2558 และวันที่ 2, 6, 8, 10, 12 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ส่วนกลุ่ม B เริ่มทำการฝึกวันที่ 23, 25, 27, 29 เมษายน พ.ศ. 2558 และวันที่ 1, 3, 5, 7, 9, 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 08.00 - 19.30 น ตามตารางเวลาที่กำหนดของแต่ละคน จำนวน 10 วัน วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที

6. กำหนดตารางวัน เวลา เพื่อดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา (Centre of Excellence in Cognitive Science: CECoS) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนการทดลองของทั้ง 2 กลุ่มอีกครั้งหนึ่ง หลังจากกลุ่มทดลองได้ฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว ระหว่างวันที่ 13 - 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 และวันที่ 16 - 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ช่วงเช้า (เวลา 08.00 - 12.00 น.) และช่วงบ่าย (เวลา 13.00 - 18.00 น.)

7. หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลจากกิจกรรมการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ที่บันทึกจากโปรแกรมสำเร็จรูป Super Lab 4.5 และข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป AcqKnowledge เรียบร้อยแล้ว มาดำเนินการจัดการข้อมูล ซึ่งในขั้นตอนการ

วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ได้รับการตรวจสอบข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้โดยอาจารย์ ยรรยง พันธ์สวัสดิ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เรียบร้อยแล้ว จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาดำเนินการ ดังนี้

7.1 ข้อมูลพฤติกรรมที่ได้จากกิจกรรมการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ดังนี้

7.1.1 คะแนนการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ถูกต้องโดยมีเกณฑ์การให้คะแนนตอบถูกให้เป็น 1 คะแนน ตอบผิดให้เป็น 0 คะแนน

7.1.2 ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ถูกต้อง คือ เวลาตั้งแต่ได้รับสิ่งเร้าจนกระทั่งกลุ่มตัวอย่างกดปุ่มตอบตัวเลือก A, B, C และ D มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที โดยนำเฉพาะเวลาที่ใช้ในการตอบข้อสอบถูกเท่านั้น มารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนข้อที่ตอบข้อสอบถูกต้อง ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยรายบุคคล

ตัวอย่างการคิดค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการตอบข้อสอบถูก โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ถูกต้อง เช่น กลุ่มตัวอย่างคนหนึ่งทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ถูกต้อง 33 ข้อ ใช้เวลาในการตอบข้อนั้น ๆ ถูกต้อง คือ 6,192 4,272 6,641 5,064 6,498 8,930 10,816 10,517 14,458 12,594 2,632 8,195 4,931 8,433 6,792 11,687 8,704 15,782 17,418 4,135 9,438 14,371 3,073 9,928 16,079 5,775 10,265 1,880 7,168 9,073 9,062 14,342 และ 13,490 มิลลิวินาที รวม 298,611 มิลลิวินาที คำนวณได้ดังนี้

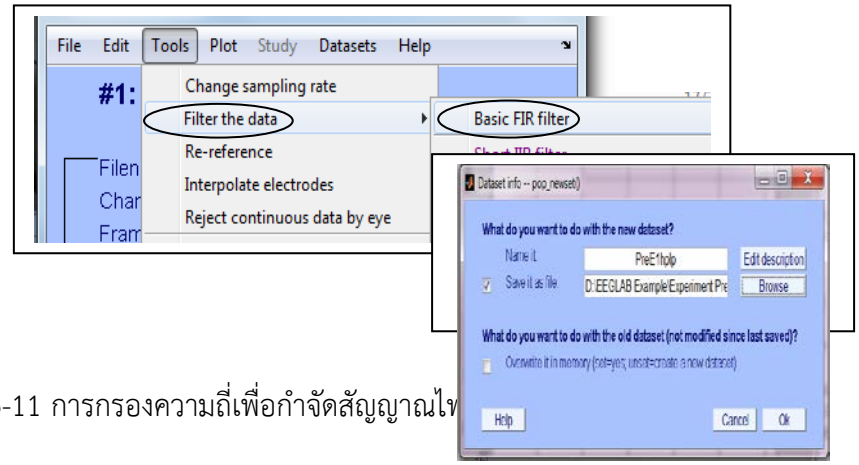
ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการตอบข้อสอบถูกของแต่ละคน = (6,192 + 4,272 + 6,641+ 5,064 + 6,498 + 8,930 +10,816 + 10517 + 14,458 + 12,594 + 2,632 + 8,195 + 4,931 + 8,433 + 6,792 + 11,687 + 8,704 + 15,782 +17,418 + 4,135 + 9,438 +14,371 +3,073+ 9,928 + 16,079 +5,775 10,265 + 1,880 + 7,168 + 9,073 + 9,062 +14,342 + 13,490) /33 = 9,048.81 มิลลิวินาที

ส่วนการคำนวณค่าเฉลี่ยเป็นรายกลุ่ม โดยนำเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ถูกต้องของทุกคนบวกกัน แล้วหารด้วยจำนวนข้อที่ตอบถูกทั้งหมดในแต่ละกลุ่ม

7.1.3 การวิเคราะห์ขนาดอิทธิพลอัตราการตอบข้อสอบถูกและเวลาเฉลี่ยในการตอบข้อสอบถูกเป็นข้อมูลเชิงพฤติกรรมของกลุ่มทดลองเปรียบเทียบระหว่างก่อนกับหลังการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

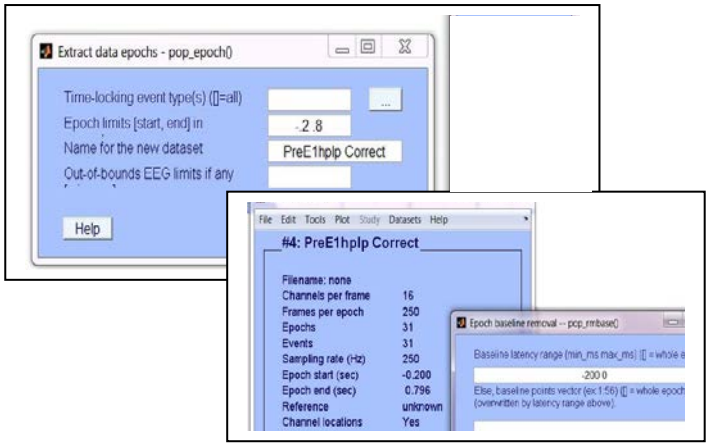
7.2 ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ โดยนำแฟ้มข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง (Continuous EEG Data) ที่บันทึกได้จากโปรแกรม AcqKnowledge 4.2 มานำข้อมูลออก (Export Data) โดยแปลงไปเป็นแฟ้มข้อมูลนามสกุล .txt เพื่อนำแฟ้มข้อมูลไปใช้ในการนำข้อมูลเข้า (Import Data) ไปยังโปรแกรมสำเร็จรูป EEG LAB v10.2.2.4b แฟ้มข้อมูลที่นำเข้าเรียบร้อยแล้ว จะมีนามสกุล .set จากนั้นนำแฟ้มข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองทางแกนความถี่ (Frequency Domain Analysis) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป EEG LAB v10.2.2.4b มีขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล ดังนี้

7.2.1 เรียกแฟ้มข้อมูลนามสกุล .set (ครั้งละ 1 แฟ้มข้อมูล) ซึ่งเป็นข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง มาทำการกรองความถี่ (Offline Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสิ่งรบกวนเบื้องต้นออก เช่น สัญญาณจากไฟฟ้าในบ้านเรือน การเคลื่อนไหวของกลุ่มตัวอย่าง เป็นต้น ซึ่งเป็นการกรองสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Filter) โดยวิธีการตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัด (Finite Impulse Response: FIR) เนื่องจากให้ผลตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้น (Linear Phase) ด้วยการกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF) ที่ 35 Hz เป็นการจำกัดความถี่สูง ยอมให้ความถี่ต่ำกว่า 35 Hz ผ่านไปได้ และกรองผ่านความถี่สูง (High Pass Filter: HPF) ซึ่งเป็นการจำกัดความถี่ต่ำ ยอมให้ความถี่สูงกว่า 0.1 Hz ผ่านไปได้ ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 การกรองความถี่เพื่อกำจัดสัญญาณไ

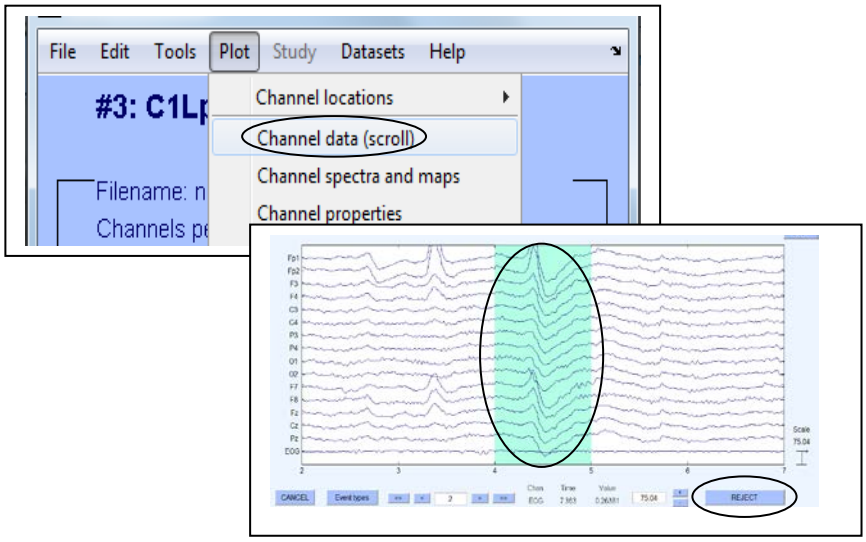
7.2.2 นำแฟ้มข้อมูลที่ผ่านการกรองความถี่แล้ว ในข้อ 7.2.1 มาทำการตัดข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง (Continuous EEG Data) ออกเป็นส่วน ๆ (Segmentation) หรือเรียกว่า การสกัดเหตุการณ์ที่ต้องการศึกษา (Extracting Epochs) ซึ่งกำหนดให้ข้อตอบถูกเป็น 1 ให้ข้อตอบผิดเป็น 0 จำแนกตามกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Experimental Group: E) กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง (Control Group: C) และจำแนกตามก่อนการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Pre - test: Pre) กับหลังการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Post - test: Post) เท่ากับ 4,500 มิลลิวินาที นับจาก 200 มิลลิวินาที ก่อน (Baseline) และหลังจากที่สิ่งเร้าคือ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ปรากฏ 3,800 มิลลิวินาที ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 การสกัดเหตุการณ์ที่ต้องการศึกษา

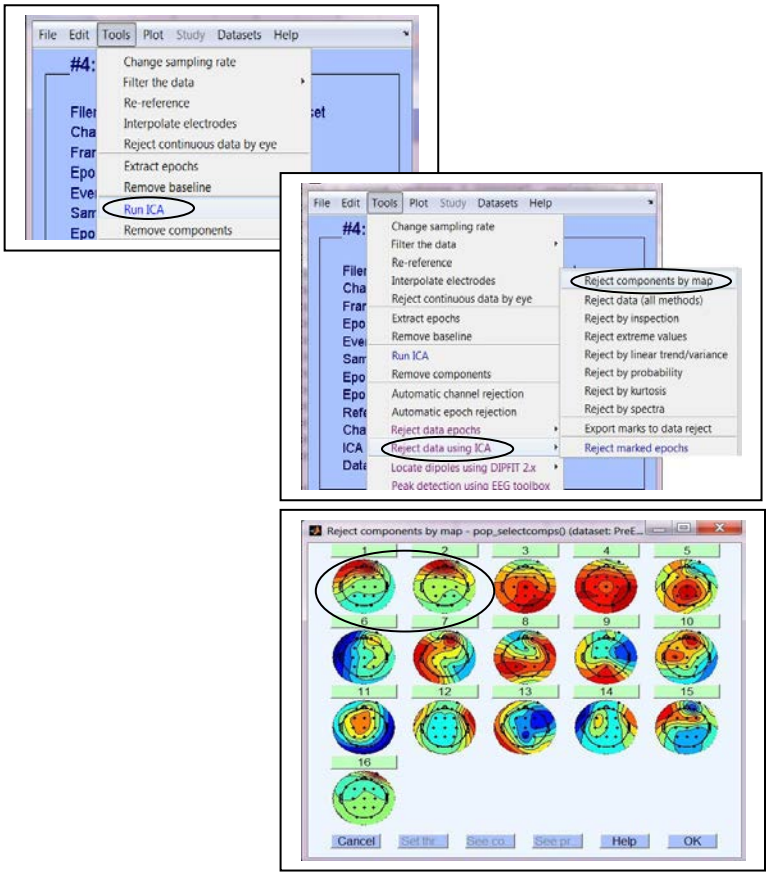
7.2.3 ตัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ณ ช่วงเวลา 200 มิลลิวินาที ก่อนที่สิ่งเร้าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลการตอบกลับ เพื่อแสดงให้ทราบผลการตอบ ซึ่งเรียกว่า Baseline Correction ทุก ๆ เหตุการณ์ (Epoch) จะถูกลบออกจาก Baseline โดยการนำค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (Mean Voltage) ในช่วงนี้ ลบออกจากรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองสำหรับแต่ละเหตุการณ์

7.2.4 ตัดสัญญาณไฟฟ้าที่ปะปนมากับคลื่นไฟฟ้าสมอง (Artifact Rejection) เป็นการกำจัดสัญญาณที่ปนเปื้อน เช่น การกระพริบตา การเคลื่อนไหวลูกตา และกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้า และคลื่นที่มีรูปแบบต่างไปจากคลื่นปกติ สามารถพิจารณาด้วยสายตา และพิจารณาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งกำหนดให้กำจัด Epoch ที่มีค่าสูงเกิน $\pm$75 ไมโครโวลท์ (μV) และหากลบ (Remove or Reject) Epoch ใดออกไปแล้ว ต้องทำ Baseline Correction อีกครั้ง ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-13 การกำจัดสัญญาณที่ปนเปื้อนกับคลื่นไฟฟ้าสมอง

7.2.5 การขจัดสิ่งรบกวนด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ เช่น สัญญาณที่เกิดจากการเคลื่อนไหวลูกตา การกรอกตา และการกระพริบตา รวมทั้งการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้าและศีรษะ โดยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ (Independent Components Analysis: ICA) เพื่อแยกสัญญาณไฟฟ้าสมองออกได้หลายองค์ประกอบ (Component) โดยแต่ละองค์ประกอบที่แยกออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าสมองที่มีความเป็นอิสระต่อกัน จากนั้นทำการลบองค์ประกอบที่เป็นสัญญาณรบกวนออก แล้วทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้งให้มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากัน เพื่อให้สามารถนำข้อมูลจากแต่ละคนมาเฉลี่ยรวมกันได้ ดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 การขจัดสิ่งรบกวนด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ

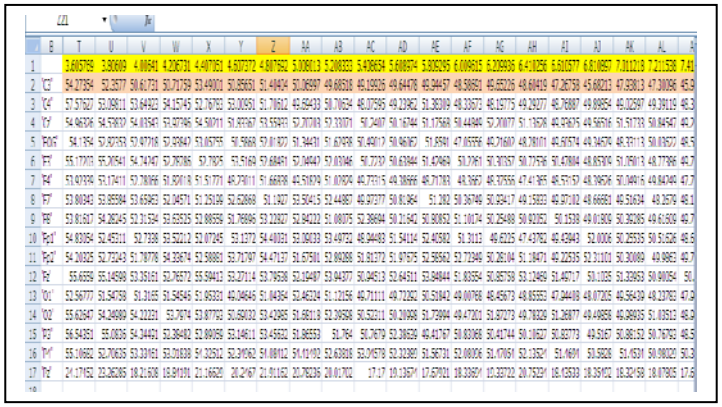
7.2.6 นำคลื่นไฟฟ้าสมองที่ปราศจากสัญญาณรบกวนในทุก ๆ Epoch (Artifact-Free Epoch) ในแต่ละเงื่อนไขมาหาค่าพลังงานเฉลี่ยของสเปคตรัม มีหน่วยเป็นไมโครโวลท์ ($\mu V^2/Hz$) (Power Spectral Density) เป็นรายคนและตามเงื่อนไข โดยการนำแฟ้มข้อมูลนามสกุล .set จากกลุ่มตัวอย่างทุกคน มารวมเป็นแฟ้มข้อมูลนามสกุล .study ดังนี้

7.2.6.1 คลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มทดลอง ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการใช้โปรแกรมการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ มี 2 แฟ้มข้อมูล คือ แฟ้มข้อมูลการตอบข้อสอบถูกก่อนการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่

แบบ 3 มิติ (Pre-test Experiment) และการตอบข้อสอบถูกหลังการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Post-test Experiment)

7.2.6.2 คลื่นไฟฟ้าสมองหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ กับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง มี 2 แฟ้มข้อมูล คือ แฟ้มข้อมูลการตอบข้อสอบถูกของกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Pos-test Experiment) และการตอบข้อสอบถูกของกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง (Post-test Control)

ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ Fast Fourier Transform (FFT) และคำนวณค่า Absolute Power (AP) โดยมีนามสกุล .datspec ซึ่งต้องนำข้อมูลออกไปยังโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Office Excel 2007 เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ดังภาพที่ 3-15



ภาพที่ 3-15 การนำข้อมูลออกไปยังโปรแกรมสำเร็จรูป

7.2.7 นำแฟ้มข้อมูล Absolute Power (AP) จากข้อ 7.2.6 มาจำแนกข้อมูลออกเป็น 5 ช่วงความถี่ คือ ช่วงคลื่นไฟฟ้าสมอง Theta (3.60 – 7.21) Alpha 1 (7.41 – 9.41) Alpha 2 (9.61 – 12.41 Hz) Beta 1 (12.62 – 17.43 Hz) และ Beta 2 (17.63 – 25.04 Hz) เพื่อคำนวณหาค่าพลังงานรวม (Total Power) (ระหว่าง 3.60 – 25.04 Hz) จากนั้นคำนวณค่า Relative Power (RP) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ Relative Power (RP)} = \boxed{\frac{\text{Absolute Power (AP)}}{\text{Total Power}}} \quad X\ 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่าพลังงานสัมพัทธ์ของช่วงคลื่นความถี่เธต้า (Theta) = 558.50 $\mu V^2/Hz$

ค่าพลังงานรวม = 5,276.49 $\mu V^2/Hz$

ดังนั้น ค่าพลังงานสัมพัทธ์ของคลื่นเธต้า = 558.50/5,276.49 x 100 = 19.08

7.3 นำค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงความถี่สำหรับการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพลังงานสัมพัทธ์ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ จำแนกตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ด้วยค่าสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent *t* - test)

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการทำงานของสมอง โดยจำแนกการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 5 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ค่าสถิติพื้นฐาน ด้วยการแจกแจงความถี่ และค่าร้อยละ

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีรายละเอียดดังนี้

1. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพัทธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ถูกต้อง และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพัทธ์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent *t* - test)

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานสัมพัทธ์ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1, Alpha 2, Beta 1และ Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent *t* - test)

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น และกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ดังนี้

1. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น และกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ถูกต้อง และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent *t* - test)

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น และกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบน

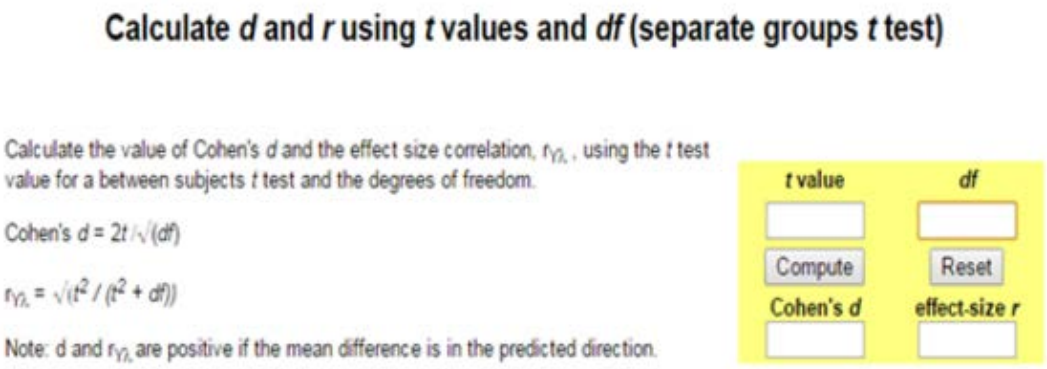
มาตรฐานของพลังงานสัมพัทธ์ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองAlpha 1, Alpha 2, Beta 1 และ Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent *t* - test)

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ดังนี้

1. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ถูกต้อง และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent *t* - test)

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานสัมพัทธ์ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองAlpha 1, Alpha 2, Beta 1 และ Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent *t* - test)

ตอนที่ 5 วิเคราะห์ขนาดอิทธิพล โดยการคำนวณ ออนไลน์ผ่าน เว็บไซต์ http://www.uccs.edu/~lbecker/ โดยการเติมสถิติ *t* - test และ *df* ดังภาพที่ 3-16



ภาพที่ 3-16 หน้าต่างการวิเคราะห์ขนาดอิทธิพล โดยการคำนวณออนไลน์ผ่านเว็บไซต์ http://www.uccs.edu/~lbecker/

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และเพื่อนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าระหว่างกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น โดยการศึกษาด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองซึ่งเป็นการศึกษาด้านพฤติกรรมและการทำงานของสมอง แบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

1. ผลการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ตอนที่ 2 ผลการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยพิจารณาจากข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

1. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

2. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าระหว่างกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

3. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงที่ใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

มีสัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

n	หมายถึง	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
Max	หมายถึง	ค่าสูงสุดของชุดข้อมูล
Min	หมายถึง	ค่าต่ำสุดของชุดข้อมูล
M	หมายถึง	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean)
SD	หมายถึง	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
df	หมายถึง	องศาอิสระ (Degrees of Freedom)
p	หมายถึง	ค่าความน่าจะเป็น (Probability)
t	หมายถึง	ค่าที่คำนวณได้จากสถิติทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกัน และกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกัน
ES	หมายถึง	ขนาดอิทธิพล (Effect Size)

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นสำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผลการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย แบ่งออกเป็น 2 ประเด็นดังนี้

1. ผลการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.1 ผลการกำหนดรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.2 ผลการจัดทำคู่มือการใช้งานรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

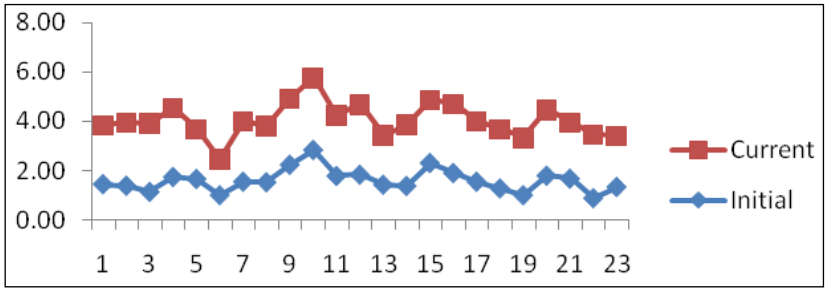
2.1 ผลการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

2.2 ผลการประเมินโดยผู้ฝึก

1. ผลการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.1 ผลการพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผลการกรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ปรากฏว่ากลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ20 นาที รวม10 วันมีผลการฝึกเริ่มต้นเปรียบเทียบกับหลังการฝึก ดังนี้ เวลาเริ่มต้นการฝึก (Initial Baseline) มีค่าเฉลี่ย 1.59 นาที มีค่าต่ำสุด 0.89 นาที และมีค่าสูงสุด 2.82 นาที ส่วนหลังจากการฝึก (Current Baseline) มีค่าเฉลี่ย 2.46นาที มีค่าต่ำสุด 1.46นาทีและมีค่าสูงสุด 2.95 นาที ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด 62.62 % โดยมีค่าต่ำสุด 4.60 % และมีค่าสูงสุดถึง 189.51 % ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4-1 ผลการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ

จากแผนภาพที่ 4-1 กลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นทุกคนมีคะแนนการฝึกดีขึ้นอย่างต่อเนื่องภายหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

1.2 ผลการจัดทำคู่มือการใช้งานรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผลการจัดทำคู่มือการใช้งานรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังภาพที่ 4-2 คู่มือประกอบด้วย คำชี้แจงข้อควรปฏิบัติในการใช้รูปแบบการฝึกสมอง อุปกรณ์ที่ต้องใช้ ขั้นเตรียมการก่อนฝึกและขั้นตอนการฝึก (รายละเอียดคู่มือการใช้งานกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายแสดงในภาคผนวก ฉ)

ภาพที่ 4-2 หน้าปกคู่มือการใช้งานรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังนี้

2.1 ผลการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

ผู้ทรงคุณวุฒิ ตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

ด้านที่ประเมิน	*M*	*SD*	ระดับความเหมาะสม
การดำเนินการตามขั้นตอนของรูปแบบการฝึกสมอง	4.25	0.29	มาก
การออกแบบรูปแบบการฝึกสมอง	4.29	0.55	มาก
ลักษณะทั่วไปของรูปแบบการฝึกสมอง	4.33	0.38	มาก
ภาพรวมของรูปแบบการฝึกสมอง	4.25	0.29	มาก
คู่มือการใช้รูปแบบการฝึกสมอง	4.33	0.38	มาก
ขนาดห้อง	4.25	0.29	มาก
อุปกรณ์	4.63	0.51	มากที่สุด
ตำแหน่งความห่างระหว่างโทรทัศน์กับผู้ฝึก	4.25	0.29	มาก
ฉากพื้นหลัง	4.25	0.29	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น	4.25	0.29	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.63	0.51	มากที่สุด
วิธีการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.25	0.29	มาก
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.29	0.55	มาก
ระยะเวลาในการจดจ่อความสนใจของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.33	0.38	มาก
เวลาที่ใช้ในการติดตามวัตถุ	4.25	0.29	มาก
วิธีการให้คะแนน	4.33	0.38	มาก
สรุปผลโดยรวม	4.32	0.37	มาก

จากตารางที่ 4-1 ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย แสดงให้เห็นว่ามีความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมาก (M = 4.32) แสดงว่ารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมที่ใช้เพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2.2 ผลการประเมินโดยผู้ฝึก

การประเมินแสดงว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้ฝึกเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแสนสุข จังหวัดชลบุรี กำลังศึกษาในปีการศึกษา 2557 ที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ให้นักเรียนแต่ละคนทดลองใช้รูปแบบการฝึก

สมองที่พัฒนาขึ้น วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที รวม 10 วัน แล้วทำการประเมิน ปรากฏว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมสำหรับใช้ฝึกนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ฝึก

ด้านที่ประเมิน	*M*	*SD*	ระดับความเหมาะสม
การดำเนินการตามขั้นตอนของรูปแบบการฝึกสมอง	4.22	0.38	มาก
การออกแบบรูปแบบการฝึกสมอง	4.11	0.19	มาก
ลักษณะทั่วไปของรูปแบบการฝึกสมอง	4.30	0.48	มาก
ภาพรวมของรูปแบบการฝึกสมอง	4.21	0.35	มาก
ขนาดห้อง	4.30	0.48	มาก
อุปกรณ์	4.64	0.35	มากที่สุด
ตำแหน่งความห่างระหว่างโทรทัศน์กับผู้ฝึก	4.11	0.19	มาก
ฉากพื้นหลัง	4.21	0.35	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น	4.11	0.19	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.22	0.38	มาก
วิธีการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.64	0.35	มากที่สุด
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.22	0.38	มาก
ระยะเวลาในการจดจ่อความสนใจของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.22	0.38	มาก
เวลาที่ใช้ในการติดตามวัตถุ	4.21	0.35	มาก
วิธีการให้คะแนน	4.30	0.48	มาก
สรุปผลโดยรวม	4.28	0.35	มาก

จากตารางที่ 4-2 ปรากฏว่า ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ฝึก แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก (M = 4.28)

จากผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้ฝึก ปรากฏว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก แสดงว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตาม

วัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมระดับมาก สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1

ตอนที่ 2 ผลการนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ ประวัติการบาดเจ็บที่ศีรษะ การมองเห็น การได้ยิน ความผิดปกติด้านร่างกาย ประวัติเกี่ยวกับสุขภาพจิต ความสามารถในการใช้คอมพิวเตอร์ และความถนัดการใช้มือ ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 จำนวนและร้อยละลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามตัวแปร

ลักษณะกลุ่มตัวอย่าง	กลุ่มทดลอง (n = 23)		กลุ่มควบคุม (n = 23)	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
เพศ				
ชาย	10	43.48	10	43.48
หญิง	13	56.52	13	56.52
อายุ				
16 ปี	1	4.35	1	4.35
17 ปี	4	17.39	5	21.74
18 ปี	18	78.26	17	73.91
โรคประจำตัว				
ไม่มี	23	100.00	23	100.00
ความถนัดการใช้มือ				
ถนัดมือขวา	23	100.00	23	100.00
การมองเห็น				
ปกติ	23	100.00	23	100.00
การได้ยิน				
ปกติ	23	100.00	23	100.00
ประวัติการบาดเจ็บที่ศีรษะ หรืออุบัติเหตุอย่างรุนแรง				
ไม่มี	23	100.00	23	100.00
ประวัติการเจ็บป่วยทางจิต				
ไม่มี	23	100.00	23	100.00
ความสามารถในการใช้คอมพิวเตอร์				
มี	23	100.00	23	100.00

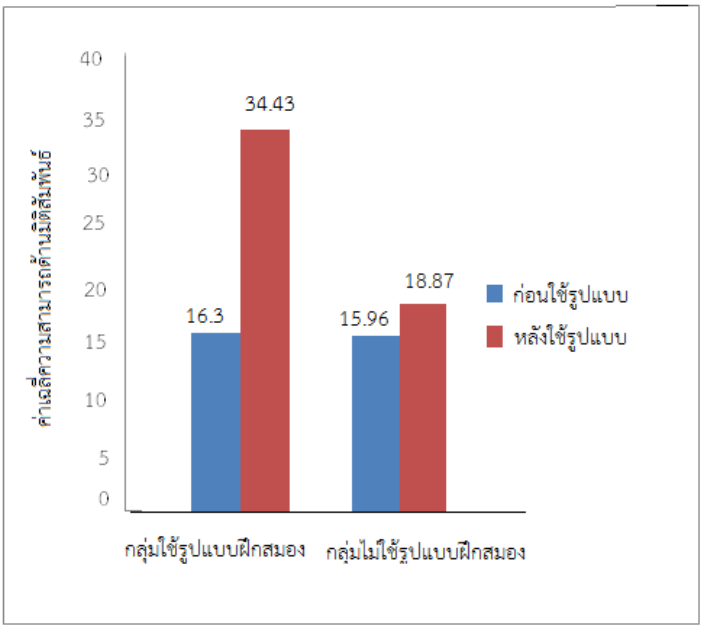
จากตารางที่ 4-3 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามตัวแปร กลุ่มทดลองส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 73.91 ส่วนใหญ่อายุ 18 ปี คิดเป็นร้อยละ 78.26 ทุกคนในกลุ่มไม่มีโรคประจำตัว ถนัดมือขวา มีการมองเห็นและการได้ยินปกติ ไม่มีประวัติการบาดเจ็บที่ศีรษะหรืออุบัติเหตุอย่างรุนแรง ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยทางจิต และมีความสามารถในการใช้คอมพิวเตอร์

กลุ่มควบคุมส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 73.91 ส่วนใหญ่อายุ 18 ปี คิดเป็นร้อยละ 73.91 ทุกคนในกลุ่มไม่มีโรคประจำตัว ถนัดมือขวา มีการมองเห็นและการได้ยินปกติ ไม่มีประวัติการบาดเจ็บที่ศีรษะหรืออุบัติเหตุอย่างรุนแรง ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยทางจิต และมีความสามารถในการใช้คอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4-4 คะแนนสูงสุด คะแนนต่ำสุด ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามเงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไขการทดลอง	กลุ่มทดลอง (n = 23)				กลุ่มควบคุม (n = 23)			
	Max	*Min*	*M*	*SD*	*Max*	*Min*	*M*	*SD*
ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์								
ก่อนการทดลอง	26	10	16.30	3.94	19	13	15.96	1.84
หลังการทดลอง	39	31	34.43	2.43	23	14	18.87	2.14

**p<.01



ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามเงื่อนไขการทดลอง

จากตารางที่ 4-4 และแผนภาพที่ 4-3 คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามเงื่อนไขการทดลอง ปรากฏว่า กลุ่มทดลอง (กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมอง)ก่อนการทดลอง ตอบข้อสอบถูกสูงสุด 26 คะแนน ตอบข้อสอบถูกน้อยที่สุด 10 คะแนน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 16.30 คะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 3.94 คะแนน กลุ่มทดลองหลังการทดลอง ตอบข้อสอบถูกสูงสุด 39 คะแนน ตอบข้อสอบถูกน้อยที่สุด 31 คะแนน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 34.43 คะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.43 คะแนน

กลุ่มควบคุม (กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง) ก่อนการทดลอง ตอบข้อสอบถูกสูงสุด 19 คะแนน ตอบข้อสอบถูกน้อยที่สุด 13 คะแนน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 15.96 คะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1.84 คะแนน กลุ่มควบคุมหลังการทดลอง ตอบข้อสอบถูกสูงสุด 23 คะแนน ตอบข้อสอบถูกน้อยที่สุด 14 คะแนน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 18.87 คะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.14 คะแนน

1. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ถูกต้อง และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent *t* - test) ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

คนที่	คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์	
	ก่อนการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ	หลังการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ
1	10	32
2	26	39
3	11	33
4	16	38
5	17	35
6	14	36
7	19	35
8	15	34
9	19	39

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

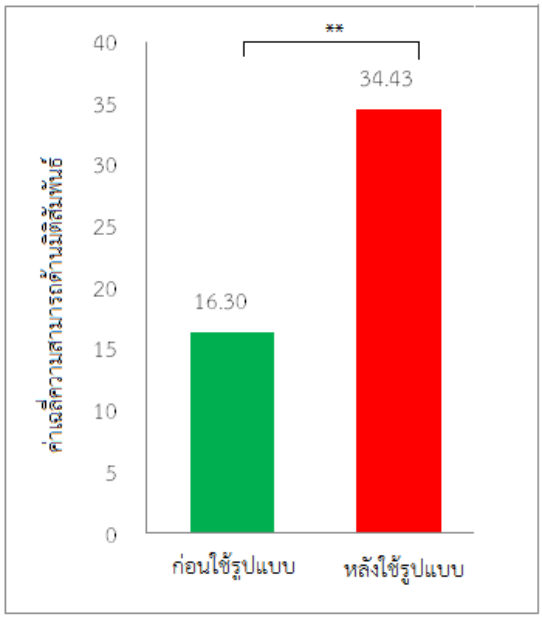
คนที่	คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์	
	ก่อนการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ	หลังการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ
10	16	37
11	20	32
12	14	37
13	12	34
14	13	32
15	21	35
16	14	35
17	17	32
18	18	31
19	18	36
20	15	32
21	11	34
22	23	35
23	16	32
Min	10	31
Max	26	39
M	16.30	34.43
SD	3.94	2.43

จากตารางที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ปรากฏว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ตอบข้อสอบถูกสูงสุด 26 คะแนน ตอบข้อสอบถูกน้อยที่สุด 10 คะแนน และหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ตอบข้อสอบถูกสูงสุด 39 คะแนน ตอบข้อสอบถูกน้อยที่สุด 31 คะแนน

ตารางที่ 4-6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (n = 23)

เงื่อนไขการทดลอง	*M*	*SD*	Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์						
ก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมอง	16.30	3.93	-18.13	-22.03**	.00	.98
หลังใช้รูปแบบการฝึกสมอง	34.43	2.42				

**p<.01



ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

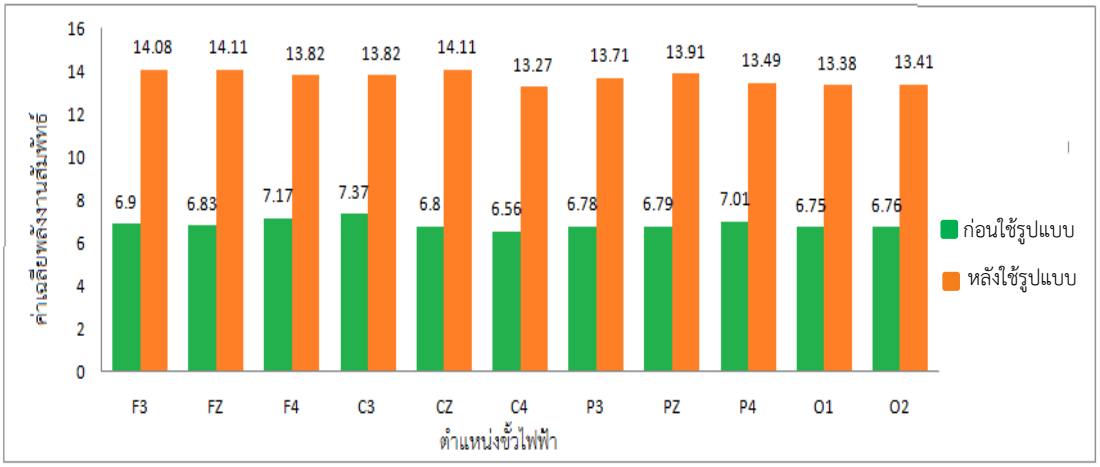
จากตารางที่ 4-6 และภาพที่ 4-4 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แสดงว่ารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ส่งผลให้กลุ่มทดลองมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.1

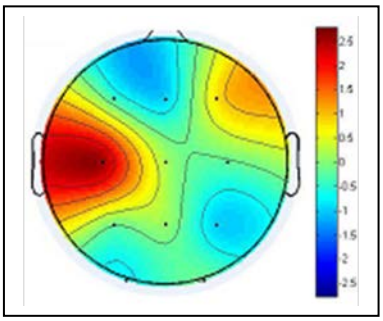
ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานสัมพัทธ์ และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 Alpha 2 Beta 1 และ Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน ดังตารางที่ 4-7 ถึง 4-10 และภาพที่ 4-5 ถึง 4-8

ตารางที่ 4-7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของคลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น จำแนกตามตำแหน่งของสมอง

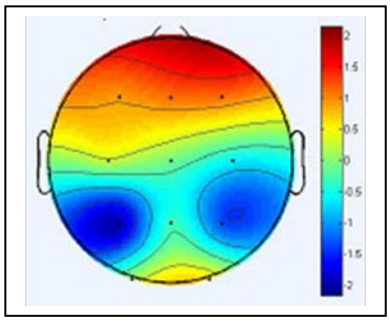
ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 (%)								
ตำแหน่งของสมองขั้วไฟฟ้า	ก่อนการทดลอง (*n*=23)		หลังการทดลอง (*n*=23)		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	6.90	1.71	14.08	1.92	-7.18	-16.67**	.00	.96
FZ	6.83	1.78	14.11	2.22	-7.27	-14.96**	.00	.95
F4	7.17	1.95	13.82	1.63	-6.64	-17.54**	.00	.96
สมองส่วนกลาง								
C3	7.37	1.83	13.82	1.96	-6.44	-13.93**	.00	.95
CZ	6.80	1.98	14.11	1.92	-7.31	-14.81**	.00	.95
C4	6.56	1.84	13.27	1.81	-6.71	-15.62**	.00	.96
สมองส่วนพาไรเอทัล								
P3	6.78	1.93	13.71	1.75	-6.92	-15.62**	.00	.96
PZ	6.79	1.89	13.91	2.05	-7.12	-16.07**	.00	.96
P4	7.01	1.97	13.49	1.68	-6.47	-15.21**	.00	.96
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	6.75	2.17	13.38	1.60	-6.63	-15.28**	.00	.96
O2	6.76	2.14	13.41	1.54	-6.65	-15.99**	.00	.96

**$p<.01$





ก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมอง



หลังใช้รูปแบบการฝึกสมอง

ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-7 และภาพที่ 4-5 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.1

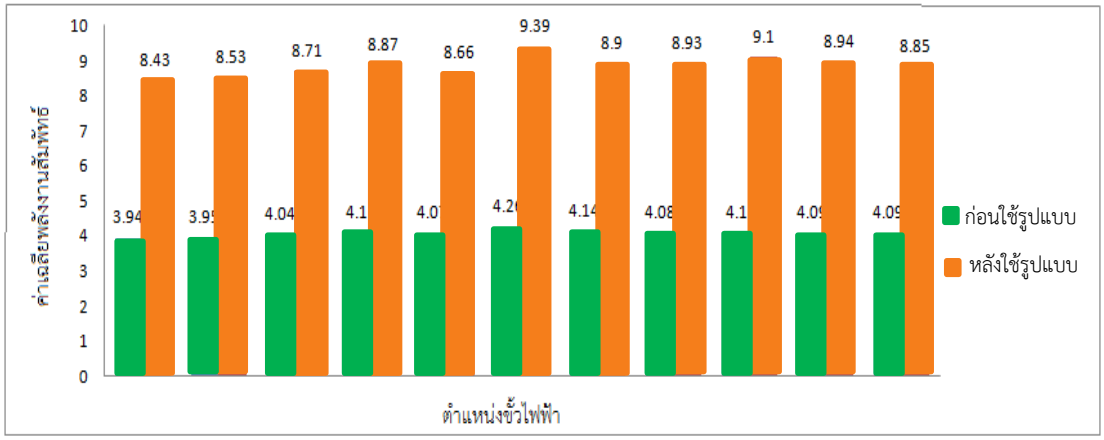
เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลองต่อใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ก่อนและหลังการทดลอง จำแนกตามตำแหน่งของสมอง ปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 หลังการทดลองมากกว่าก่อนการทดลอง แสดงว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha

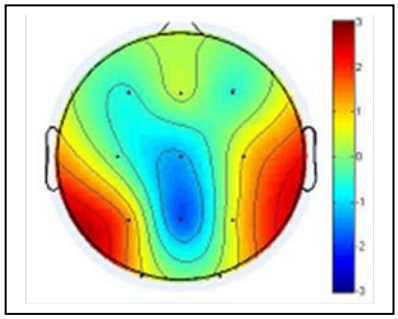
1 เพิ่มขึ้นในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4-8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n*=23)

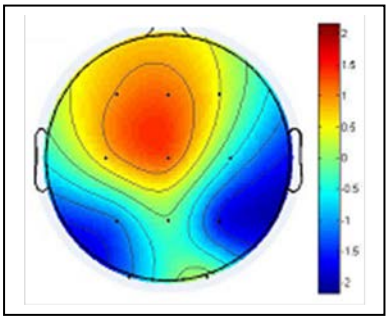
ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 (%)								
ตำแหน่งของสมอง	ก่อนการทดลอง (*n*=23)		หลังการทดลอง (*n*=23)		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	3.94	1.04	8.43	0.78	-4.48	-18.76**	.00	.97
FZ	3.95	0.99	8.53	1.03	-4.57	-17.09**	.00	.96
F4	4.04	1.01	8.71	0.70	-4.67	-18.75**	.00	.97
สมองส่วนกลาง								
C3	4.10	0.98	8.87	1.17	-4.77	-15.30**	.00	.96
CZ	4.07	1.00	8.66	0.77	-4.58	-19.61**	.00	.97
C4	4.26	1.04	9.39	1.22	-5.12	-17.32**	.00	.97
สมองพาไรเอทัล								
P3	4.14	0.99	8.90	1.02	-4.75	-17.63**	.00	.97
PZ	4.08	1.03	8.93	1.07	-4.85	-16.54**	.00	.96
P4	4.10	1.00	9.10	0.92	-4.99	-17.76**	.00	.97
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	4.09	0.90	8.94	1.00	-4.85	-16.70**	.00	.96
O2	4.09	0.93	8.85	0.80	-4.76	-19.92**	.00	.97

**$p<.01$





ก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมอง



หลังใช้รูปแบบการฝึก

ภาพที่ 4-6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-8 และภาพที่ 4-6 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.1

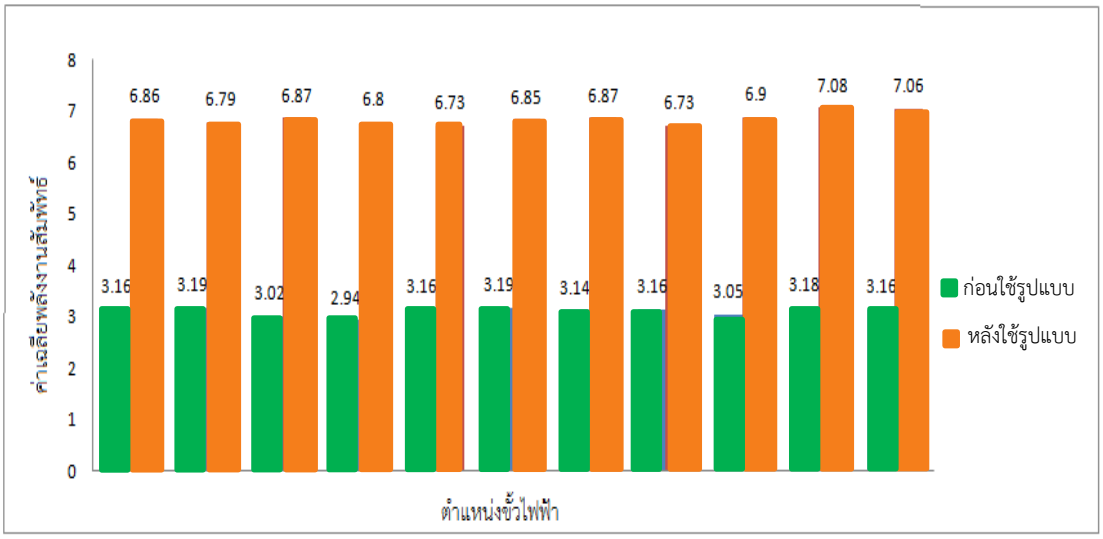
เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มทดลองต่อใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ก่อนและหลังการทดลอง จำแนกตามตำแหน่งของสมอง ปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 หลังการทดลองมากกว่าก่อนการทดลอง แสดงว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 เพิ่มขึ้นในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วน

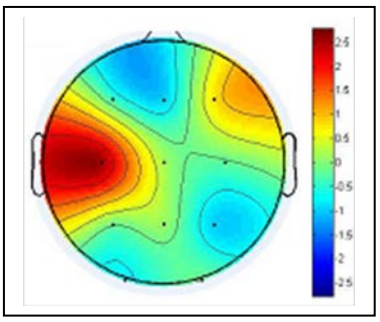
พาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n*=23)

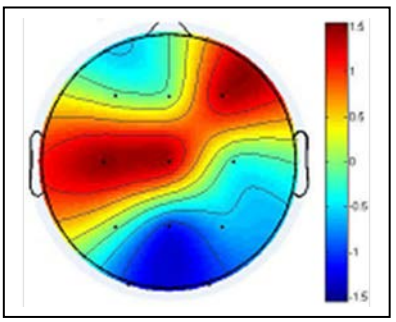
ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 (%)								
ตำแหน่งของสมอง	ก่อนการทดลอง (*n*=23)		หลังการทดลอง (*n*=23)		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	3.16	0.88	6.86	0.87	-3.70	-18.08**	.00	.97
FZ	3.19	0.87	6.79	1.03	-3.59	-15.62**	.00	.96
F4	3.02	0.78	6.87	0.79	-3.84	-18.96**	.00	.97
สมองส่วนกลาง								
C3	2.94	0.83	6.80	0.88	-3.86	-19.08**	.00	.97
CZ	3.16	0.84	6.73	0.89	-3.56	-16.85**	.00	.96
C4	3.19	0.85	6.85	0.85	-3.66	-19.44**	.00	.97
สมองส่วนพาไรเอทัล								
P3	3.14	0.78	6.87	0.81	-3.72	-20.03**	.00	.97
PZ	3.16	0.81	6.73	0.82	-3.55	-14.73**	.00	.95
P4	3.05	0.78	6.90	0.82	-3.84	-16.85**	.00	.96
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	3.18	0.75	7.08	0.74	-3.89	-23.33**	.00	.98
O2	3.16	0.71	7.06	0.74	-3.89	-21.64**	.00	.98

**$p<.01$





ก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมอง



หลังใช้รูปแบบการฝึกสมอง

ภาพที่ 4-7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-9 และภาพที่ 4-7 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ของกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.1

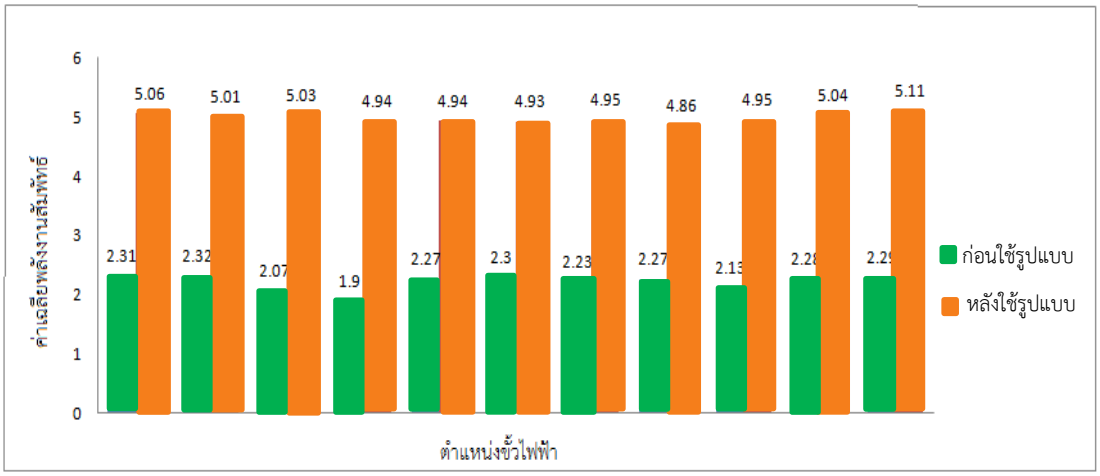
เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ของกลุ่มทดลองต่อการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ก่อนและหลังการทดลอง จำแนกตามตำแหน่งของสมอง ปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 หลังการทดลองมากกว่าก่อน

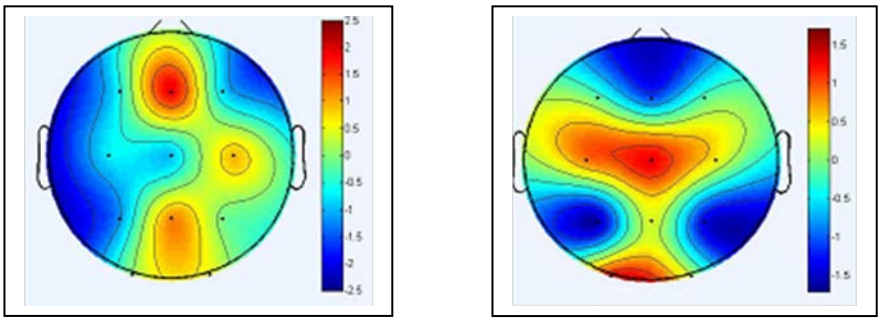
การทดลอง แสดงว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 เพิ่มขึ้นในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4-10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n*=23)

ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 (%)								
ตำแหน่งของสมองขั้วไฟฟ้า	ก่อนการทดลอง (*n*=23)		หลังการทดลอง (*n*=23)		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	2.31	0.67	5.06	0.79	-2.75	-17.20**	.00	.96
FZ	2.32	0.66	5.01	0.88	-2.67	-14.39**	.00	.95
F4	2.07	0.63	5.03	0.73	-2.96	-17.72**	.00	.97
สมองส่วนกลาง								
C3	1.90	0.63	4.94	0.76	-3.04	-17.37**	.00	.97
CZ	2.27	0.63	4.94	0.78	-2.66	-14.67**	.00	.95
C4	2.30	0.69	4.93	0.83	-2.62	-15.57**	.00	.96
สมองส่วนพาไรเอทัล								
P3	2.23	0.61	4.95	0.73	-2.71	-18.62**	.00	.97
PZ	2.27	0.63	4.86	0.80	-2.59	-12.97**	.00	.94
P4	2.13	0.62	4.95	0.75	-2.81	-15.12**	.00	.96
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	2.28	0.62	5.04	0.78	-2.75	-21.10**	.00	.98
O2	2.29	0.62	5.11	0.72	-2.81	-19.47**	.00	.97

**$p<.01$





ก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมอง

หลังใช้รูปแบบการฝึกสมอง

ภาพที่ 4-8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-10 และภาพที่ 4-8 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.1

เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มทดลองต่อการใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ก่อนและหลังการทดลองจำแนกตามตำแหน่งของสมอง ปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 หลังการทดลองมากกว่าก่อน

การทดลอง แสดงว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 เพิ่มขึ้นในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

2. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าระหว่างกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ กับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ถูกต้อง และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent *t* - test) ดังตารางที่ 4-11 ถึง 4-12 และภาพที่ 4-9

ตารางที่ 4-11 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n*=46)

คนที่	คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์	
	กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น	กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น
1	32	23
2	39	18
3	33	20
4	38	18
5	35	22
6	36	21
7	35	21
8	34	15
9	39	17
10	37	19
11	32	18
12	37	20

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

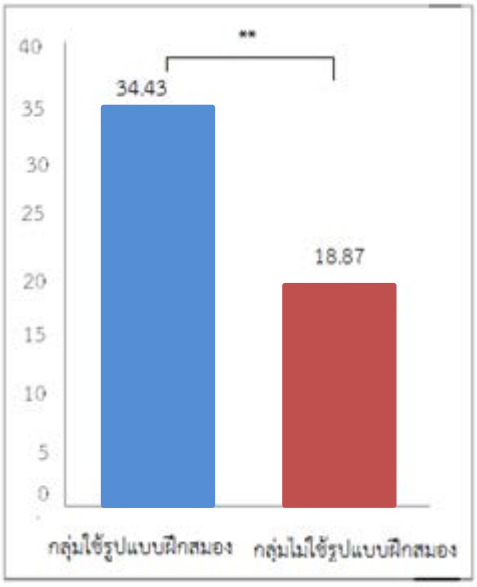
คนที่	คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์	
	กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น	กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น
13	34	19
14	32	20
15	35	21
16	35	17
17	32	20
18	31	18
19	36	17
20	32	18
21	34	20
22	35	18
23	32	
Min	31	14
Max	39	23
M	34.43	18.87
SD	2.42	2.13

จากตารางที่ 4-11 คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ตอบข้อสอบถูกสูงสุด 39 คะแนน ตอบข้อสอบถูกน้อยที่สุด 31 คะแนน และกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ตอบข้อสอบถูกสูงสุด 23 คะแนน ตอบข้อสอบถูกน้อยที่สุด 14 คะแนน

ตารางที่ 4-12 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้การฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n*=46)

ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์	*M*	*SD*	Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
กลุ่มใช้รูปแบบฝึกสมอง	34.43	2.43				
กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง	18.87	2.14	15.56	23.07**	0.00	.96

**p<.01



ภาพที่ 4-9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

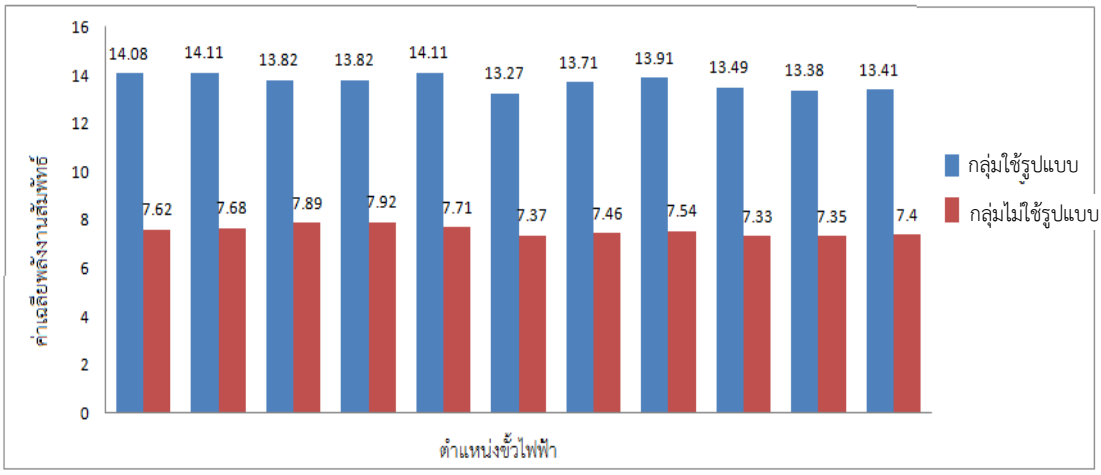
จากตารางที่ 4-12 และภาพที่ 4-9 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ สูงกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.1 แสดงว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ส่งผลให้กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อ 2.2

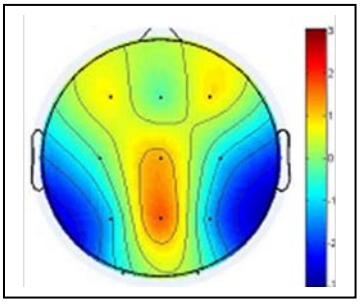
ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานสัมพัทธ์ และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1, Alpha 2, Beta 1 และ Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent T-Test) ดังตารางที่ 4-13 ถึง 4-16 และภาพที่ 4-10 ถึง 4-13

ตารางที่ 4-13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง (*n* = 46)

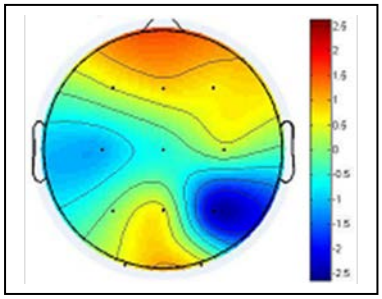
ตำแหน่งของสมองขั้วไฟฟ้า	กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น		กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	14.08	1.92	7.62	1.24	6.46	-13.55**	.00	.94
FZ	14.11	2.22	7.68	1.24	6.43	-12.14**	.00	.93
F4	13.82	1.63	7.89	1.10	5.94	-14.46**	.00	.95
สมองส่วนกลาง								
C3	13.82	1.96	7.92	1.19	5.90	-12.32**	.00	.95
CZ	14.11	1.92	7.71	1.15	6.40	-13.75**	.00	.95
C4	13.27	1.81	7.37	1.15	5.89	-13.20**	.00	.94
สมองส่วนพาไรเอทัล								
P3	13.71	1.75	7.46	1.23	6.26	-14.03**	.00	.95
PZ	13.91	2.05	7.54	1.24	6.37	-12.74**	.00	.94
P4	13.49	1.68	7.33	1.14	6.15	-14.55**	.00	.95
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	13.38	1.60	7.35	1.10	6.03	-14.93**	.00	.95
O2	13.41	1.54	7.40	1.26	6.01	-14.50**	.00	.95

**$p<.01$





กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมอง



กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

ภาพที่ 4-10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

จากตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-10 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) สูงกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.2

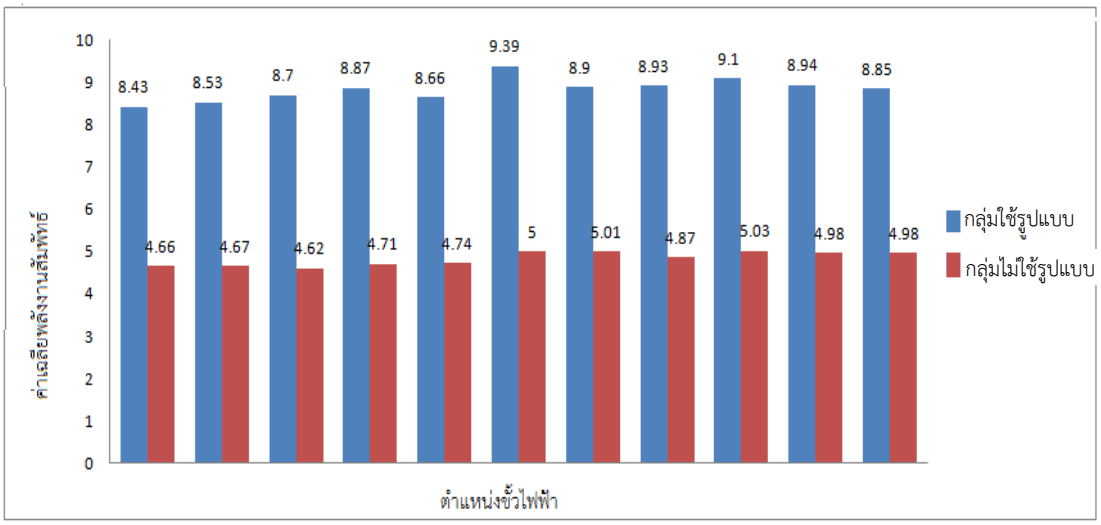
เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง จำแนกตามตำแหน่งของสมอง ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น หลังการทดลองในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรม

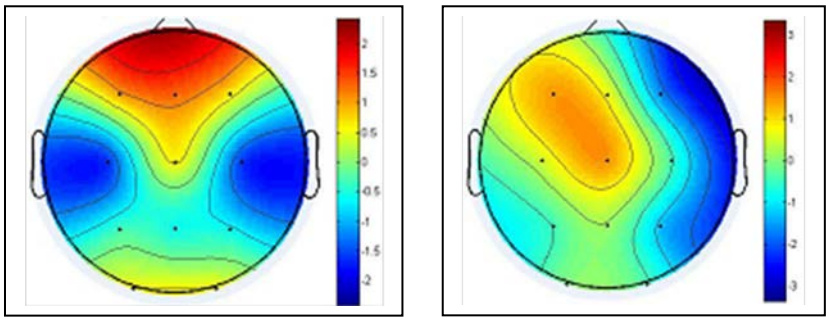
การติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 มากกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง แสดงว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 เพิ่มขึ้นในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4-14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n* = 46)

ตำแหน่งของสมองขั้วไฟฟ้า	กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น		กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	8.43	0.78	4.66	0.62	3.76	18.22**	.00	.97
FZ	8.53	1.03	4.67	0.70	3.85	14.09**	.00	.95
F4	8.7	0.70	4.62	0.68	4.08	20.07**	.00	.97
สมองส่วนกลาง								
C3	8.87	1.17	4.71	0.57	4.17	15.34**	.00	.96
CZ	8.66	0.77	4.74	0.65	3.91	18.75**	.00	.97
C4	9.39	1.22	5.00	0.83	4.39	14.29**	.00	.95
สมองส่วนพาไรเอทัล								
P3	8.90	1.02	5.01	0.81	3.88	14.28**	.00	.95
PZ	8.93	1.07	4.87	0.67	4.07	15.45**	.00	.96
P4	9.10	0.92	5.03	0.88	4.07	15.42**	.00	.96
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	8.94	1.00	4.98	0.80	3.96	14.83**	.00	.95
O2	8.85	0.80	4.98	0.82	3.88	16.25**	.00	.96

**$p<.01$





กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมอง กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

ภาพที่ 4-11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

จากตารางที่ 4-14 และภาพที่ 4-11 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ผลปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.2

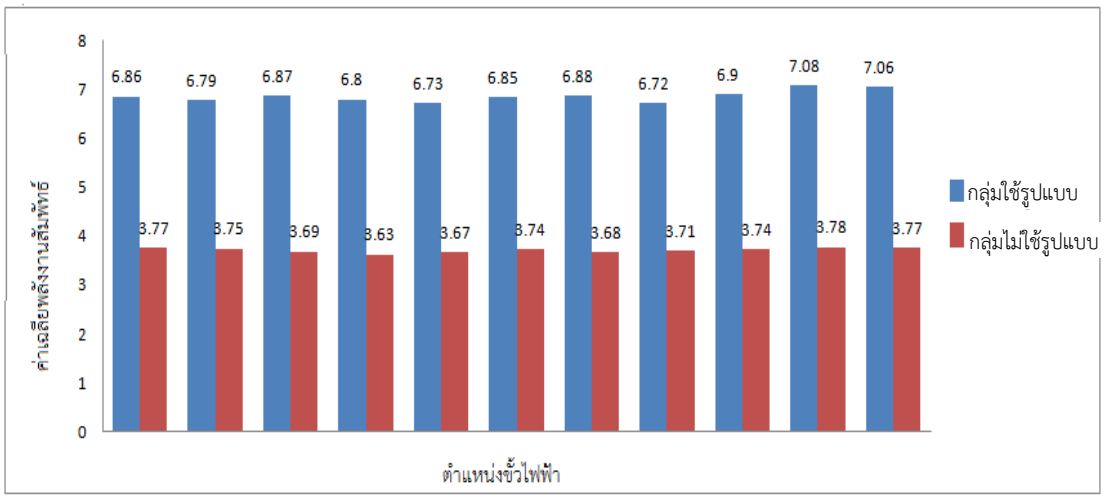
เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง หลังการทดลอง จำแนกตามตำแหน่งของสมอง ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น หลังการทดลอง ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่

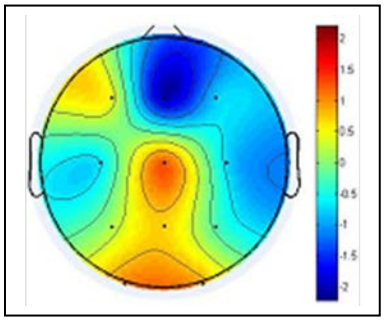
คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 มากกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง แสดงว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 เพิ่มขึ้นในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4-15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n* = 46)

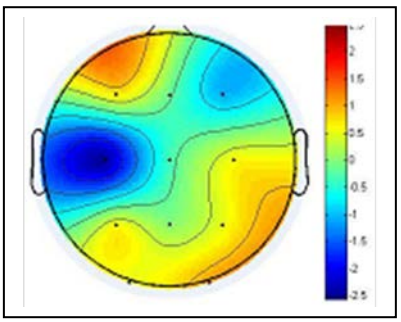
ตำแหน่งของสมองขั้วไฟฟ้า	กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น		กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	6.86	0.87	3.77	0.52	3.10	14.58**	.00	.95
FZ	6.79	1.03	3.75	0.56	3.03	12.43**	.00	.94
F4	6.87	0.79	3.69	0.55	3.18	15.83**	.00	.96
สมองส่วนกลาง								
C3	6.80	0.88	3.63	0.49	3.17	15.17**	.00	.96
CZ	6.73	0.89	3.67	0.64	3.06	13.44**	.00	.94
C4	6.85	0.85	3.74	0.58	3.11	14.52**	.00	.95
สมองส่วนพาไร								
เอทัล	6.88	0.81	3.68	0.53	3.19	15.80**	.00	.96
P3	6.72	0.82	3.71	0.57	3.02	14.54**	.00	.95
PZ	6.90	0.82	3.74	0.50	3.16	15.81**	.00	.96
P4								
สมองส่วนท้ายทอย	7.08	0.74	3.78	0.58	3.30	16.87**	.00	.96
O1	7.06	0.74	3.77	0.58	3.29	16.75**	.00	.96
O2								

**$p<.01$





กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมอง



กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

ภาพที่ 4-12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-15 และภาพที่ 4-12 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ผลปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.2

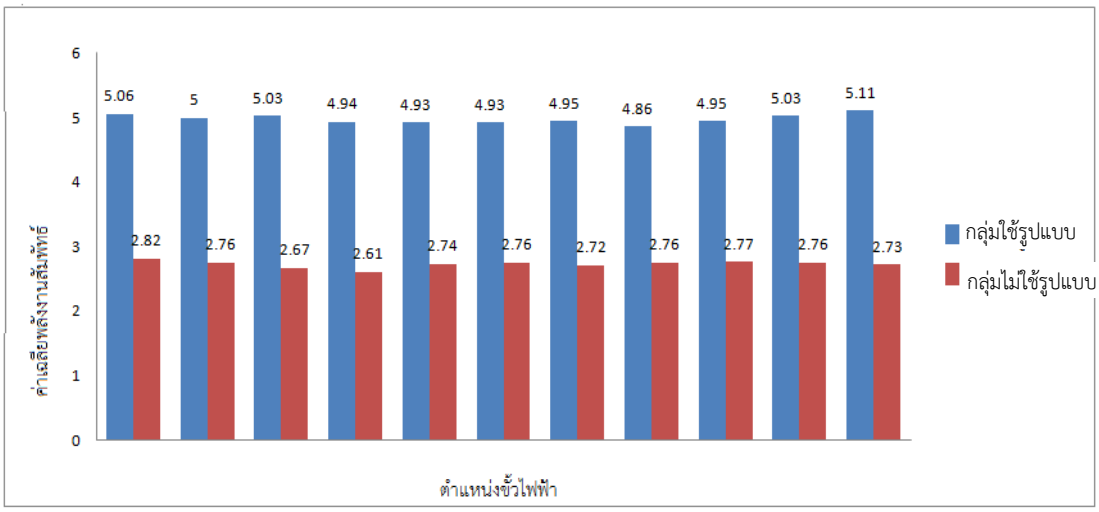
เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ของกลุ่มฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง หลังการทดลอง จำแนกตามตำแหน่งของสมอง ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น หลังการทดลอง ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย

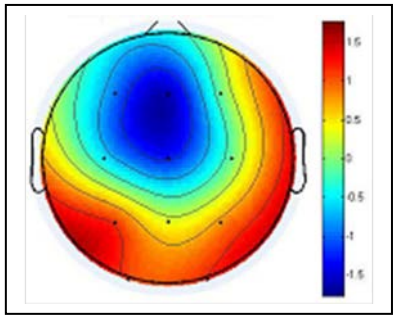
(Occipital Lobe) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 มากกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง แสดงว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 เพิ่มขึ้นในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4-16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n* = 46)

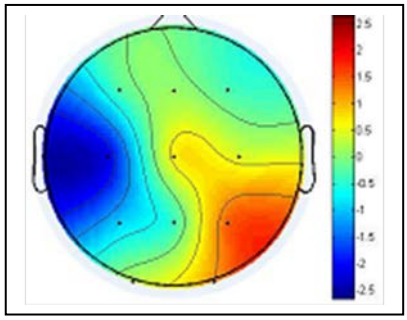
ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าสมอง	กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น		กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	5.06	0.79	2.82	0.49	2.25	11.67**	.00	.93
FZ	5.00	0.88	2.76	0.50	2.24	10.62**	.00	.91
F4	5.03	0.73	2.67	0.50	2.36	12.76**	.00	.94
สมองส่วนกลาง								
C3	4.94	0.76	2.61	0.49	2.33	12.35**	.00	.93
CZ	4.93	0.78	2.74	0.58	2.19	10.79**	.00	.92
C4	4.93	0.83	2.76	0.53	2.17	10.50**	.00	.93
สมองส่วนพาไรเอทัล								
P3	4.95	0.73	2.72	0.53	2.24	11.85**	.00	.91
PZ	4.86	0.80	2.76	0.56	2.10	10.33**	.00	.93
P4	4.95	0.75	2.77	0.50	2.18	11.54**	.00	.93
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	5.03	0.78	2.76	0.53	2.28	11.56**	.00	.93
O2	5.11	0.72	2.73	0.60	2.39	12.17**	.00	.93

**$p<.01$





กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมอง



กลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง

ภาพที่ 4-13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-16 และภาพที่ 4-13 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ผลปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.2

เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง หลังการทดลอง จำแนกตามตำแหน่งของสมอง ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น หลังการทดลอง ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มใช้รูปแบบการฝึก

สมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 มากกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง แสดงว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 เพิ่มขึ้นในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

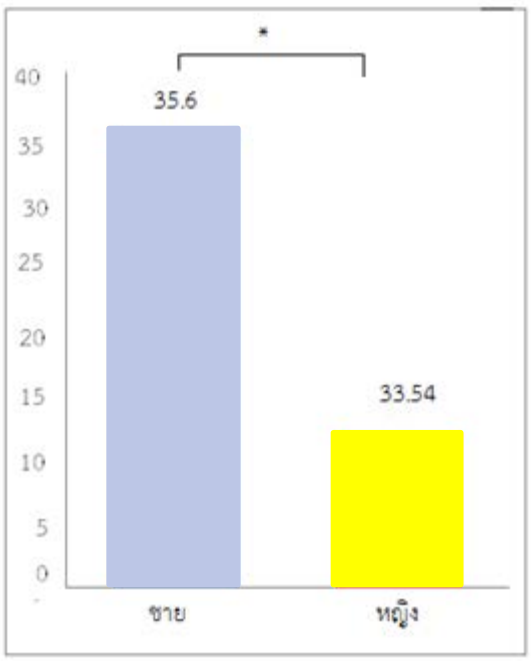
3. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha1, Alpha 2, Beta 1, และ Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4-17 ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น (*n*=23)

เพศ	*M*	*SD*	Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์						
ชาย	35.60	2.84	2.06	2.19*	0.04	.42
หญิง	33.54	1.67				

*$p<.05$



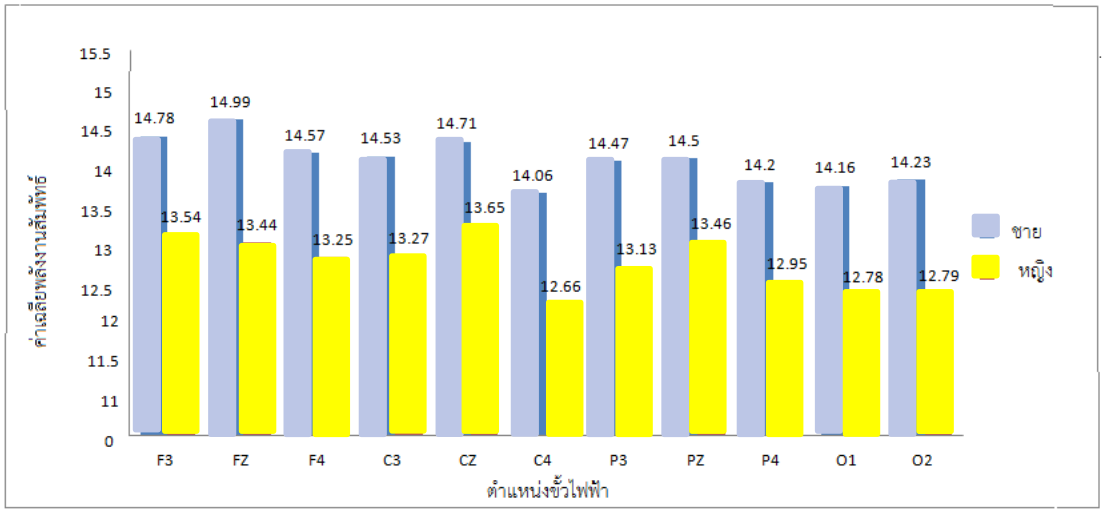
ภาพที่ 4-14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-17 และภาพที่ 4-14 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยกลุ่มทดลองเพศชายมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่าเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อ 2.3

ตารางที่ 4-18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตำแหน่งของสมองขั้วไฟฟ้า	เพศชาย		เพศหญิง		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	14.78	2.02	13.54	1.72	1.24	1.59	.13	.68
FZ	14.99	2.51	13.44	1.78	1.55	1.74	.10	.74
F4	14.57	1.37	13.25	1.63	1.32	2.06	.05	.89
สมองส่วนกลาง								
C3	14.53	1.85	13.27	1.93	1.26	1.58	.13	.67
CZ	14.71	2.05	13.65	1.74	1.05	1.33	.20	.57
C4	14.06	1.75	12.66	1.67	1.39	1.94	.07	.83
สมองส่วนพาไรเอทัล								
P3	14.47	1.45	13.13	1.78	1.35	1.95	.07	.83
PZ	14.50	2.47	13.46	1.62	1.04	1.22	.24	.52
P4	14.20	1.82	12.95	1.39	1.25	1.87	.08	.80
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	14.16	1.47	12.78	1.46	1.38	2.23*	.04	.95
O2	14.23	1.59	12.79	1.21	1.44	2.46*	.02	.98

*$p<.05$



ภาพที่ 4-15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

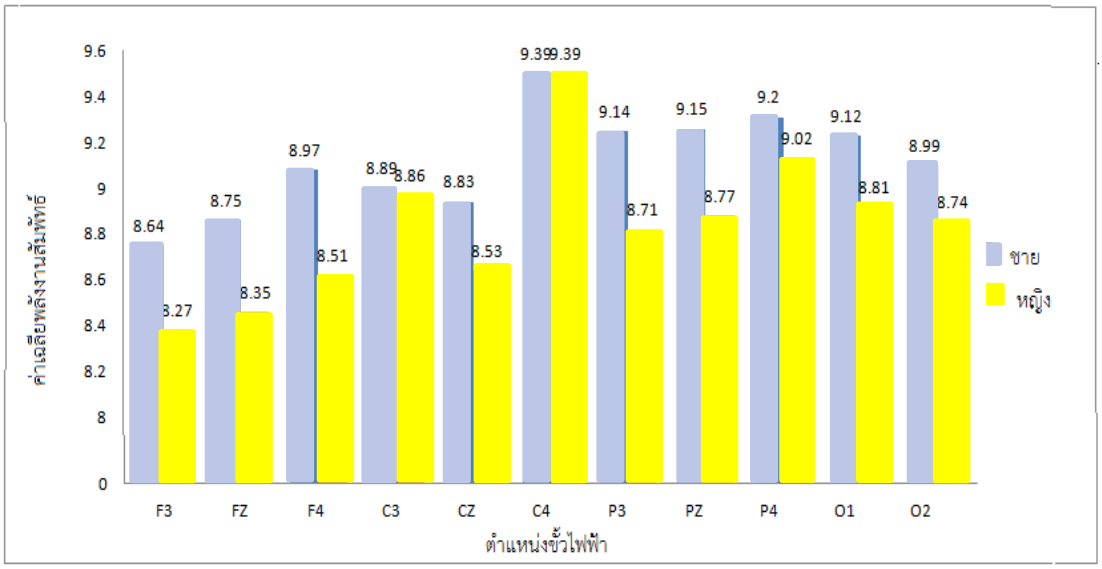
จากตารางที่ 4-18 และภาพที่ 4-15 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ไม่แตกต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.3

เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายและเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น หลังการทดลอง ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) ไม่แตกต่างกัน แต่ในสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 โดยกลุ่มทดลองเพศชายมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 สูงกว่าเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4-19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตำแหน่งของสมองขั้วไฟฟ้า	เพศชาย		เพศหญิง		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	8.64	0.89	8.27	0.67	0.37	1.13	.27	.48
FZ	8.75	1.33	8.35	0.73	0.40	0.92**	.00	.39
F4	8.97	0.81	8.51	0.56	0.46	1.62**	.00	69
สมองส่วนกลาง								
C3	8.89	0.88	8.86	1.39	0.03	0.05**	.00	.02
CZ	8.83	0.80	8.53	0.74	0.30	0.93**	.00	.40
C4	9.39	1.36	9.39	1.15	-0.00	0.62**	.00	.26
สมองส่วนพาไร								
เอทัล	9.14	0.98	8.71	1.05	0.43	1.01**	.00	.43
P3	9.15	0.97	8.77	1.15	0.37	0.82**	.00	.35
PZ	9.20	0.86	9.02	0.98	0.18	0.47**	.00	.20
P4								
สมองส่วนท้ายทอย	9.12	0.96	8.81	1.04	0.31	0.72**	.00	.31
O1	8.99	0.93	8.74	0.70	0.24	0.72**	.00	.31
O2								

*p<.01



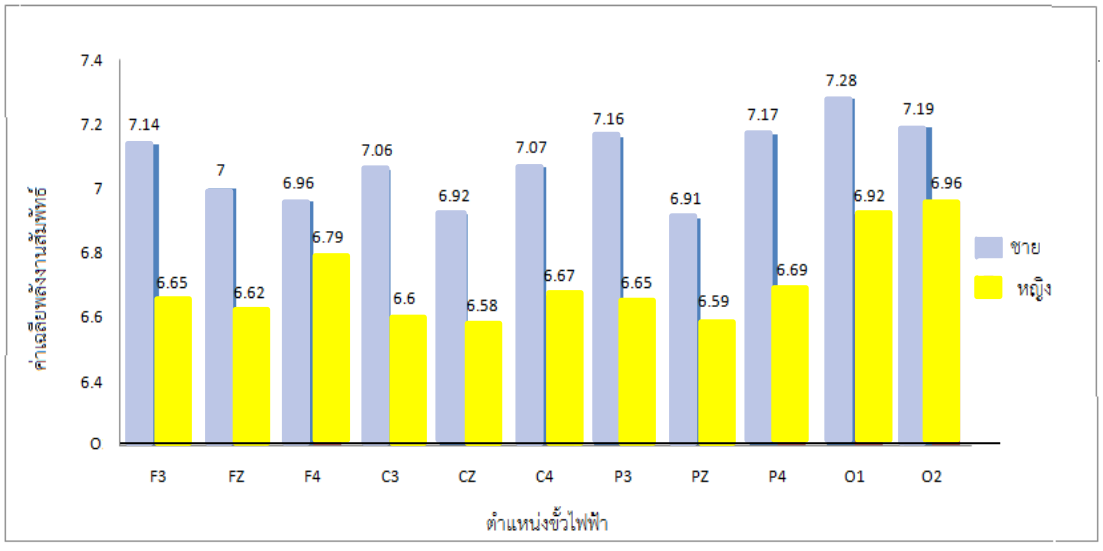
ภาพที่ 4-16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-19 และภาพที่ 4-16 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.3

เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP)ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น หลังการทดลองในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มทดลองระหว่างเพศชาย หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 มากกว่าเพศหญิง แสดงว่า เพศชายมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 เพิ่มขึ้นในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe)

ตารางที่ 4-20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตำแหน่งของสมอง ขั้วไฟฟ้า	เพศชาย		เพศหญิง		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	7.14	0.93	6.65	0.80	0.49	1.35	0.19	.58
FZ	7.00	1.25	6.62	0.83	037	0.86	0.40	.37
F4	6.96	0.91	6.79	0.72	0.17	0.49	0.63	.21
สมองส่วนกลาง								
C3	7.06	0.82	6.60	0.90	0.46	1.27	0.22	.54
CZ	6.92	0.98	6.58	0.81	0.34	0.91	0.37	.39
C4	7.07	0.92	6.67	0.78	0.40	1.11	0.28	.47
สมองส่วนพาไรเอทัล								
P3	7.16	0.71	6.65	0.83	0.51	1.54	0.14	.66
PZ	6.91	0.79	6.59	0.84	0.32	0.93	0.36	.40
P4	7.17	0.76	6.69	0.83	0.48	1.43	0.17	.61
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	7.28	0.73	6.92	0.73	0.36	1.17	0.25	.50
O2	7.19	0.81	6.96	0.70	0.22	0.71	0.48	.30



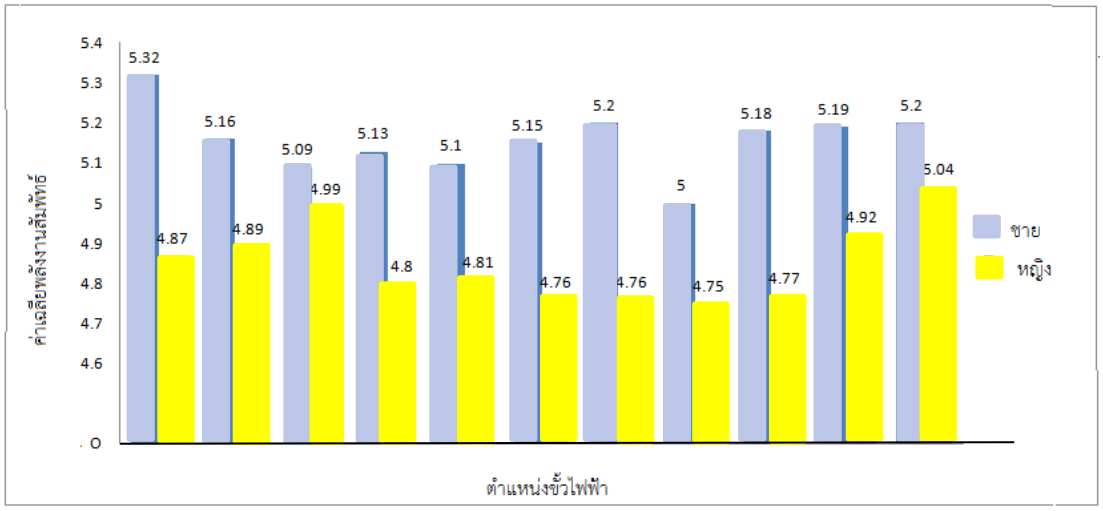
ภาพที่ 4-17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-20 และภาพที่ 4-17 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ไม่แตกต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.3

เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น หลังการทดลอง ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ตำแหน่งของสมองขั้วไฟฟ้า	เพศชาย		เพศหญิง		Mean Difference	*t*	*p*	*ES*
	M	*SD*	*M*	*SD*				
สมองส่วนหน้า								
F3	5.32	0.75	4.87	0.78	0.45	1.39	.18	.59
FZ	5.16	1.00	4.89	0.80	0.27	0.73	.48	.31
F4	5.09	0.77	4.99	0.74	0.10	0.31	.76	.13
สมองส่วนกลาง								
C3	5.13	0.64	4.80	0.84	0.34	1.05	.31	.45
CZ	5.10	0.83	4.81	0.75	0.29	0.89	.38	.38
C4	5.15	0.80	4.76	0.85	0.38	1.09	.29	.46
สมองส่วนพาไรเอทัล								
P3	5.20	0.60	4.76	0.79	0.43	1.44	.17	.41
PZ	5.00	0.70	4.75	0.88	0.25	0.74	.47	.32
P4	5.18	0.60	4.77	0.83	0.41	1.30	.21	.55
สมองส่วนท้ายทอย								
O1	5.19	0.70	4.92	0.85	0.28	0.84	.41	.36
O2	5.20	0.69	5.04	0.76	0.17	0.54	.60	.23



ภาพที่ 4-18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-21 และภาพที่ 4-18 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ไม่แตกต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.3

เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น หลังการทดลอง ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) ไม่แตกต่างกัน

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และเพื่อนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าระหว่างกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ใช้รูปแบบการฝึกสมอง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น โดยการศึกษาด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งเป็นการศึกษาด้านพฤติกรรมและการทำงานของสมอง เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) แบบมีกลุ่มควบคุม ทดสอบก่อนกับหลังการทดลอง (Randomized Pretest-Posttest Control Group Design) กลุ่มตัวอย่าง มีสุขภาพดี จำนวน 46 คน อายุระหว่าง 16 - 18 ปี สุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 23 คน ด้วยวิธีการสุ่มโดยการจับฉลาก เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเป็นรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ และเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ตัวแปรตาม คือ คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 Alpha 2 Beta 1 และ Beta 2 วิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบด้วยสถิติทดสอบที แบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent *t* - Test) และแบบสองกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent *t*- test)

สรุปผลการวิจัย

การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. การพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ กระบวนการทางสมองกับมิติสัมพันธ์ กระบวนการทางสมองกับกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ และกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติกับการพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เพื่อเป็นกรอบแนวคิดพื้นฐาน และพัฒนารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุ

เคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที รวม 10 วัน ผลการฝึกเริ่มต้นเปรียบเทียบกับหลังการฝึก มีดังนี้ เวลาเริ่มต้นการฝึก (Initial Baseline) มีค่าเฉลี่ย 1.59 นาที มีค่าต่ำสุด 0.89 นาที และมีค่าสูงสุด 2.82 นาที ส่วนหลังจากการฝึก (Current Baseline) มีค่าเฉลี่ย 2.46 นาที มีค่าต่ำสุด 1.46 นาที และมีค่าสูงสุด 2.95 นาที ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด 62.62 % โดยมีค่าต่ำสุด 4.60 % และมีค่าสูงสุดถึง 189.51 %

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ช่วยพัฒนาสมองให้เกิดการจดจำ ส่งผลให้สมองเกิดการรับรู้ได้นานยิ่งขึ้น

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏผลดังนี้

2.1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เสดงว่ารูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ส่งผลให้กลุ่มทดลองมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงขึ้น

2.2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 และ Alpha 2 ของกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ปรากฏว่า ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 และ Alpha 2 บริเวณสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2.3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 ของกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมอง และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ปรากฏว่า ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 บริเวณสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าระหว่างกลุ่มที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ปรากฏผลดังนี้

3.1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ สูงกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.1 แสดงว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น ส่งผลให้กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มขึ้น

3.2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 และ Alpha 2 ปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) สูงกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ปรากฏว่า ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 และ Alpha 2 บริเวณสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3.3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 ปรากฏว่า กลุ่มใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) สูงกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ปรากฏว่า ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 บริเวณสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

4. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏผลดังนี้

4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยกลุ่มทดลองเพศชาย หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่าเพศหญิง

4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายและเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการ

ติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) ไม่แตกต่างกัน แต่ในสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 โดยกลุ่มทดลองเพศชายที่มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 สูงกว่าเพศหญิง ส่วนค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) ไม่แตกต่างกัน

การอภิปรายผล

จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มขึ้น ซึ่งอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น เป็นการฝึกทักษะเกี่ยวกับการเข้าใจในการรับรู้ ช่วยพัฒนาสมองให้เกิดการจดจำ รูปแบบของกิจกรรมการทดสอบกระตุ้นให้สมองเกิดความตื่นตัว ซึ่งเป็นกลไกการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสนใจ และเป็นปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้เกิดการเลือกความสนใจ โดยการใช้ความตั้งใจควบคุมความสนใจไปยังสิ่งเร้า ความสนใจดังกล่าวจึงทำงานไปพร้อมกันตลอดเวลา จนทำให้สามารถเลือกสิ่งสำคัญและให้ความสนใจต่อสิ่งนั้นได้นานขึ้น (Dukette & Cornish, 2009, pp. 72 - 73) สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ Brosseau-Lachaine, Gagnon, Forget, and Faubert (2008, pp. 657 - 668) ที่ระบุว่าโปรแกรมนี้สามารถฟื้นฟูความบกพร่องของสมองที่เกิดจากการมองวัตถุที่ลดลง (Recognized Impairments) ดังนั้น รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ส่งผลให้สมองเกิดการรับรู้ได้นานขึ้น ช่วยกระตุ้นการทำงานของสมองทำให้เกิดการจดจำ จึงเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ทำให้คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีขึ้น

2. ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 และ Alpha 2 มีการกระตุ้นของคลื่นไฟฟ้าที่แตกต่างกันทั่วศีรษะ ได้แก่ บริเวณสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) ทั้งระบบ (F3, FZ และ F4) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) ทั้งระบบ (C3, CZ และ C4) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) ทั้งระบบ (P3, PZ และ P4) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) ทั้ง 2 ซีก (O1 และ O2) ซึ่งคลื่นไฟฟ้าสมองแอลฟ่า (Alpha Brain Waves) เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในขณะตื่น ช่วงความถี่เกี่ยวกับสมาธิ ความตรึกตรอง และความผ่อนคลาย สามารถอภิปรายผลของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น และระหว่างกลุ่มฝึกสมองโดยใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ดังนี้

ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 และ Alpha 2 หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น สูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า หลังจากฝึกสมองโดยใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น นักเรียนมีสมาธิ ความตรึกตรอง และความผ่อนคลาย ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Moradi et al. (2011, pp. 103 - 107) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ปรากฏว่าหลังเข้ารับการรักษาด้วย Neurofeedback ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha เพิ่มขึ้น นั่นหมายถึงว่า ผู้ป่วยมีสมาธิมากขึ้น มีความคิดตรึกตรองดีขึ้น ซึ่งความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha ปกติจะพบคลื่นใหญ่ที่สุดบริเวณ Occipital Cortex ที่เป็น Visual Cortex ในขณะหลับตาและไม่คิดอะไร ถ้าเริ่มตั้งใจรับรู้สิ่งเร้า จะทำให้คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha เปลี่ยนไปเป็นคลื่นความถี่เร็ว นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ของคลื่น Alpha ที่เพิ่มขึ้นยังสัมพันธ์กับความรวดเร็วในกระบวนการประมวลผล หรือระยะเวลาในการตอบสนอง (Manna et al. , 2010, p. 196 – 202) ดังนั้น คลื่นไฟฟ้าสมองจึงสะท้อนการควบคุมความสนใจ (Hoffman, 2004) แต่ขัดแย้งกับผลการวิจัยของ Arce et al. (1995, pp. 11 - 20) และผลการวิจัยของ Corsi-Cabrera et al. (1997, pp. 5 – 11) ที่พบว่า กลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha ต่ำกว่า กลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ ซึ่งจากการพิจารณากระบวนการเก็บข้อมูลวิจัยของ Arce et al. (1995, pp. 11 - 20) และของ Corsi-Cabrera et al. (1997, pp. 5 – 11) มีข้อสังเกตว่า กระบวนการวิจัยดังกล่าว ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองกับผู้เข้าร่วมการวิจัยเพียงครั้งเดียว ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าผู้เข้าร่วมการวิจัยยังไม่คุ้นเคยหรือชินกับการใช้อุปกรณ์ หรือเครื่องมือวัด ซึ่งมีความซับซ้อน และมีความละเอียดอ่อนในการติดตั้งบริเวณศีรษะ ประกอบกับการนั่งในห้องทดลองตามลำพัง อาจส่งผลให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีความวิตกกังวลได้

3. ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 มีการกระตุ้นของคลื่นไฟฟ้าที่แตกต่างกันทั่วศีรษะ ได้แก่ บริเวณสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) ทั้งระบบ (F3, FZ และ F4) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) ทั้งระบบ (C3, CZ และ C4) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) ทั้งระบบ (P3, PZ และ P4) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) ทั้งสองซีก (O1 และ O2) ซึ่งคลื่นไฟฟ้าสมอง Beta เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในขณะที่สมองตื่นตัว รู้ตัว ขณะวุ่นวายกับความคิดต่างๆ รวมทั้งเกี่ยวข้องกับความตั้งใจต่อตัวกระตุ้น สามารถอภิปรายผล

ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น และระหว่างกลุ่มฝึกสมองโดยใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ดังนี้

ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 ของกลุ่มทดลอง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นสูงกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า หลังจากฝึกสมองโดยใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น นักเรียนมีความตื่นตัว มีความคิดตรึกตรอง และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้ดีกว่าก่อนใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย Bhattacharya and Petsche (2002, pp. 179 - 186) ได้ศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองระหว่างการรับรู้ด้วยการมองดูรูปวาด กับการจินตนาการรูปวาด พบว่า ขณะมองดูรูปวาดเกิดการกระตุ้นของระบบประสาทของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Moradi et al. (2011, pp. 103 - 107) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ปรากฏว่าหลังเข้ารับการรักษา ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 เพิ่มขึ้น

ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และBeta 2 ของกลุ่มฝึกสมองโดยใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น กับกลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ปรากฏว่า กลุ่มฝึกสมองโดยใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 สูงกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นครั้งที่ 2 กลุ่มฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ก่อให้เกิดการทำงานร่วมกันของกระบวนการประมวลผลข้อมูล โดยกระตุ้นสมองพาไรเอทัล (Parietal Lobe) ซึ่งเป็นเครือข่ายของการเกิดความสนใจจดจ่อร่วมกับบริเวณสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) จะส่งสัญญาณความสนใจบนลงล่างไปยังพื้นที่อื่น ๆ ในระบบ (Frith, 2001, pp. 1367 - 1371) และกระตุ้นการใช้สมองทั้งสองซีกพร้อมกัน ส่งผลให้การทำงานของสมองทั้งสองทำงานประสานสัมพันธ์กันอย่างสมดุล สามารถคิดประมวลผลได้เร็วขึ้น จึงส่งผลให้นักเรียนมีความตื่นตัว มีความคิดตรึกตรอง ตลอดจนสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้ดีกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ซึ่งมีผลทำให้การทำงานของกระบวนการประมวลผลข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้สามารถรับรู้ต่อสิ่งกระตุ้นและเตรียมการตอบสนองที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็ว (Wicken & Carswell, 2006, pp.111-149) จึงส่งผลต่อค่าพลังงานสัมพัทธ์ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 ที่เพิ่มขึ้นในขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มากกว่ากลุ่มไม่ใช้รูปแบบการฝึกสมอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Bhattacharya and Petsche (2002, pp. 179 - 186) พบว่า ขณะมองดูรูปวาดเกิดการกระตุ้นของระบบประสาทของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Moradi et al. (2011, pp.103 - 107) ที่ปรากฏว่าหลังเข้ารับรักษาความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 เพิ่มขึ้น ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า เมื่อเริ่มตั้งใจรับรู้สิ่งเร้า จะทำให้คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha เปลี่ยนไปเป็นคลื่นไฟฟ้าสมอง Beta ซึ่งเป็นคลื่นความถี่เร็วขึ้น โดยคลื่นไฟฟ้า

สมอง Beta แสดงถึงนักเรียนมีความตั้งใจ มีสมาธิในการคิด และความสามารถในการจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ถ้าช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta ลดลง หมายถึง นักเรียนการขาดสมาธิ ขาดความคิดตรึกตรอง และขาดความสามารถในการจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

4. ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น เพศชายมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่าเพศหญิง ผลการวิจัยสรุปได้ว่า รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น เป็นการฝึกทักษะเกี่ยวกับการเข้าใจในการรับรู้ ช่วยพัฒนาสมองให้เกิดการจดจำ ส่งผลให้สมองเกิดการรับรู้ได้นานขึ้น ช่วยกระตุ้นการทำงานของสมองทำให้เกิดการจดจำ จึงเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ทำให้คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Neubauer, Bergner, and Schatz (2010) ที่ทดสอบความสามารถเชิงจินตนาการภาพ ระหว่างเพศชายกับเพศหญิง ผลปรากฏว่า เพศชายมีคะแนนความสามารถเชิงจินตนาการภาพสูงกว่าเพศหญิง

5. ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองแตกต่างกัน โดยกลุ่มทดลองเพศชายหลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่าเพศหญิง ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายและเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองระหว่างเพศชายและเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) ไม่แตกต่างกัน แต่ในสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกัน โดยกลุ่มทดลองเพศชายมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 สูงกว่าเพศหญิง ส่วนค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยกลุ่มทดลองเพศชายมีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 สูงกว่าเพศหญิง และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 ในสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) สมองส่วนกลาง (Central Lobe) สมองส่วนพาไรเอทัล (Parietal Lobe) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศชายกับเพศหญิง หลังใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น ไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. บุคลากรทางการศึกษาและผู้เกี่ยวข้องสามารถนำรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรม การติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ไปใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมสำหรับการศึกษาในระดับที่สูงขึ้น ในสาขาวิชาที่ต้องใช้ทักษะทางด้านมิติสัมพันธ์

2. ผู้สนใจสามารถนำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ไปใช้เป็นเครื่องมือในการแบ่งระดับความสามารถ หรือค้นหาผู้ที่มีความบกพร่องความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้

3. นักจิตวิทยาหรือผู้เกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษาประสาทวิทยาการปัญญาด้วยการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองในรูปพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ไปใช้สำหรับทำความเข้าใจ หรืออธิบายเชื่อมโยงความสามารถด้านมิติสัมพันธ์กับการทำงานระบบประสาทได้

ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1. ควรศึกษาผลของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ในระยะยาว เพื่อตรวจสอบความคงทนของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่เป็นผลมาจากโปรแกรมนี้

2. ควรศึกษาประสิทธิผลของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ในกลุ่มนักเรียนที่มีความบกพร่องของสมาธิ เพื่อพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เพิ่มความใส่ใจ และลดความบกพร่องอันเนื่องมาจากสมาธิต่อไป

3. บุคลากรทางการศึกษาและนักวิจัยควรมีการศึกษาผลของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ต่อการพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในกลุ่มวัยอื่น ๆ

บรรณานุกรม

โกเมนทร์ พรมณี. (2550). *การศึกษาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ห้าแบบของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ต่างกัน.* วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการวัดผลการศึกษา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

นนทิชา ถาวรไพบูลย์บุตร. (2555). กรอบอ้างอิงการรับรู้ทางสายตา. *บทความฟื้นวิชา*.17(3), 25 - 29.

ปรัชญา แก้วแก่น. (2555). กระบวนความสนใจและการประยุกต์สำหรับการวิจัยทางวิทยาการปัญญา. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา.10*(1), 1 -10.

ปริญญา เรืองทิพย์ และเดชา วรรณพาหุล. (2557). การพัฒนาความสามารถด้านมิสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยการเล่นเกมส์ชุโดกุ. *วารสารราชนครินทร์*, *11*(25), 35 – 41.

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. *มิติสัมพันธ์.*วันที่ค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/.

สุพรพิมพ์ เจียสกุล และคณะ. (2548). *สรีรวิทยา 3* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

อัครภูมิ จารุภากร และพรพิไล เลิศวิชา. (2551). *สมองวัยเริ่มเรียนรู้.* กรุงเทพฯ: ด่านสุทธาการพิมพ์.

อัครภูมิ จารุภากร และพรพิไล เลิศวิชา. (2551). *สมองเรียนรู้.* กรุงเทพฯ: ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้นท์.

อุดม เพชรสังหาร. (2549). ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์. *นิตยสารรักลูก*, *24*(277), 164 – 16.

อุบลวรรณ ภวกานันท์. (2555). *จิตวิทยาการรู้คิดและปัญหา (Cognitive Psychology).* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Ali, M., & Klyne, M. A. (1985). *Vision in Vertebrates*. New York: Plenum Press.

Allen, G. L. (2003). Functional Families of Spatial abilities: Poor relations and rich prospects. *International Journal of Testing*, *3*(3), 251 - 262.

Almer, S. M., & Rosa, M. G. (2006). "A distinct anatomical network of cortical areas for analysis of motion in far peripheral vision.". *European Journal of Neuroscience, 24* (8): 2389 – 405.

Anderson, C. A., & Bushman B. J. (2001). Effects of violent video games on aggressive behavior, aggressive cognition, aggressive affect, physiological arousal, and prosocial behavior: A metanalytic review of the scientific literature. *Psychological Science*, *12*, 353 - 359.

Arce, C., Ramos, J. Guevara, M. A., & Corsi - Cabrera, M. (1995). Effect of spatial ability and sex on EEG power in high school students. *International Journal of Psychology*, *20*, 11 - 20.

Barbe, W. B., & Milone, M. N. (1981). What we know about modality strength. *Educational Leadership, 38*(5), 378 – 380.

Baddeley, A. (2002). Is Working Memory Still Working ?. *European Psychologist*, *7*(8), 5 – 97.

Bhattacharya, J., & Petsche, H. (2002). Shadows of artistry: Cortical synchrony during perception and imagery of visual art. *Cognitive Brain Research*, *13*, 179 - 186.

Brosseaau - Lachaine, O., Gangnon, L., Forget, R., & Faubert, J. (2008). Mild Traumatic Brain Injury Induces Prolonged Visual Processing Deficits in Children. *Brain Injuly*, *22*(9): 657 - 658.

Bhattacharya, J., & Petsche, H. (2002). Shadows of artistry: Cortical synchrony during perception and imagery of visual art. *Cognitive Brain Research*, *13*, 179 - 186.

Carrol, J. B. (1993). *Haman Cognitive Abilities: A Survey of Factor- Analytic Studies*. New York: Cambridge University Press.

Chambers, R., Lo, B., & Allen, N. (2008). The impact of intensive mindfulness training on attentional contral, cognitive style, and affect. Cogn. *Ther. Res., 32*(3), 303 – 322.

Chapman, R. S., & Hesketh, L. (2000). The behavioral phenotype of Down syndrome. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Review*, *6*, 84 - 95.

Christou, C., Pittalis, M., Mousoulides, N., Pitta, D., Jones, K., Sendova, E., & Boytchev, P. (2007), *Deloping an active learning environment for the learning of stereometry.* Paper presented at the 8th International Confernce on Technology and Mathematics Teaching (ICTMT8), Hradec Kralove: Czech Republic.

Combs, D. R., & Gouvier, W. D. (2004). The role of attention in affect perception: An examination of Mirsky's four factor model of attention in chronic schizophrenia. *Schizophr Bull, 30*(4), 727 - 738.

Corsi - Cabrera, M., Arce C., Ramos J., & Guevara A. M. (1997). Effect of Spatial Ability and sex Intrahemispheric Correlation of EEG Activity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiololgy, 102*, 5 – 11.

Cooper, L. A., & Regan, D. T. (1982). Attention, perception, and intelligence. In R. J. Sternberg (Eds.) *Handbook of human intelligence*, 123 - 169. Cambridge: Cambridge University Press.

Connell, M. L. (1998). Technology in constructivist mathematics classrooms. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching, 17*(4), 311 - 338.

Dehn, M. J. (2008). Working memory and academic learning assessment and intervention U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc.

Droit - Volet, S., Tourret, S., & Wearden, J. (2004). Perception of the duration of auditory and visual stimuli in children and adults. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 57A*(5), 797 - 818.

Dukette, D., & Cornish, D. (2009). *The Essential 20: Twenty component of an excellent health care team.* U.S.A.: Dorrance Publishing, 72 - 73.

Edmonds, W. A., & Kennedy, T. D. (2013). *An Applied Reference Guide to Research Designs: Quantitative, Qualitative, and Mixed Methods*. U.S.A.: Sage Publication

Eliot, J., & Hauptman, A. (2002). Different Dimensions of Spatial Ability. *Studies in Science Education, 8(*1), 45 - 66.

Faubert J., & Sidebottom L. (2012) Perceptual-cognitive training of athletes. *Journal of Clinical Sport Psychology* , *6*, 85 - 102.

Frith, C. (2011). A framework for studying the neural basis of attention. *Neuropsychologia, 39*(12), 1367 -1371.

Gardner, H. (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. New York: Basic Book.

Gardner, H. (2011). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences (3 rd ed.).* USA: Basic Books, A Member of the Perseus Books Group.

Ganel, T., & Goodale, M. A. (2003). "Visual control of action but not perception requires analytical processing of object shape.". Nature, *426*(6967): 664 – 667.

Ganel, T., Tanzer, M., & Goodale, M. A. (2008). 'A double dissociation between action andperception in the context of visual illusions: Opposite effects of real and illusory size'. Psychological Science, *19*, 221–225.

Goodale, M. A., & Milner, A. D., (1992). "Separate pathways for perception and action.".*Trends in Neuroscience, 15*(1), 20 – 25.

Goodale, M. A. (2011). "Transforming vision into action.". *Vision Res. 51*(14), 1567 – 87.

Guillford, J. P. (1967). *The Nature of Human Intelligences*. New York: McGraw-Hill.

Hegarty, M., & Kozhevnikov, M. (1999). Types of visual-spatial representations and mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology, 91*, 684-689.

Himmelhebe, A. M., Fadel, J, Sarter, M, & Bruno, J. P. (1998). Effects of Local Cholinesterase Inhibition on Acetylcholine Release Assessed Simultaneously in Prefrontal and Frontoparietal Cortex, *Neuroscience, 86*, 949 – 957.

Hoffmann, E. (2004). Neurofeedback training of attention and behavior disorders. *ADHD Report Version 2.0.*

Jausovec, N., & Jausovec, K. (2012). Sex differences in mental rotation and cortical activation patterns: Can training change them? *Intelligence, 40*(2), 151 - 162. Doi:10.1016/j.intell.2012.01.005.

Jay, W. M. (1981). "Visual field defects". *American Family Physician*, *24* (2), 138 – 142.

Jaeggi, S. M., buschkuehl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008) Improving Fluid intelligence with training in working memory. *Proceeding of the National Academic of Science of the United States of America, 105*, 1 - 5.

Jin, G., Li K., Qin Y., Zhong N., Wang, Z., Xiang J., Hu Y., Wang M., & Zeng, Q. (2012). FMRI study in posterior cingulated and adjacent precuneus cortex in Healthy elderly adults using problem. Solving task. *Journal of the Neurological Science, 318*(1-2), 135 – 139.

Kornkasen, S., & Black, J. B. (2015). Formation of spatial thinking skills through different training methods. *Cognitive Process*, 16(1), 281- 285.

Karbach, J., & Kray, j. (2009) How useful is executive control Training? Age difference in near and far transfer of task; *Developmental Science*, *12*, 978 - 990.

Koepp M. J., Gunn R. N., Lawrence A. D., et al. (1988) Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, *393*, 266 - 288.

Kimura, D. (1999). Sex and Cognition, First Edition, MIT Press: Cambridge, Mass.

Kramer, P. & Hinojosa, J. (2010). *Frame of reference for pediatric occupational therapy*. 3rd ed. Baltimore, MD: Williams & Wilkins.

Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002) Training of working memory. *Jounal Clin Exp Neuropressychol, 24*(6), 781 - 791.

Linn, M. C., & Peterson, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Six Differences in Spatial Ability: A Meta- analysis. *Child Development, 56*, 1479 - 1498.

Lohman, D. F. (1996). Spatial Ability and G. in I. Dennis & P. Tapsfield (Eds.), *Human Abilities: Their Nature and Assessment. Hillsdale*, New Jersey: Erlbaum, 97 - 116.

Manna, C. B. G., Tenke, C. E., Gates, N. A., Kayser, J., Borod, J. C., Stewart, J. W., McGrath, P. J., & Bruder, G. E. (2010). EEG hemispheric asymmetries during cognitive tasks in depressed patients with high versus low trait anxiety. Clin. *EEG Neurosci*., *41*(4), 196 - 202.

Mathin, M. W. (2014). *Cognitive Psychology* (8th ed.) Singapore: John Wiley & Sons.

Moradi, A. (2011). Treatment of Anxiety Disorder with Neurofeedback: Case study. *Procedia–Social and Behavioral Sciences, 30*, 103 – 107.

Motes. M. A., Malach, R., & Kozhevnikov, M. (2008). Object-processing Neural Efficiency Differentiates Object from Spatial Visualizers. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology, 19,* 1727 – 1731.

Neubauer, A. C., Bergner, S., & Schatz, M. (2010). Two-vs. three-dimensional presentation of mental rotation tasks: Sex differences and effects of training on performance and brain activation. *Intelligence, 38*(5), 529 - 539.

Newton, P. (2009). *Psycholometric success s- spatial ability*. Retrieved fromwww.psychometric - success.com

Newton, P. (2009). *Spatial Ability*. Psychometric Success-Spatial Ability. Retrieved from http://www.psychometric-success.com/

Ohman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: Detecing the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology, 130*, 466 – 478.

Onyancha, R. M., Derov, M., & Kinsey, B. L. (2009). Improvements in spatial Ability as a Result of Targeted Training and Computer-Aided Design Software Use: Analyses of Object Geometries and Rotation Types. *Journal of Engineering Education, 98*(2), 157 - 167

Orn, R., & Bradley, D. (2005). "Structure and function of visual area MT.". *Annu Rev Neurosci,* 28, 157 – 189.

Parsons, B., Magill. T., Boucher. A., & Faubert. J. (2014). Enhancing Cognitive Function Using Perceptual-Cognitive Training. *Clinical EEG and Neuroscience*, *11*(30), 1 - 11. Doi:10.1177/1550059414563746/j.permissions.nav.2014.30.

Pylyshyn, Z. W. (2001). Visual indexes, preconceptual object, and situated vision. *Cognition, 80*, 127 - 158.

Pylyshyn, Z. W., Barkell, J., Fischer, B., Sears, C. R., Schmidt, W., & Trick, L.M. (1994). Multiple parallel access in visual attention. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 48*(2), 260 - 283.

Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision, 3*(3), 179 - 197.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1971). *Mental Imagery in the Child A Study of the Development of Imaginal Representation*. New York: Basic Books.

Piaget, j. (1971). *The theory of stages in cognitive development*. In D. Green (Ed.), *Measurement and Piaget* (pp.1-11). New York: McGraw - Hill.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1973). *Memory and intelligence*. London: Routledge and Kegan Paul.

Kimura, D. (1999). *Sex and Cognition*, first Edition, MIT Press, Cambridge, Mass.

Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of sex Differences in Spatial Ability: *A Meta-Analysis. Child Development, 56,* 1479 – 1498.

Lohman, D. F. (1996). Spatial Abiliteis and G. in I. Dennis & P. P Tapsfield (Eds.) *Human Abilities :Their nature and Assessment. Hillsdale*, New Jerey: Erlbuaum, 97-116.

McMillian, H. J., & Schumacher, S. (2010). Research in Education Evidence-Based Inquiry (7th ed.). Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

Manna, C. B. G., Tenke, C. E., Gates, N. A., Kayser, J., Borod, J. C., Stewart, J. W., McGrath, P. J., & Bruder, G. E. (2010). EEG hemispheric asymmetries during cognitive tasks in depressed patients with high versus low trait anxiety. Clin. *EEG Neurosci., 41*(4), 196 - 202.

Newton, P. (2009). *Psycholometric success-spatial ability*. Retrieved from www.psychometric - success.com

Ploughman, M., McCarthy, J., Bosse, M., Sullivan, H. J., & Corbett, D. (2008). Does Treadmill Exercise Improve Performance of Cognitive or Upper-Extremity Task in People With Chronic Stroke? A Randomizaed Cross- Over Trial, *Clinical Neurophysiology, 89*, 2041 - 2047.

Rauscher, F. H., & Zupan, M. (2000). Classroom Keyboard Instruction Improves Kindergarten Children's Spatial-Temporal Performance : A Field Experiment. *Early Childhood Research Quarterly*, *15*, 215 - 228.

Rosa, M. G., & Tweedale, R. (2000). "Visual areas in lateral and ventral extrastriate cortices of the marmoset monkey". *J Comp Neurol. 422*(4), 621 – 651.

Sater, M., & Lustig, C. (2009). Attention and Learning and Memory. In Squire LR, ed. *New Encyclopedia of Neuroscience.* Oxford: Elsevier.

Schneck, C.M. (2010). A Frame of Reference for Visual Perception. In P. Kramer & J. Hinojosa (Eds.), *Frames of Reference for Pediatric Occupational Therapy* (3rd ed.) U.S.A.: Lippincott Williams & Wilkins.

Scholl, B. j., Pylyshyn, Z. W., & Feldman, J. (2001). What is a visual object? Evidence from target merging in multiple object tracking. *Cognition*, *8*0(1-2), 159 - 177.

Smythies, J. (1996). "A note on the concept of the visual field in neurology, psychology, and visual neuroscience". *Perception. 25*(3), 369 – 371.

Sotthiwat, U. (2008). Spatial Mental Imagery in Thai Musician and Non-Musician. *Thesis of master of Science,* Neurosciences, faculty of graduate studies

Sternberg, R. G. (2009). Cognitive Psychology. 5 th (Eds). California: Wadsworth Cengage Learning.

Strong, S., & Smith, R. (2002). Spatial Visualization: Fundamentals and Trends in Engineering Graphics. *Journal of Industrial Technology, 18*(1). 1 – 6.

Taylor, J. G., Fragoponagos, N. F. (2005). The Interaction of Attention and Emotion. *Neural Network, 18*, 353 – 357.

Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1994) 'What' and 'Where' in the human brain. Current Opinion in Neurobiology*, 4*, 157 - 165.

Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). *"Two Cortical Visual Systems". In Ingle DJ, Goodale MA and Mansfield RJW. Analysis of Visual Behavior*. Boston: MIT Press. pp. 549 – 586.

Viiswanathan, L., & Mingolla, E. (2002). Dynamics of Attention in Depth: Evidence from Multi-Element Tracking. *Perception*, *31*(2), 1415 - 1437.

Vitouch, O., Bauer, H., Gittler, G., Leodolter, M., & Leodolter, U. (1997). Cortical Activity of Good and Poor Spatial Test Performers During Spatial and Verbal Processing Studied with Slow Potential Topography. *International Journal of Psychophysiology, 27,* 183 – 199.

Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Education Psychology*, *101*, 817 - 835.

Wickens, C. D., & Carswell, C. M. (2006). Information processing. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics* (pp. 111 - 149). N.p.

Wright, R., Thompson, W. L., Ganis, G., Newcombe, N. S., & Kosslyn, S. M. (2008). Training generalized spatial skills. *Psychonomic Bulletin & Review*, *15*(4), 763 - 771.

Yakimanskaya, I. S. (1991). *The development of spatial thinking in school children*. (Soviet Studies in Mathematics Education, vol. 3). U.S.A.: Reston.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

(Spatial Recognition Ability Test)

ตัวอย่างแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์
(Spatial Recognition Ability Test)
(Newton, 2009)

<u>คำชี้แจง</u>

1. แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ชุดที่ 1 (Spatial Recognition Ability Test No. 1) ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 17 ข้อ ประกอบด้วย 4 ตอน

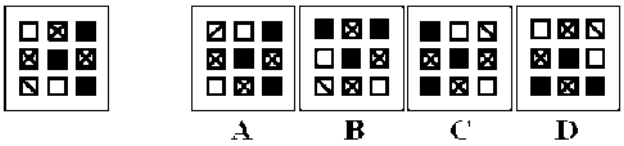
ตอนที่ 1 การระบุภาพเหมือนเมื่อมีการหมุนภาพ	จำนวน 5 ข้อ
ตอนที่ 2 การแยกรูปทรงหรือการประกอบรูปทรง	จำนวน 5 ข้อ
ตอนที่ 3 การคลี่กล่องหรือการพับกล่อง	จำนวน 4 ข้อ
ตอนที่ 4 การระบุตำแหน่งเป้าหมายเมื่อมีการพับกระดาษ	จำนวน 3 ข้อ

2. การทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ให้นักเรียนพิจารณาภาพต้นแบบที่กำหนดมาให้ และหาคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว โดยกดปุ่มคำตอบ A, B, C, หรือ D ลงบนแป้นพิมพ์ที่กำหนดให้จนครบทุกข้อ

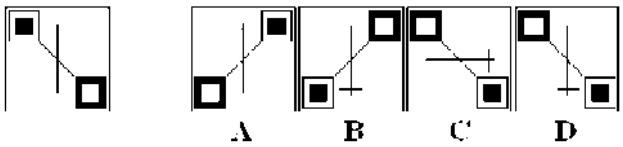
ตอนที่ 1 การระบุภาพเหมือนเมื่อมีการหมุนภาพ (จำนวน 5 ข้อ)

จงพิจารณาภาพต่อไปนี้ ว่าภาพในข้อใดเหมือนภาพต้นแบบ ตอบคำถามข้อ 1-5

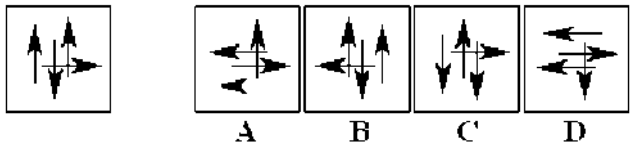
ข้อที่ 1



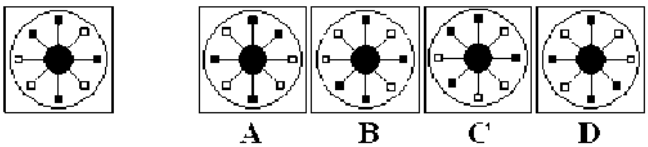
ข้อที่ 2



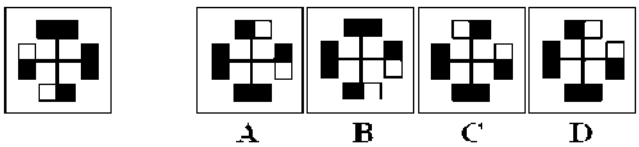
ข้อที่ 3



ข้อที่ 4



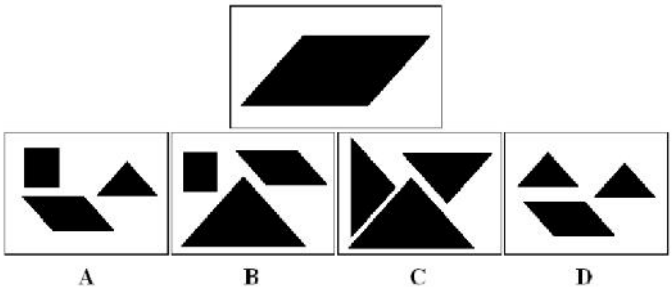
ข้อที่ 5



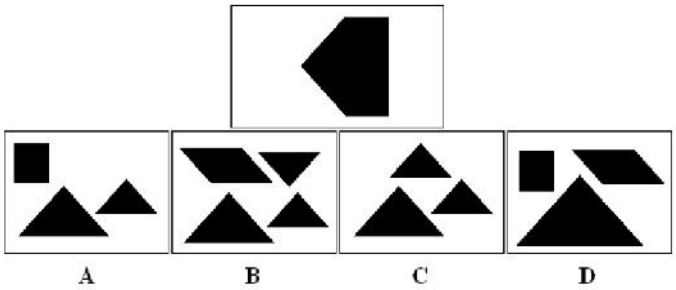
ตอนที่ 2 การแยกรูปทรงหรือการประกอบรูปทรง (จำนวน 5 ข้อ)

จงจินตนาการส่วนประกอบของภาพต่อไปนี้ เมื่อนำภาพต้นแบบไปแยกออกจากกัน จะได้ภาพดังข้อใด ตอบคำถามข้อ 6 - 10

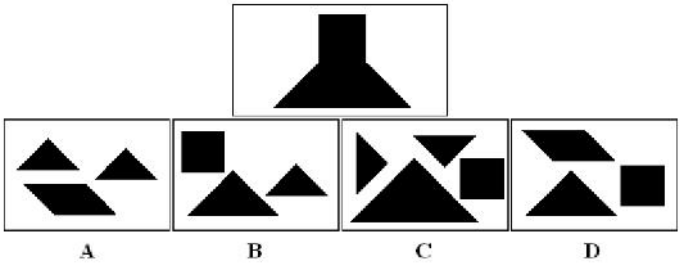
ข้อที่ 6



ข้อที่ 7



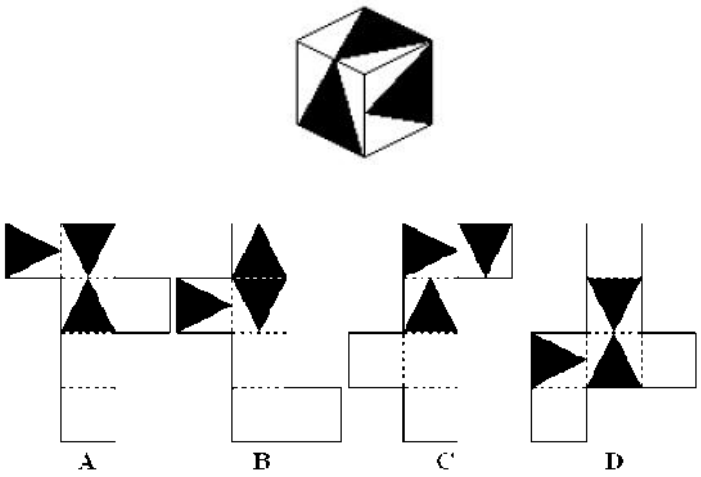
ข้อที่ 8



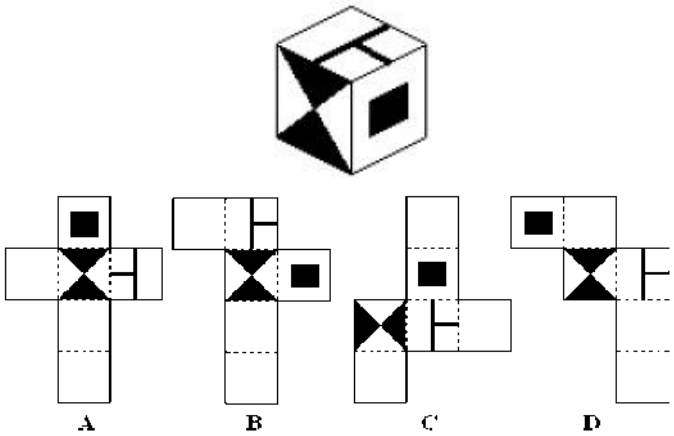
ตอนที่ 3 การคลี่กล่องหรือการพับกล่อง (จำนวน 4 ข้อ)

จงจินตนาการภาพกล่องต่อไปนี้ เมื่อคลี่กล่องออกทุกด้านจะได้ภาพดังข้อใด ตอบคำถามข้อ 11 - 14

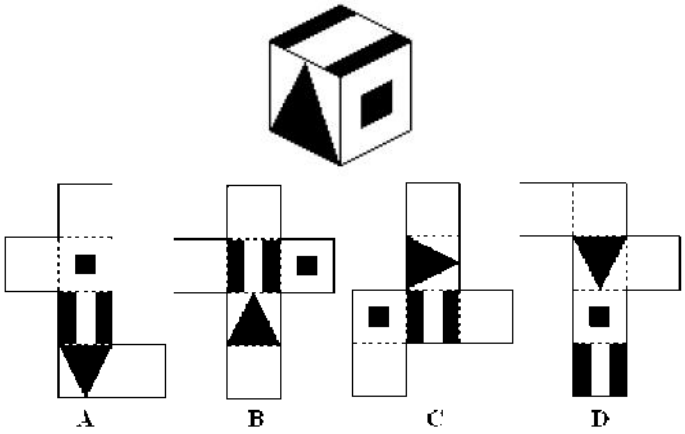
ข้อที่ 11



ข้อที่ 12



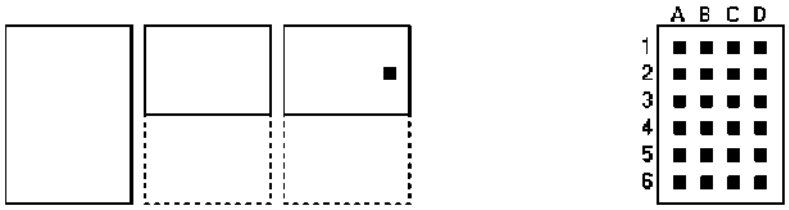
ข้อที่ 13



ตอนที่ 4 การระบุตำแหน่งเป้าหมายเมื่อมีการพับกระดาษ (จำนวน 3 ข้อ)

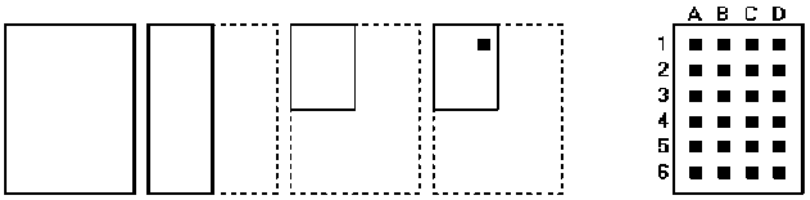
จงพิจารณาลำดับการพับกระดาษต่อไปนี้ เมื่อกระดาษถูกเจาะรู จะตรงกับตำแหน่งดังข้อใด ตอบคำถามข้อ 15 - 17

ข้อที่ 15



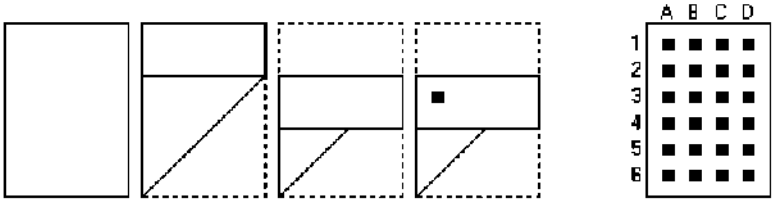
A	B	C	D
2C,5C	2D,5D	3D,3D	2C,2D

ข้อที่ 16



A	B	C	D
1B,1C,5B,5C	2B,2C,5B,5C	1B,2C,6B,6C	1B,1C,6B,6C

ข้อที่ 17



A	B	C	D
3A,2A,6D	3A,5A,6D	3A,5A,3D	3A,2A

ภาคผนวก ข

แบบวัดความถนัดในการใช้มือของเอดินเบอร์ก

แบบวัดความถนัดในการใช้มือของเอดินเบอร์ก

(EDINBURGH HANDNESS INVENTORY)

ชื่อ-สกุล .....อายุ.....

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย × ลงในช่องว่างที่ตรงกับการใช้มือของนักเรียนในกิจกรรมต่อไปนี้

ข้อ	กิจกรรม	มือข้างที่ใช้ทำกิจกรรม	
		มือซ้าย	มือขวา
1.	นักเรียนใช้มือข้างใดเขียนหนังสือ		
2.	นักเรียนใช้มือข้างใดในการวาดภาพ		
3.	นักเรียนใช้มือข้างใดจับยางลบในขณะลบคำผิด		
4	นักเรียนใช้มือข้างใดในการขว้างลูกบอลหรือโยนวัตถุ		
5	นักเรียนใช้มือข้างใดในการจับกรรไกรตัดกระดาษ		
6	นักเรียนใช้มือข้างใดจับหวีเพื่อหวีผม		
7	นักเรียนใช้มือข้างใดจับแปรงสีฟันขณะแปรงฟัน		
8	นักเรียนใช้มือข้างใดจับช้อนขณะรับประทานอาหาร		
9	นักเรียนใช้มือข้างใดจับค้อนเมื่อตอกตะปู		
10	นักเรียนใช้มือข้างใดเพื่อไขกุญแจประตู		
11	นักเรียนใช้มือข้างใดเล่นเทนนิส / ปิงปอง / แบตมินตัน		
12	นักเรียนใช้มือข้างใดจับมีดขณะหั่น(เนื้อ, ผัก, ฯลฯ)		
13	นักเรียนใช้มือข้างใดจับไม้กวาดขณะกวาดบ้าน		
14	นักเรียนใช้มือข้างใดจับฟองน้ำขณะล้างจาน		
15	นักเรียนใช้มือข้างใดจับไม้ขนไก่ขณะปัดฝุ่น		
16	นักเรียนใช้มือข้างใดเปิดกล่อง		
17	นักเรียนใช้มือข้างใดเพื่อใช้โทรศัพท์มือถือ		
18	นักเรียนใช้มือข้างใดผลักประตู		
19	นักเรียนใช้มือข้างใดจับก้านไม้ขีดไฟเพื่อจุดไฟ		
20	นักเรียนใช้มือข้างใดจับแก้วเพื่อดื่มน้ำ		

ภาคผนวก ค
แบบวัดระดับสายตาระยะใกล้ด้วย Snellen's Chart

แบบวัดระดับสายตาระยะใกล้ด้วย Snellen's Chart

ขั้นตอนการวัดสายตาด้วยแผ่นทดสอบสายตาสเนลเลนชาร์ต (Snellen's chart)

ขั้นตอนการวัดสายตาด้วยแผ่นทดสอบสายตาสเนลเลนชาร์ต (Snellen's chart) เริ่มจากแขวนหรือติดตั้งให้อยู่แนวระดับสายตา ภายในห้องที่มีแสงสว่างพอเพียง และสามารถเห็นได้เด่นชัด ไม่ควรไปแขวนแปะติด ปะปนกับภาพชนิดอื่น จะทำให้เกิดการไขว้เขวในการทดสอบ ไม่ควรไว้ตรงซอกตรงมุมที่อับแสง ถ้าในห้องมืดควรจะมีโป๊ะไฟตั้งหรือไฟส่องที่แผ่นชาร์ตสว่างขนาดไฟ 60 แรงเทียน ติดตั้งแผ่นชาร์ต ดังภาพที่ 1

ภาพ 1 แบบวัดระดับสายตาระยะใกล้ด้วย Snellen's Chart

เมื่อติดตั้งแผ่นชาร์ตเรียบร้อยแล้ว เริ่มดำเนินการทดสอบได้ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

ให้ผู้ทดสอบ นั่งหรือยืนก็แล้วแต่ระดับของแผ่นชาร์ตที่แขวนไว้ที่ฝาผนังห้อง หรือให้ถือแผ่นชาร์ต ระยะทางห่างจากชาร์ต 33 เซนติเมตร (หรือ 14 นิ้ว) การทดสอบสายตา ให้ใช้ตาข้างขวาก่อน ให้เอากระดาษแข็งเล็ก ๆ หรืออะไรก็ได้ (Occluder) บังตาซ้ายไว้ (ไม่ควรใช้มือปิดหรือแผ่นอะไรไปกดลงบนตาซ้าย จะทำให้ตาข้างนั้นมัวได้เมื่อเปิดออกมา) เริ่มต้นให้คนไข้อ่านตัวเลขลงมาทีละแถว ๆ ลงมาเรื่อย ๆ ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 ผู้ทดสอบถือแผ่นชาร์ต

ถ้าอ่านหนังสือไม่ออกก็ใช้ชาร์ตที่เป็นภาพหรือสื่ออย่างอื่นแทนจนกระทั่งถึงแถวล่างสุดให้บันทึกสายตาขวาลงไปได้เลยว่า 6 (หรือ 20) แต่ถ้าคนไข้อ่านได้แค่แถวที่ 4 คือตัวเลข 6 3 9 5 2 บันทึกสายตาลงไปว่า 6 (หรือ 20) แถวต่ำสุด มาอ่านไม่ได้แล้วมองไม่เห็น อาจจะเดาได้สัก 1 หรือ 2 ตัว บันทึกลงไปได้อีกหน่อยว่า 6 + 2 (+ 2 ที่ 18 เพิ่มเข้ามาหมายถึงแถวต่ำลงมา เดาถูก 2 ตัว หรืออ่านได้ถูกแค่ 2 ตัว นอกนั้นอ่านไม่ออกเลย)

ในกรณีที่สายตาปกติอ่านด้วยตาขวาและตาซ้ายทีละข้างได้ถึงแถวสุดท้าย (ที่มีเส้นแดง) ให้บันทึกลงไปว่า สายตา (Visual Acuity V.A.) (6 หรือ 20) ถ้าอ่านไม่ได้ถึงแถวเส้นแดงให้บันทึกไปเท่าที่อ่านได้ เช่น 6 , 6 เป็นต้น แสดงว่าสายตาผิดปกติ (อาจจะสายตาสั้น สายตาเอียง หรือสายตายาวได้ทั้งนั้น) ในบางแห่งการบันทึกสายตา อาจจะให้คนไข้อ่านจนเลยแถวมาตรฐาน (6 , ซึ่งมีเส้นสีแดงขีดไว้ข้างใต้) คืออ่านแถวเล็กสุดท้าย คือ 6 3 5 7 2 8 5 (6) ก็ได้ บ่งบอกถึงว่าสายตาข้างนั้น ๆ ดีมาก

ภาคผนวก ง

ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้เชี่ยวชาญ และ ผู้ฝึก

ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้เชี่ยวชาญ

ด้านที่ประเมิน	*M*	*SD*	ระดับความเหมาะสม
การดำเนินการตามขั้นตอนของรูปแบบการฝึกสมอง	4.25	0.29	มาก
การออกแบบรูปแบบการฝึกสมอง	4.29	0.55	มาก
ลักษณะทั่วไปของรูปแบบการฝึกสมอง	4.33	0.38	มาก
ภาพรวมของรูปแบบการฝึกสมอง	4.25	0.29	มาก
คู่มือการใช้รูปแบบการฝึกสมอง	4.33	0.38	มาก
ขนาดห้อง	4.25	0.29	มาก
อุปกรณ์	4.63	0.51	มากที่สุด
ตำแหน่งความห่างระหว่างโทรทัศน์กับผู้ฝึก	4.25	0.29	มาก
ฉากพื้นหลัง	4.25	0.29	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น	4.25	0.29	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.63	0.51	มากที่สุด
วิธีการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.25	0.29	มาก
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.29	0.55	มาก
ระยะเวลาในการจดจ่อความสนใจของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.33	0.38	มาก
เวลาที่ใช้ในการติดตามวัตถุ	4.25	0.29	มาก
วิธีการให้คะแนน	4.33	0.38	มาก
สรุปผลโดยรวม	4.32	0.37	มาก

ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้ฝึก

ด้านที่ประเมิน	*M*	*SD*	ระดับความเหมาะสม
การดำเนินการตามขั้นตอนของรูปแบบการฝึกสมอง	4.22	0.38	มาก
การออกแบบรูปแบบการฝึกสมอง	4.11	0.19	มาก
ลักษณะทั่วไปของรูปแบบการฝึกสมอง	4.30	0.48	มาก
ภาพรวมของรูปแบบการฝึกสมอง	4.21	0.35	มาก
ขนาดห้อง	4.30	0.48	มาก
อุปกรณ์	4.64	0.35	มากที่สุด
ตำแหน่งความห่างระหว่างโทรทัศน์กับผู้ฝึก	4.11	0.19	มาก
ฉากพื้นหลัง	4.21	0.35	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น	4.11	0.19	มาก
จำนวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.22	0.38	มาก
วิธีการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.64	0.35	มากที่สุด
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.22	0.38	มาก
ระยะเวลาในการจดจ่อความสนใจของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย	4.22	0.38	มาก
เวลาที่ใช้ในการติดตามวัตถุ	4.21	0.35	มาก
วิธีการให้คะแนน	4.30	0.48	มาก
สรุปผลโดยรวม	4.28	0.35	มาก

ภาคผนวก จ
ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

คนที่	ข้อที่ 1	ข้อที่ 2	ข้อที่ 3	ข้อที่ 4	ข้อที่ 5	ข้อที่ 6	ข้อที่ 7	ข้อที่ 8	ข้อที่ 9	ข้อที่ 10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
6	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
8	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
16	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
17	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
18	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
19	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
20	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
23	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1
25	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
26	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
27	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
30	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
ค่าความยาก (p)	0.77	0.73	0.77	0.77	0.67	0.90	0.70	0.70	0.73	0.70
ค่าอำนาจจำแนก (r)	0.47	0.40	0.33	0.33	0.40	0.07	0.33	0.47	0.40	0.47
ผลการประเมิน	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้

เกณฑ์พิจารณาค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ 0.2 – 0.8 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 – 1.00

ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

คนที่	ข้อที่ 11	ข้อที่ 12	ข้อที่ 10	ข้อที่ 11	ข้อที่ 12	ข้อที่ 16	ข้อที่ 17	ข้อที่ 18	ข้อที่ 19	ข้อที่ 20
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
7	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
16	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
17	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
18	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
19	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
20	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
21	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0
22	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
23	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
24	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
25	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
26	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0
27	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
29	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
ค่าความยาก (p)	0.73	0.73	0.70	0.73	0.73	0.73	0.77	0.70	0.77	0.73
ค่าอำนาจจำแนก (r)	0.27	0.40	0.47	0.27	0.40	0.27	0.47	0.07	0.47	0.00
ผลการประเมิน	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้

เกณฑ์พิจารณาค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ 0.2 – 0.8 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 – 1.00

ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

คนที่	ข้อที่ 21	ข้อที่ 22	ข้อที่ 23	ข้อที่ 24	ข้อที่ 25	ข้อที่ 26	ข้อที่ 27	ข้อที่ 28	ข้อที่ 29	ข้อที่ 30
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
7	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
8	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
9	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
10	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
12	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
13	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
14	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
15	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
16	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1
17	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
18	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0
19	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
20	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0
21	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
22	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
23	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
24	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0
25	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1
26	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
27	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
28	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
29	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
30	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0
ค่าความยาก (p)	0.70	0.57	0.63	0.80	0.70	0.57	0.77	0.63	0.73	0.73
ค่าอำนาจจำแนก (r)	0.33	0.07	0.33	0.27	0.20	0.87	0.07	0.33	0.27	0.40
ผลการประเมิน	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้

เกณฑ์พิจารณาค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ 0.2 – 0.8 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 – 1.00

ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

คนที่	ข้อที่ 31	ข้อที่ 32	ข้อที่ 33	ข้อที่ 40	ข้อที่ 35	ข้อที่ 36	ข้อที่ 37	ข้อที่ 38	ข้อที่ 39	ข้อที่ 40
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
9	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0
12	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
13	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0
14	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
17	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1
18	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
19	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
20	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
22	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
23	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
24	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
25	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
26	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1
27	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
28	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
29	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
30	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
ค่าความยาก (p)	0.57	0.70	0.57	0.70	0.63	0.73	0.77	0.57	0.57	0.70
ค่าอำนาจจำแนก (r)	0.87	0.20	0.87	0.20	0.33	0.27	0.33	0.87	0.87	0.20
ผลการประเมิน	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้

เกณฑ์พิจารณาค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ 0.2 – 0.8 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 – 1.00

ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

คนที่	ข้อที่ 41	ข้อที่ 42	ข้อที่ 43	ข้อที่ 44	ข้อที่ 45	ข้อที่ 46	ข้อที่ 47	ข้อที่ 48	ข้อที่ 49	ข้อที่ 50
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
9	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
11	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
13	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1
14	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
17	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
18	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
19	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
20	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
21	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
22	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
23	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
24	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
25	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
26	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1
27	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
28	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
29	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
30	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
ค่าความยาก (p)	0.73	0.57	0.70	0.57	0.70	0.63	0.73	0.87	0.60	0.63
ค่าอำนาจจำแนก (r)	0.40	0.87	0.20	0.87	0.20	0.33	0.27	0.13	0.53	0.73
ผลการประเมิน	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ได้

เกณฑ์พิจารณาค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ 0.2 – 0.8 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 – 1.00

ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

คนที่	ข้อที่ 51	ข้อที่ 52	ข้อที่ 53	ข้อที่ 54	ข้อที่ 55	ข้อที่ 56	ข้อที่ 57	ข้อที่ 58	ข้อที่ 59	ข้อที่ 60
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
15	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
16	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
17	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
18	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
19	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
20	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
21	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
24	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0
25	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
26	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
27	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
28	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1
29	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0
30	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
ค่าความยาก (p)	0.77	0.57	0.73	0.70	0.83	0.77	0.90	0.80	0.77	0.57
ค่าอำนาจจำแนก (r)	0.20	0.60	0.40	0.47	0.33	0.20	0.07	0.13	0.20	0.60
ผลการประเมิน	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ไม่ได้	ใช้ได้	ใช้ได้

เกณฑ์พิจารณาค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ 0.2 – 0.8 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 – 1.00

จากนั้นนำผลการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เฉพาะข้อที่ใช้ได้ จำนวน 51 ข้อ ไปวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ทั้งฉบับ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.94 (Lotrakul et al., 2008) ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

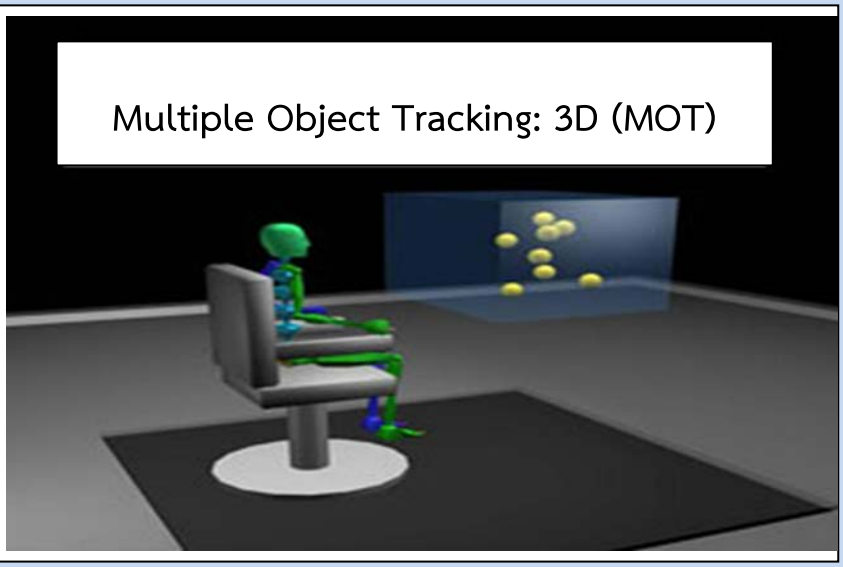
Reliability Statistics

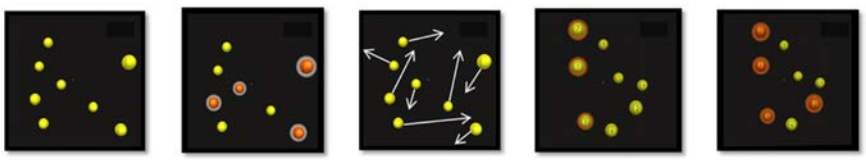
Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
.941	.940	51

ภาคผนวก ฉ
คู่มือการใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ
(Multiple Object Tracking (3D – MOT) Task)

คู่มือการใช้งาน

กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ
สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย





โดย นางสาวปิยวรรณ ถนัดธนูศิลป์

คู่มือการใช้กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ
(Multiple Object Tracking (3D-MOT) Task)

คำชี้แจง

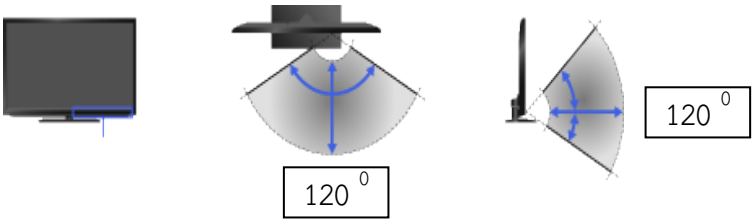
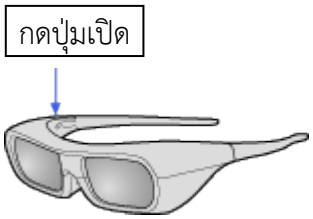
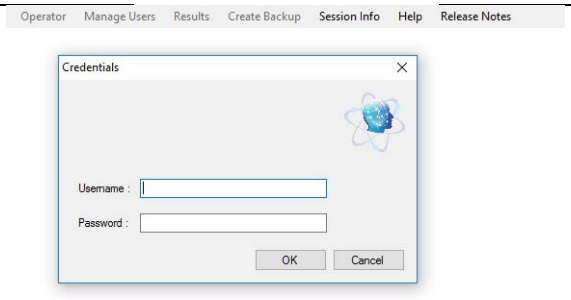
กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ (Multiple Object Tracking (3D–MOT) Task)) ได้ออกแบบขึ้นเพื่อใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Recognition Ability)

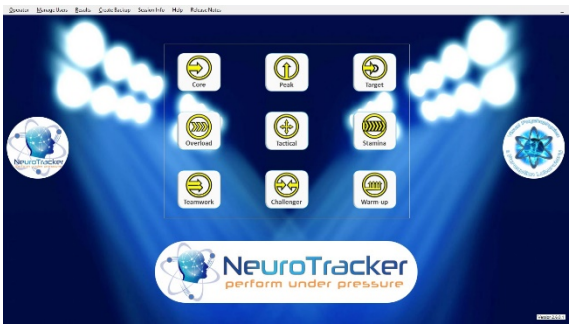
อุปกรณ์หลัก

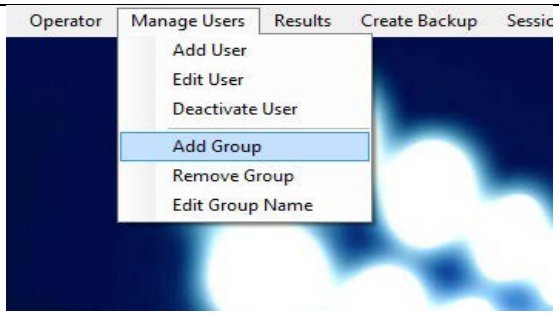
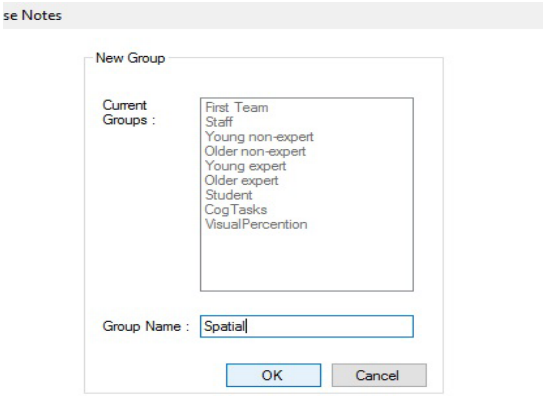
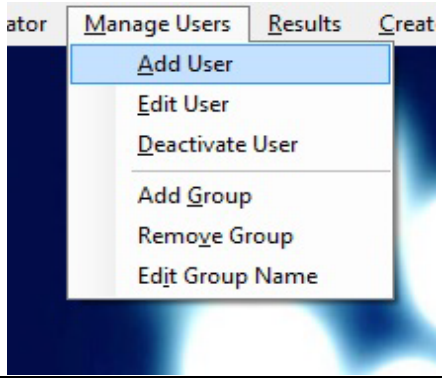
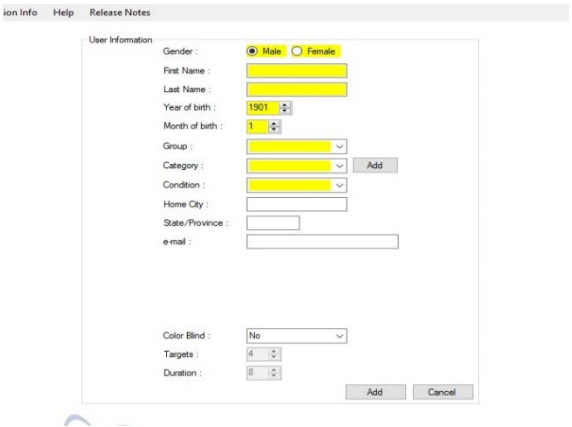
1. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows 7) และการ์ดแสดงผล (Display Card) หน่วยความจำ 512 MB ขึ้นไป
2. โทรทัศน์แสดงผล 3 มิติ (3 D) ขนาดความกว้างหน้าจอ 65 นิ้ว
3. แว่นตา 3 มิติ แบบแอคทีฟชัดเตอร์ (Active Shutter Glasses)
4 .ซอฟต์แวร์ (Software) โปรแกรมนิวโรแทรคเกอร์ (NeuroTracker)
5. สาย HDMI สำหรับเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับโทรทัศน์
6. เม้าส์ (Mouse)
7. แป้นพิมพ์ (Keyboard)

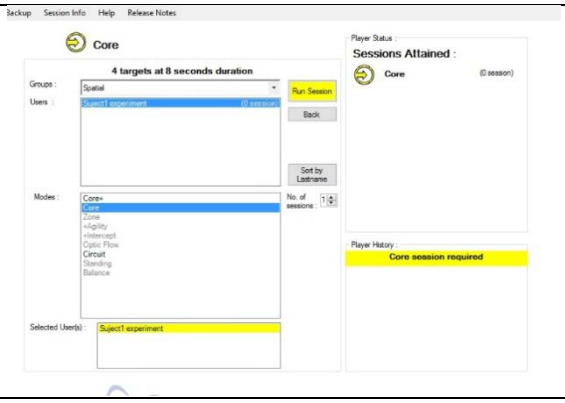
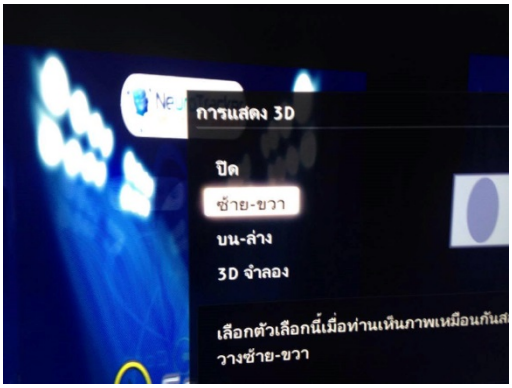
ขั้นเตรียมการก่อนฝึก

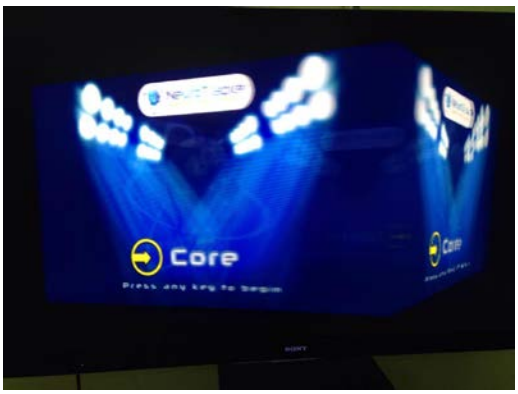
1. การเตรียมสถานที่	
1.1 ห้องฝึกมาตรฐาน ขนาด 4 x 4 x 4 เมตร พร้อมเครื่องปรับอากาศ	
2. การเตรียมอุปกรณ์	
2.1 เปิดโทรทัศน์ 2.2 เปิดคอมพิวเตอร์ และเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับโทรทัศน์ โดยใช้สาย HDMI	

2.3 ผู้ฝึกต้องนั่งเก้าอี้ห่างจากโทรทัศน์ ประมาณ 1.65 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่มองเห็นภาพได้ชัดเจนมากที่สุด	
2.4 ให้ผู้ฝึกสวมแว่นตา 3 มิติ แบบแอคทีฟชัดเตอร์ เมื่อกดปุ่มเปิด จะมีแสงไฟสีฟ้ากระพริบเป็นช่วง	
2.5 ปิดไฟภายในห้องเพื่อลดการรบกวนและให้ผู้ฝึกได้เล่นภาพที่แสดงบนหน้าจอโทรทัศน์ได้ชัดเจนขึ้น	
3. การเปิดใช้โปรแกรม	
3.1 เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อเปิดใช้งานโปรแกรมด้วยระบบ Online โดยคลิกที่ Neurotracker.exe	
3.2 กรอกชื่อผู้ใช้งาน Username และ รหัสผ่าน Password เพื่อเข้าสู่โปรแกรม Username: Burapha password: Neurotracker	

3.3 เมื่อเข้าสู่โปรแกรม แสดงหน้าต่างเมนูรูปแบบการฝึกต่าง ๆ ของโปรแกรม ประกอบด้วย 9 เมนูย่อย 1. Core รูปแบบพื้นฐานของการฝึกการติดตามวัตถุ สามารถเลือกจำนวนและสีของวัตถุที่ติดตามได้ 2. Peak รูปแบบการฝึกที่มีการเพิ่มขึ้นและลดลงของความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างฉับพลัน 3. Target รูปแบบการฝึกที่ต้องติดตามวัตถุที่มีสีแตกต่างกัน 4. Overload รูปแบบการฝึกที่สามารถควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของวัตถุให้คงที่ได้ 5. Tactical รูปแบบการฝึกที่สีของวัตถุที่ต้องติดตามจะแบ่งเป็นสองสีและจะไม่มีการเปลี่ยนสี 6. Stamina รูปแบบการฝึกที่กำหนดโอกาสตอบผิดไว้ 15 ครั้ง สิ้นสุดการฝึกทันทีถ้าตอบผิด 15 ครั้ง 7. Teamwork รูปแบบการฝึกโดยใช้ผู้ฝึกสองคนตามวัตถุคนละสีกัน 8. Challenger รูปแบบการฝึกที่ต้องแข่งขันกันระหว่างผู้ฝึกสองคน 9. Warm-up รูปแบบการเตรียมตัวก่อนการฝึก	

3.4 สร้างกลุ่มสำหรับการทดลอง โดยเข้าไปที่เมนู Mange Users และจากนั้นเลือกไปที่คำสั่ง Add Group	
3.5 ตั้งชื่อกลุ่มที่ต้องการสร้างโดยกรอกในช่อง Group Name จากนั้นกดปุ่ม OK	
3.6 เพิ่มรายชื่อผู้ฝึกแต่ละคนโดยเข้าไปที่เมนู Manage Users แล้วเลือกคำสั่ง Add User	
3.7 จากนั้นกรอกข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างตามรายละเอียดที่ระบุไว้ให้ถูกต้อง	

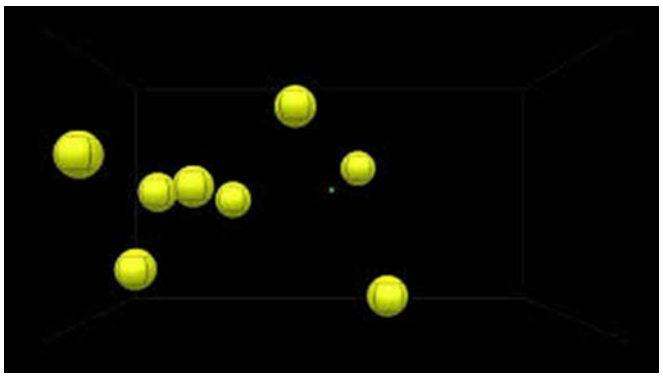
3.8 เข้าสู่รูปแบบการฝึก เลือกที่รูปแบบ Core เป็นรูปแบบพื้นฐานสำหรับผู้เริ่มการฝึก 1. การแสดงสิ่งเร้า (Present) คือ ลูกบอลทรงกลมสีเหลือง จำนวน 4 ลูก 2. กำหนดบ่งบอกเป้าหมาย (Indexation) คือ ลูกบอลทรงกลมสีแดง จำนวน 4 ลูก	
3.9 เลือกกลุ่มและรายชื่อกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการฝึก และเลือก Modes เป็น Core จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Run Session	
3.10 เปลี่ยนโหมดของโทรทัศน์ให้เป็นการแสดงผล 3 มิติ ชนิด ซ้าย-ขวา (side by side)	

3.11 เริ่มต้นการใช้โปรแกรมโดยการกดปุ่มใดก็ได้ที่คีย์บอร์ด (Keyboard) หรือการคลิกเมาส์แทน	

ขั้นตอนการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ มีดังนี้

1. การแสดงสิ่งเร้า (Presentation)

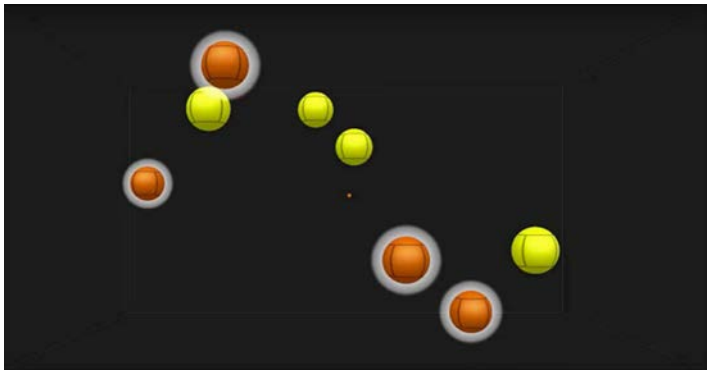
สิ่งเร้าซึ่งเป็นลูกบอลทรงกลมสีเหลือง จำนวน 8 ลูก ปรากฏขึ้นเป็นเวลา 2 วินาที แล้วมีการเคลื่อนที่ในหลายทิศทาง ผู้ฝึกจะต้องใช้ดวงตามองวัตถุหรือสิ่งเร้า ซึ่งเป็นลูกบอลทรงกลมสีเหลือง จำนวน 8 ลูก ที่มีการเคลื่อนที่ในหลายทิศทาง



ภาพที่ 1. การแสดงสิ่งเร้า (Presentation)

2. การบ่งบอกเป้าหมาย (Indexation)

การบ่งบอกวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายให้ติดตาม ซึ่งเป็นลูกบอลทรงกลมสีแดงล้อมรอบด้วยสีขาว จำนวน 4 ลูก ปรากฏขึ้นแล้วหยุดนิ่งเป็นเวลา 2 วินาที จากนั้นจะเปลี่ยนสีกลับเป็นสีเหลืองตามเดิม ผู้ฝึกจะต้องใช้ดวงตาจ้องมอง และจดจำสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย คือ ลูกบอลทรงกลมสีแดงล้อมรอบด้วยสีขาว จำนวน 4 ลูก



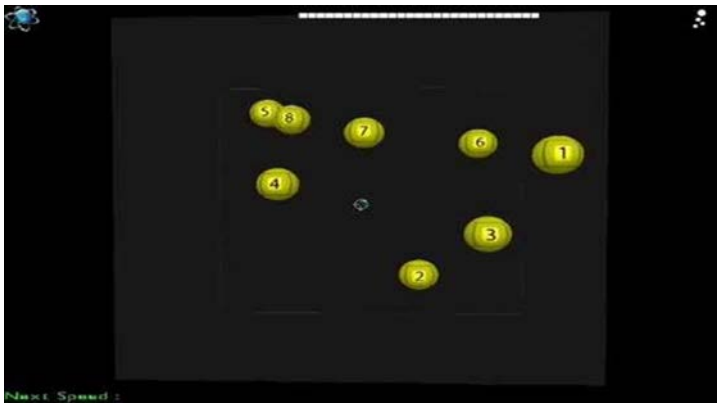
ภาพที่ 2. การบ่งบอกเป้าหมาย (Indexation)

3. การเคลื่อนไหว (Movement)

เป็นการรบกวนวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย ด้วยการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงในทิศทางที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 8 วินาที ผู้ฝึกจะต้องใช้ดวงตาจ้องมอง และจดจำสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย คือ ลูกบอลทรงกลมสีแดงล้อมรอบด้วยสีขาว จำนวน 4 ลูก ในขณะที่มีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงในทิศทางที่แตกต่างกัน

4. การกำหนดเป้าหมาย (Identification)

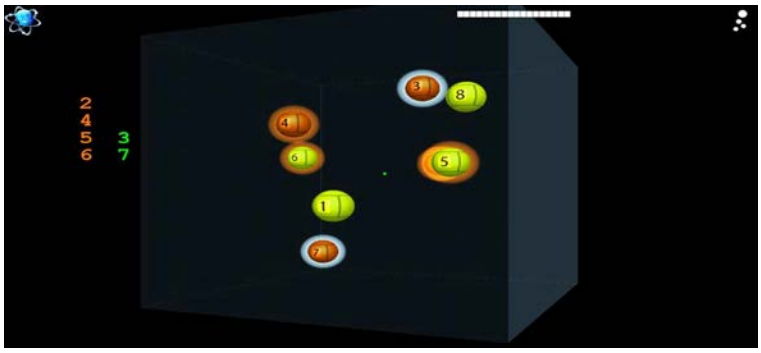
ให้ระบุวัตถุหรือสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายหลังจากมีการรบกวนจบลง ลูกบอลทั้ง 8 ลูก จะหยุดนิ่งเป็นเวลา 2 วินาที และมีหมายเลขปรากฏขึ้นที่ลูกบอลแต่ในแต่ละลูก คือ หมายเลข 1 ถึง 8 ผู้ฝึกจะต้องเตรียมคำตอบว่า ลูกบอลทรงกลมสีแดงล้อมรอบด้วยสีขาว จำนวน 4 ลูกใช้ดวงตาจ้องมองและจดจำไว้นั้น คือ ลูกบอลหมายเลขใดบ้าง



ภาพที่ 3. การกำหนดเป้าหมาย (Identification)

5. การเรียกคืนข้อมูล (Feedback)

เป็นการเรียกคืนข้อมูลสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายในความจำของผู้ฝึกกลับออกมา ผู้ฝึกจะต้องตอบว่า สิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายให้ติดตามในขั้นตอนที่ 2 คือ ลูกบอลทรงกลมสีแดงล้อมรอบด้วยสีขาว จำนวน 4 ลูก คือหมายเลขใด โดยผู้สอนจะเป็นผู้กดแป้นหมายเลขของลูกบอลตามที่ผู้ฝึกตอบมา ปรากฏหมายเลขสีแดงแถวแรกเรียงตามลำดับ บนหน้าจอภาพด้านซ้าย หากตอบผิดจะแสดงหมายเลขที่ถูกต้องออกมาในแถวถัดไป หลังจากผู้ฝึกตอบเสร็จแล้ว หมายเลขลูกบอลที่ถูกต้องจะถูกเฉลยออกมา เป็นเวลา 2 วินาที หากตอบผิดจะแสดงหมายเลขที่ถูกต้องออกมาในแถวถัดไป หลังจากนั้นวัตถุทรงกลมจะเปลี่ยนเป็นสีแดง จำนวน 4 ลูกอีกครั้ง เพื่อเริ่มการติดตามครั้งต่อไป และความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกบอลจะเพิ่มขึ้นโดยอัตโนมัติเมื่อผู้ฝึกตอบถูก หากตอบผิดความเร็วจะลดลงโดยอัตโนมัติด้วยเช่นกัน ซึ่งใน 1 เกม ประกอบด้วยเกมย่อย 20 ครั้ง ใช้เวลา 6 นาที (ไม่นับเวลาตอบ)



ภาพที่ 4. การเรียกคืนข้อมูล (Feedback)

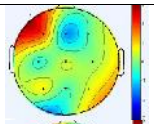
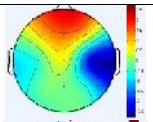
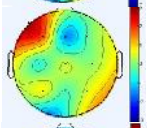
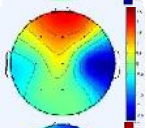
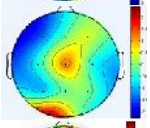
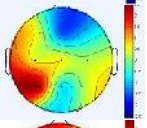
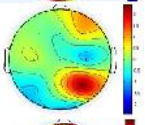
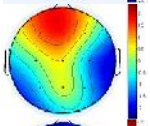
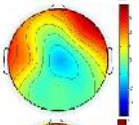
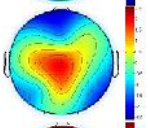
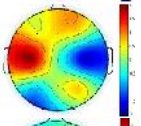
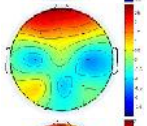
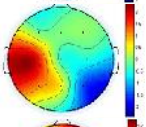
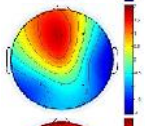
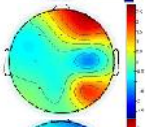
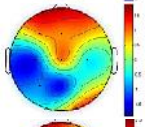
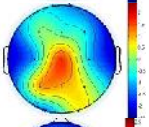
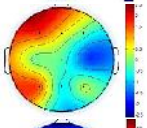
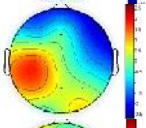
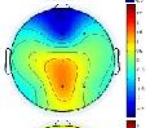
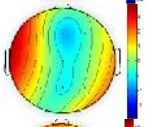
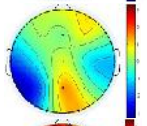
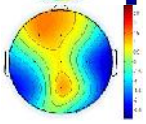
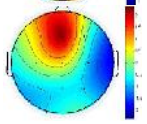
กิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ผู้วิจัยกำหนดให้ทำการฝึกวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที เป็นเวลา 10 วัน ดังนั้น ผู้ฝึกจะต้องทำการฝึก วันละ 6 เกม โดยแบ่งเป็น 2 รอบ คือ รอบแรก ฝึก 3 เกม ใช้เวลาประมาณ 20 นาที จากนั้นพัก 20 นาที รอบสองฝึก 3 เกม ใช้เวลาประมาณ 20 นาที ซึ่งผลการฝึกในแต่ละครั้ง จะถูกบันทึกประวัติเก็บไว้ในโปรแกรมโดยอัตโนมัติ เมื่อการฝึกแต่ละครั้งสิ้นสุดลง จะมีผลคะแนนและกราฟแสดงพัฒนาการของการฝึกในแต่ละครั้ง สามารถดูประวัติการฝึกได้ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบการฝึก

ภาพที่ 5. จบการฝึก

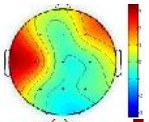
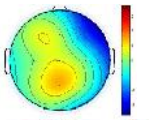
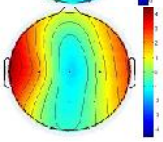
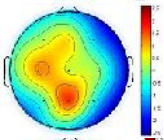
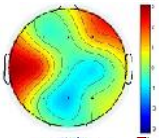
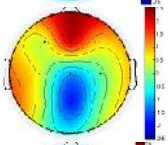
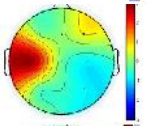
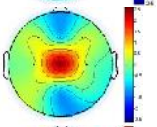
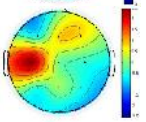
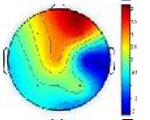
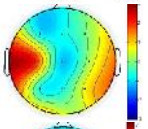
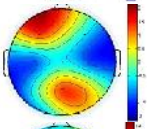
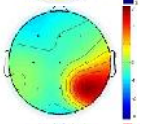
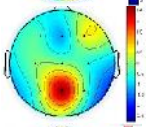
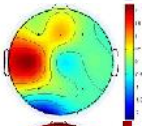
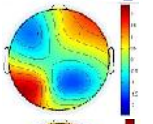
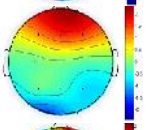
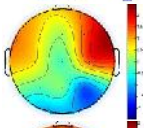
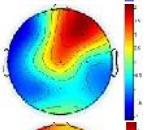
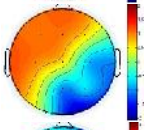
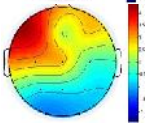
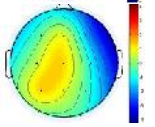
ภาคผนวก ช

ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP)

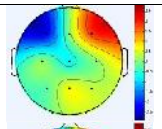
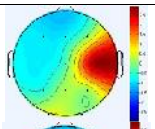
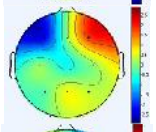
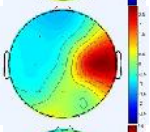
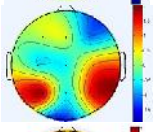
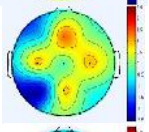
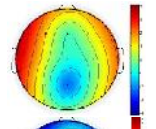
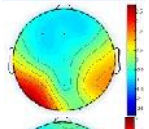
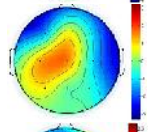
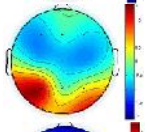
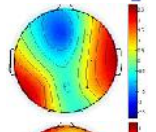
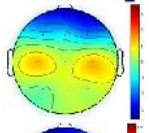
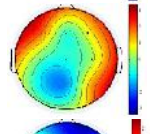
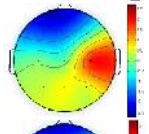
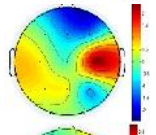
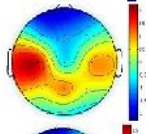
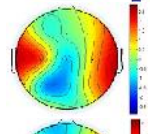
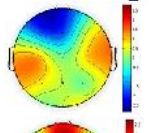
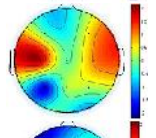
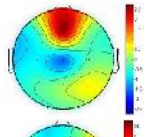
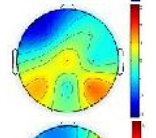
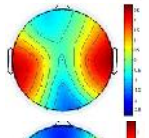
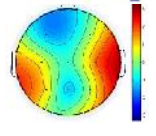
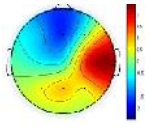
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

คนที่	ก่อนใช้รูปแบบฝึกสมอง	หลังใช้รูปแบบฝึกสมอง
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

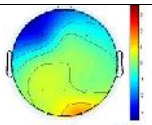
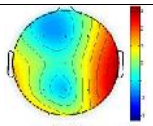
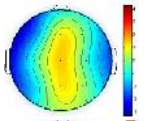
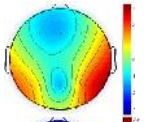
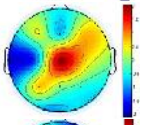
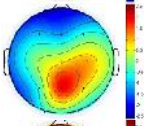
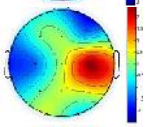
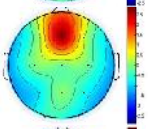
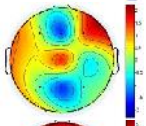
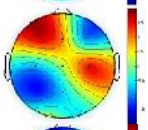
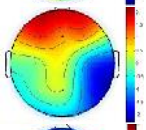
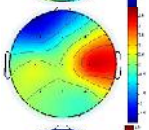
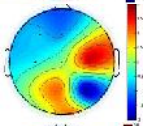
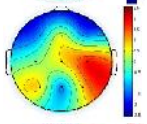
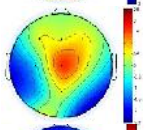
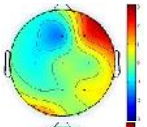
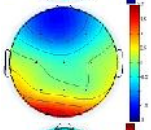
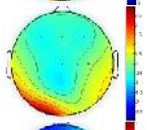
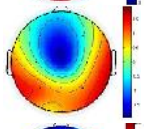
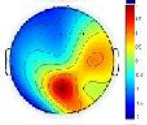
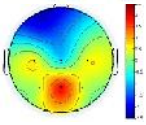
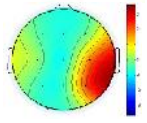
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

คนที่	ก่อนใช้รูปแบบฝึกสมอง	หลังใช้รูปแบบฝึกสมอง
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		

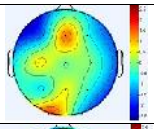
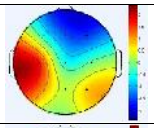
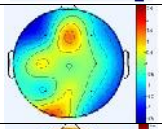
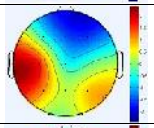
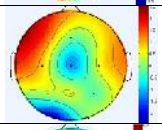
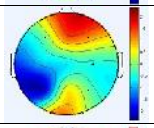
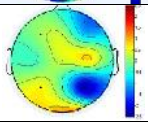
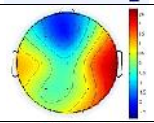
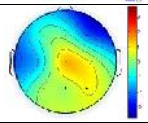
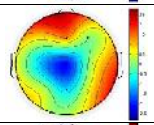
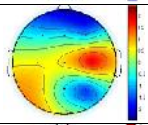
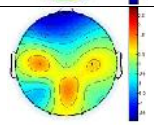
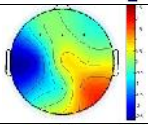
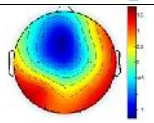
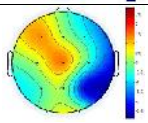
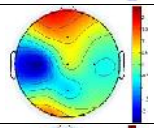
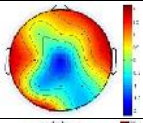
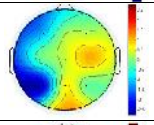
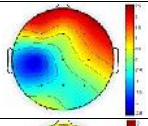
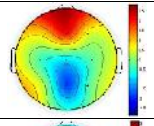
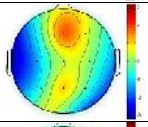
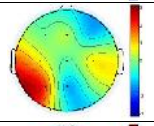
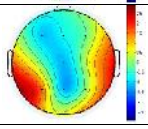
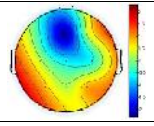
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

คนที่	ก่อนใช้รูปแบบฝึกสมอง	หลังใช้รูปแบบฝึกสมอง
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

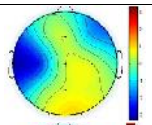
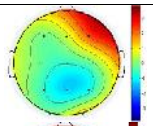
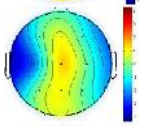
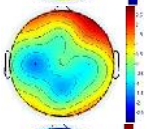
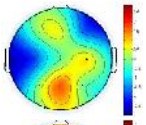
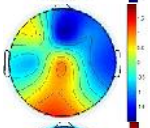
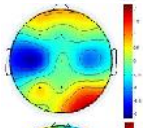
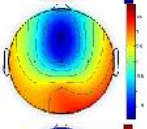
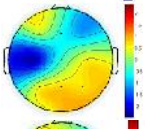
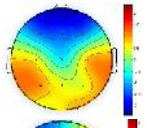
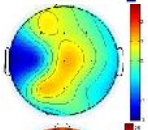
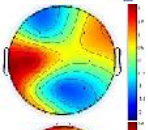
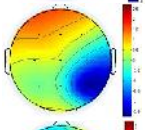
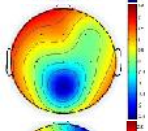
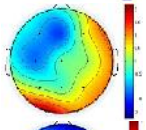
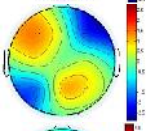
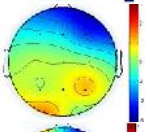
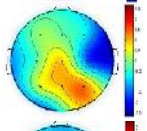
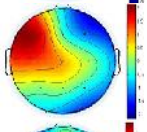
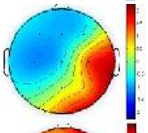
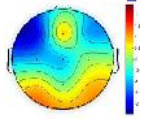
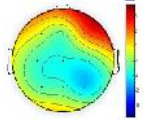
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

คนที่	ก่อนใช้รูปแบบฝึกสมอง	หลังใช้รูปแบบฝึกสมอง
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		

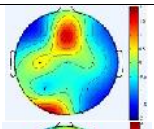
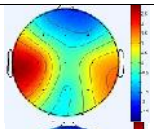
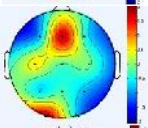
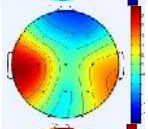
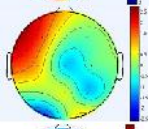
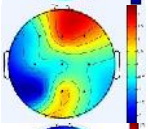
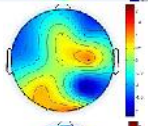
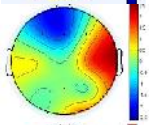
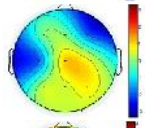
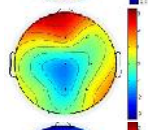
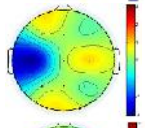
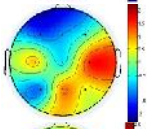
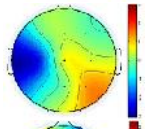
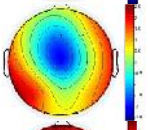
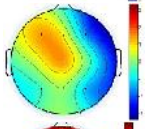
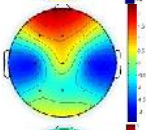
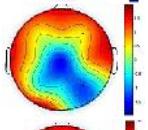
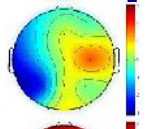
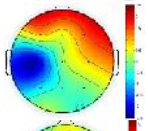
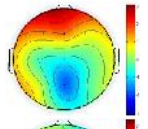
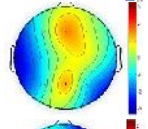
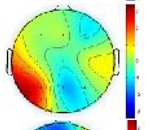
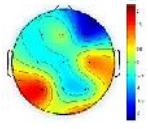
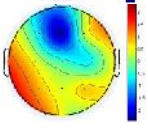
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

คนที่	ก่อนใช้รูปแบบฝึกสมอง	หลังใช้รูปแบบฝึกสมอง
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

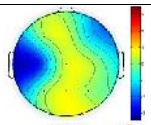
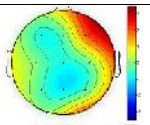
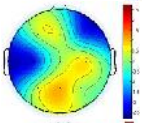
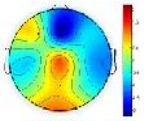
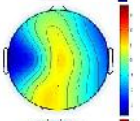
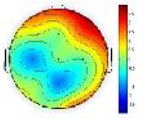
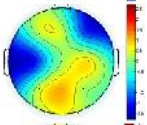
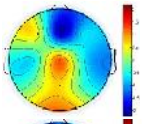
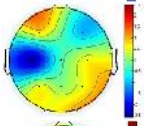
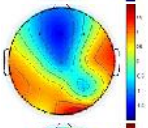
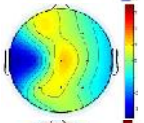
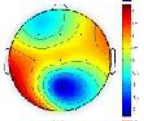
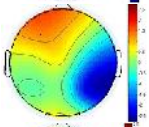
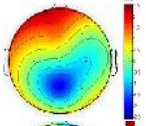
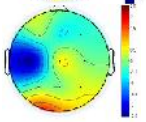
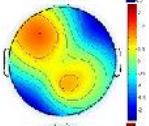
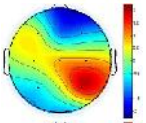
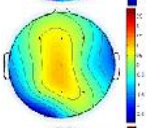
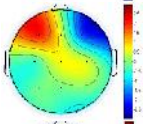
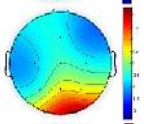
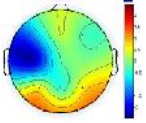
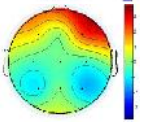
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

คนที่	ก่อนใช้รูปแบบฝึกสมอง	หลังใช้รูปแบบฝึกสมอง
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		

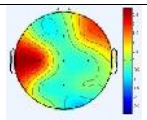
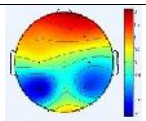
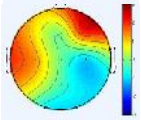
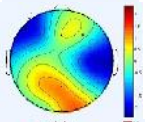
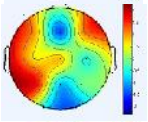
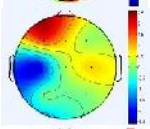
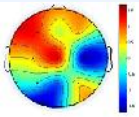
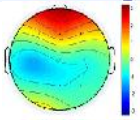
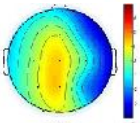
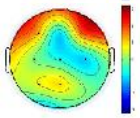
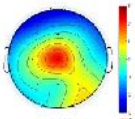
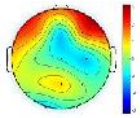
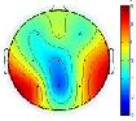
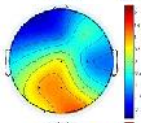
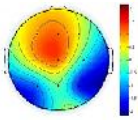
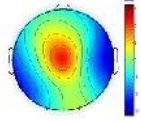
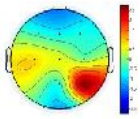
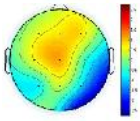
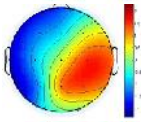
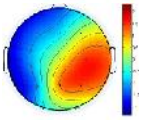
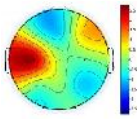
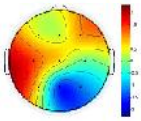
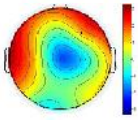
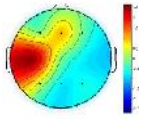
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

คนที่	ก่อนใช้รูปแบบฝึกสมอง	หลังใช้รูปแบบฝึกสมอง
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

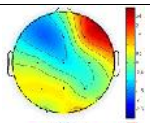
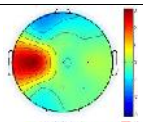
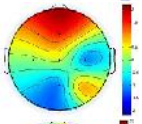
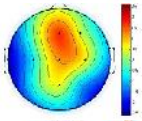
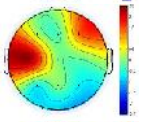
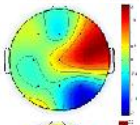
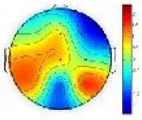
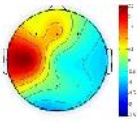
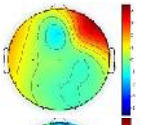
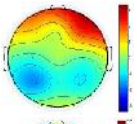
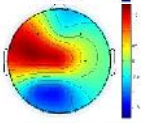
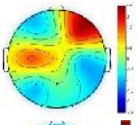
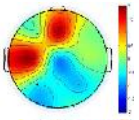
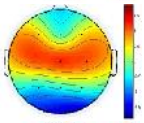
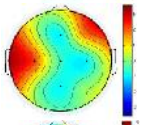
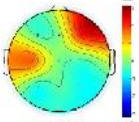
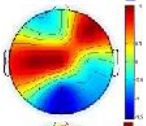
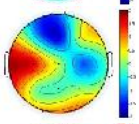
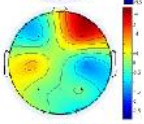
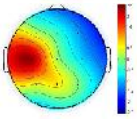
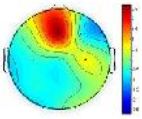
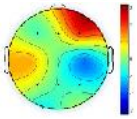
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังใช้รูปแบบฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

คนที่	ก่อนใช้รูปแบบฝึกสมอง	หลังใช้รูปแบบฝึกสมอง
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		

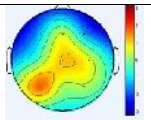
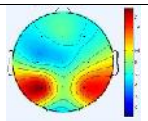
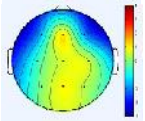
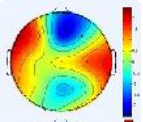
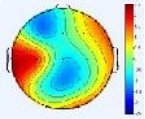
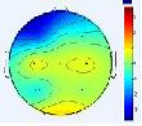
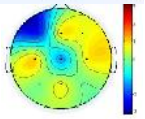
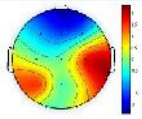
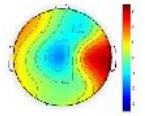
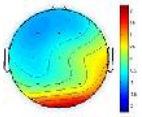
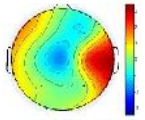
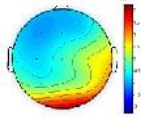
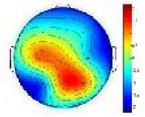
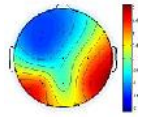
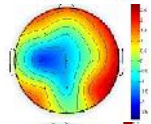
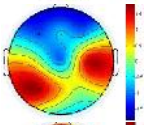
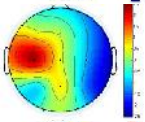
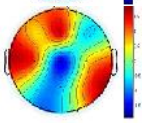
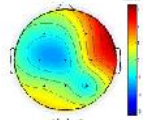
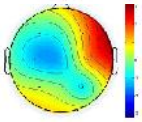
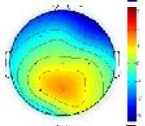
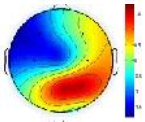
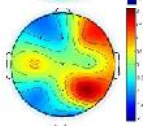
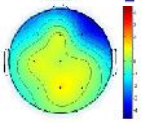
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มควบคุมระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง

คนที่	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

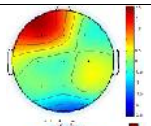
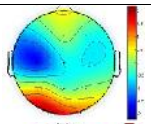
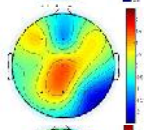
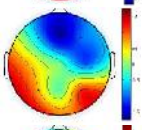
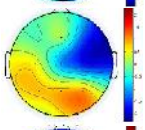
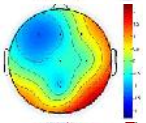
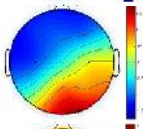
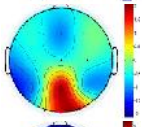
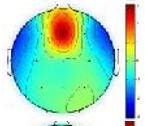
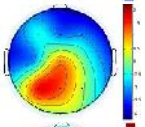
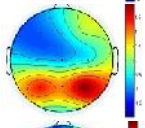
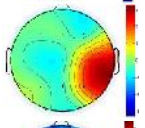
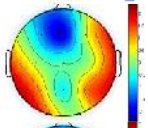
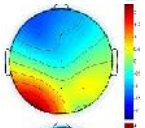
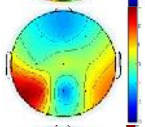
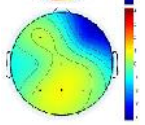
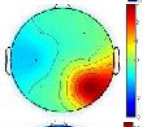
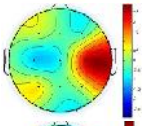
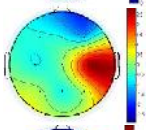
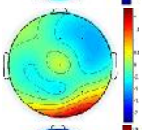
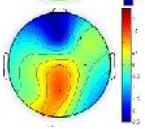
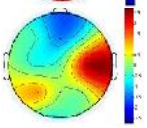
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ของกลุ่มควบคุมระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง

คนที่	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		

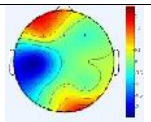
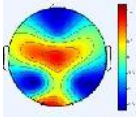
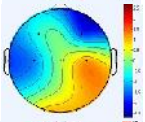
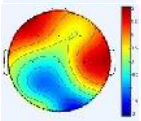
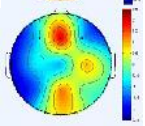
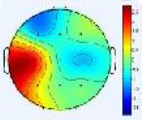
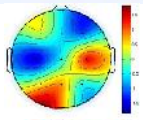
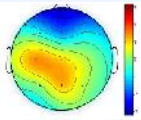
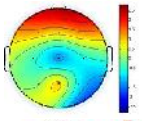
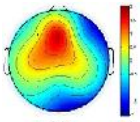
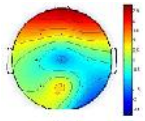
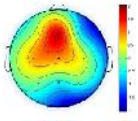
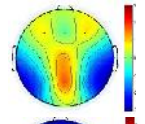
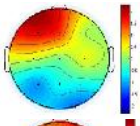
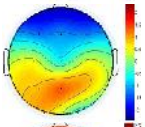
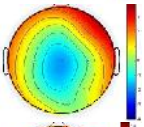
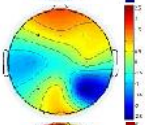
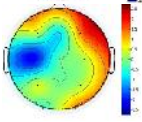
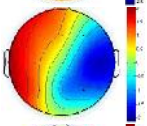
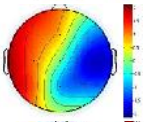
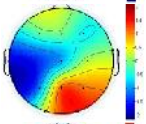
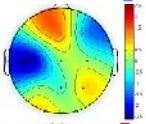
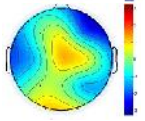
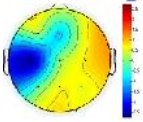
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มควบคุมระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง

คนที่	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

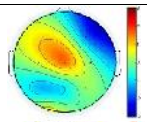
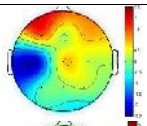
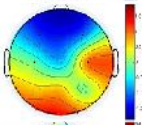
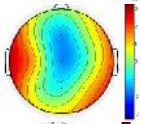
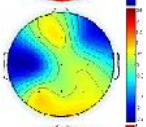
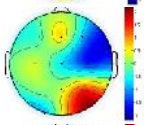
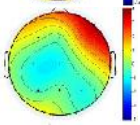
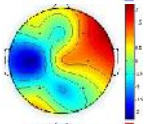
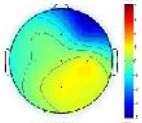
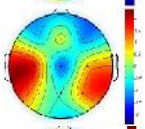
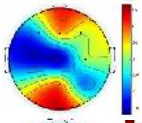
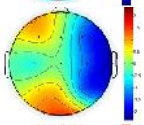
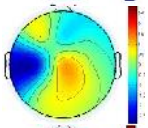
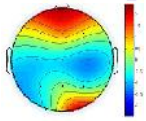
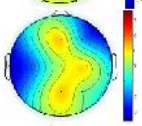
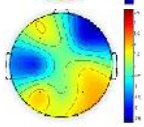
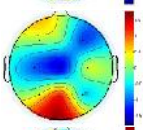
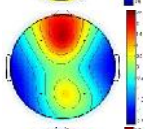
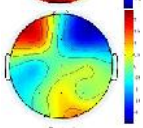
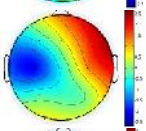
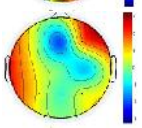
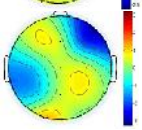
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ของกลุ่มควบคุมระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง

คนที่	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		

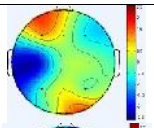
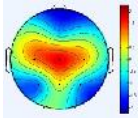
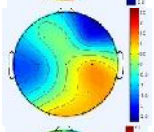
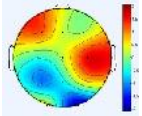
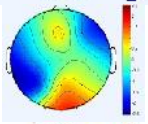
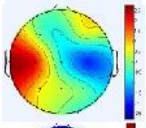
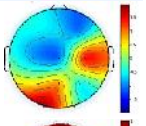
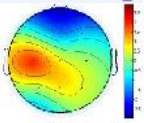
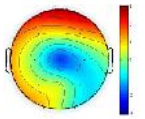
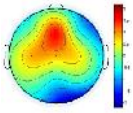
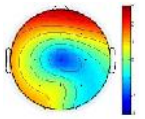
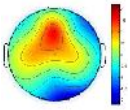
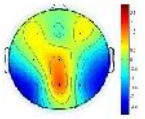
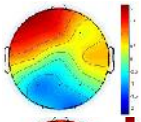
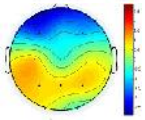
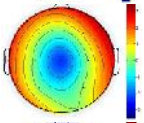
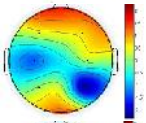
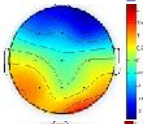
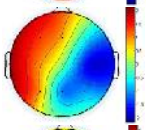
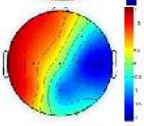
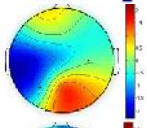
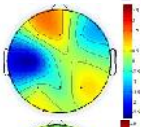
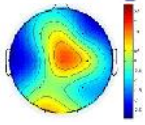
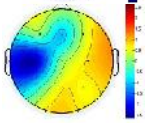
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ของกลุ่มควบคุมระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง

คนที่	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

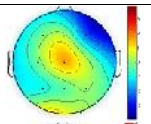
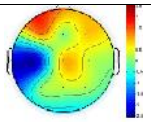
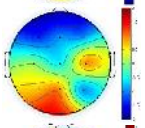
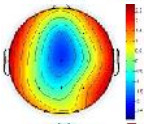
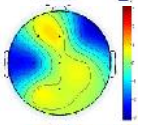
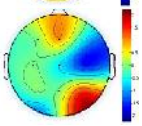
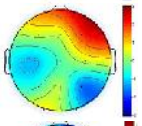
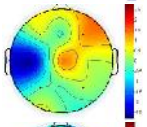
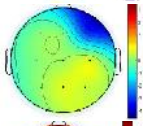
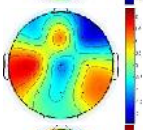
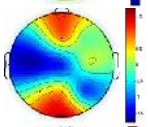
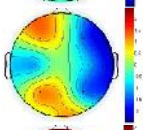
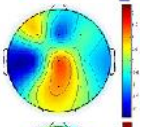
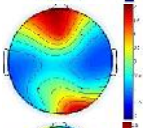
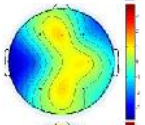
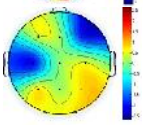
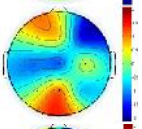
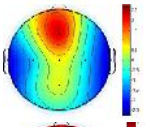
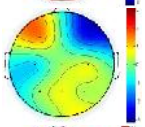
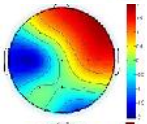
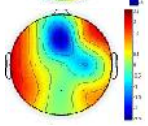
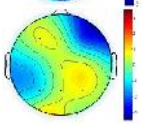
ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ของกลุ่มควบคุมระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง

คนที่	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		

ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มควบคุมระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง

คนที่	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

ภาพแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ของกลุ่มควบคุมระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง

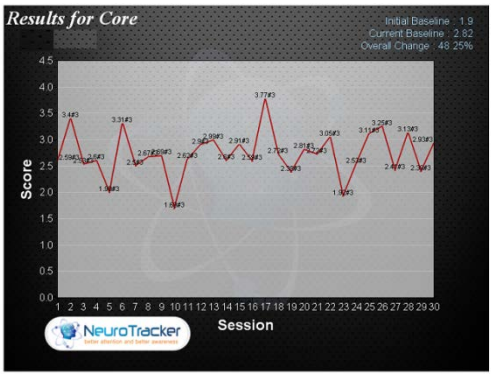
คนที่	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		

ภาคผนวก ซ

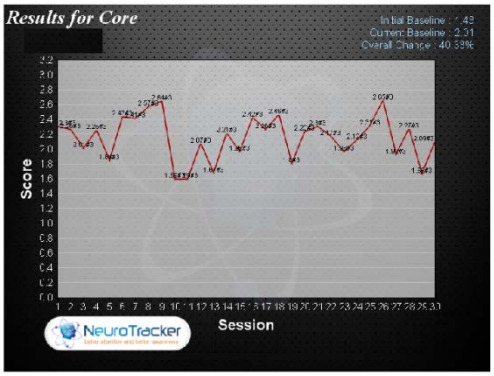
ผลการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ของกลุ่มทดลอง (n=23)

ตัวอย่างผลการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ของกลุ่มทดลอง (n=23)

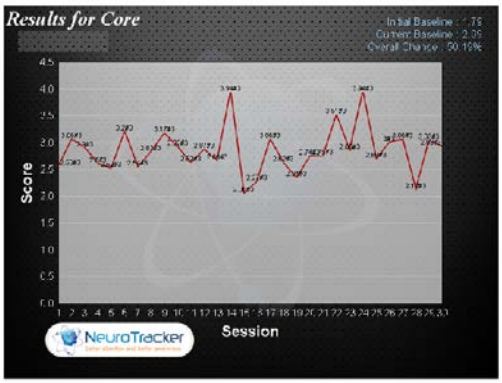
คนที่ 1



คนที่ 2

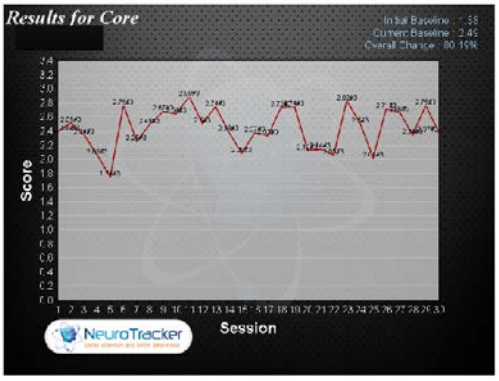


คนที่ 3

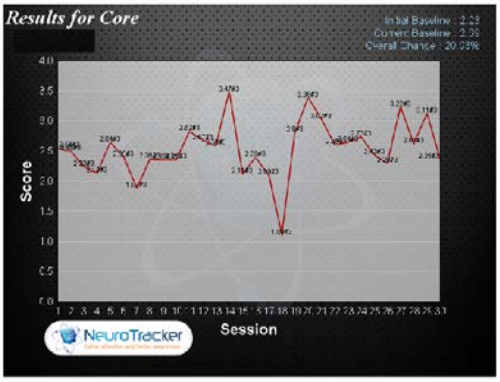


คนที่ 4

คนที่ 5

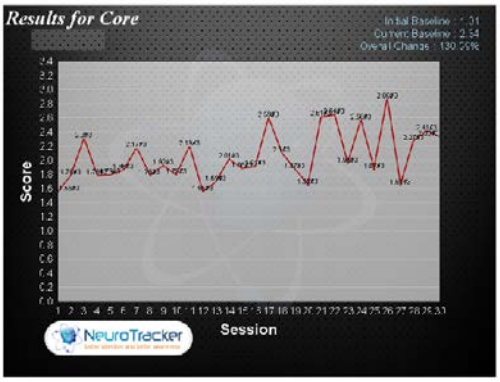


คนที่ 6



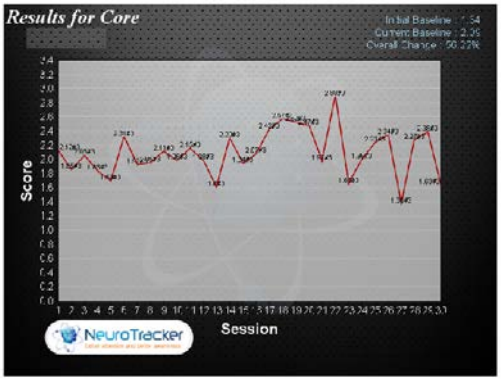
ตัวอย่างผลการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ของกลุ่มทดลอง (n=23)

คนที่ 7

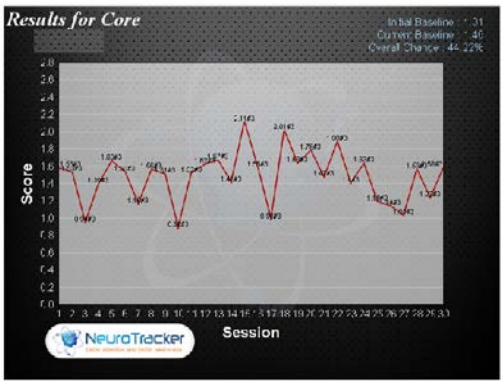


คนที่ 8

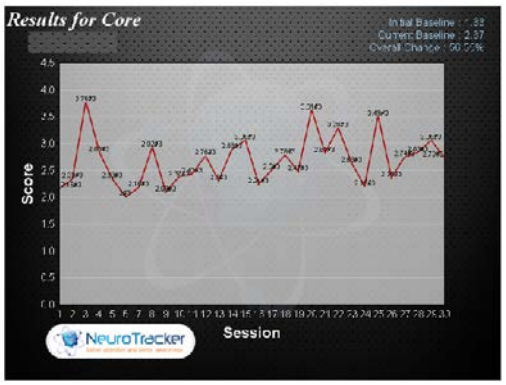
คนที่ 9



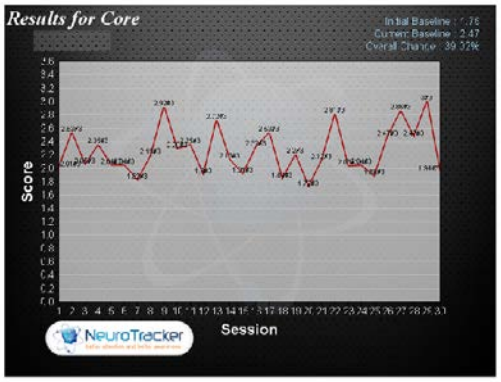
คนที่ 10



คนที่ 11

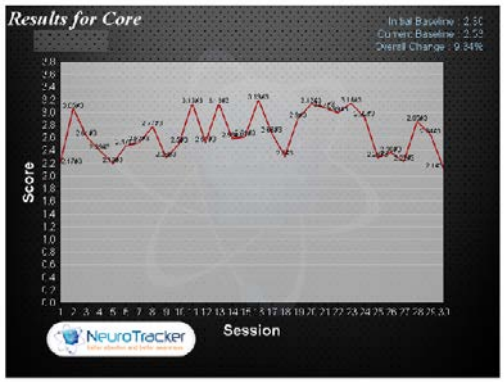


คนที่ 12

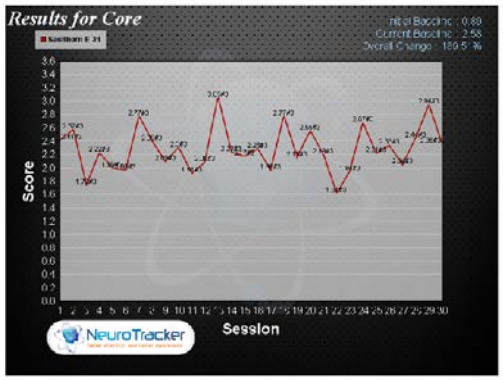


ตัวอย่างผลการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ของกลุ่มทดลอง (n=23)

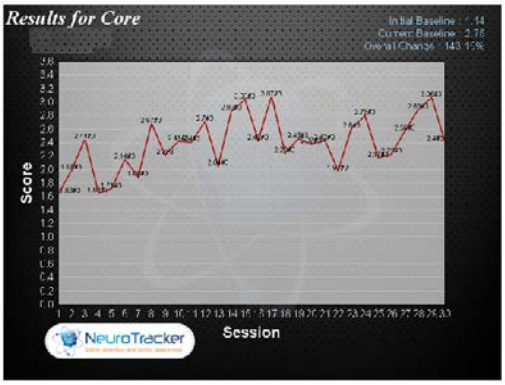
คนที่ 13



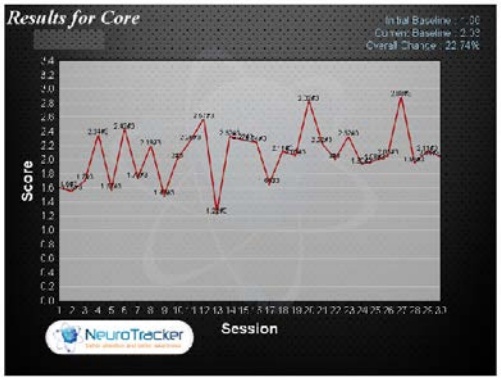
คนที่ 14



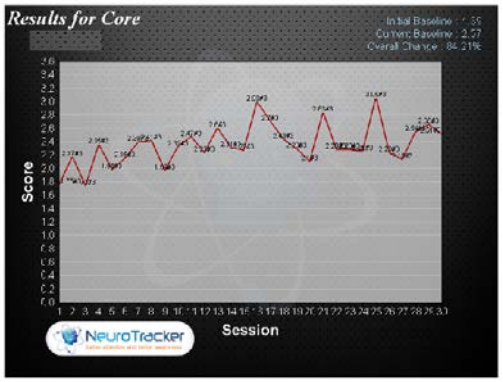
คนที่ 15



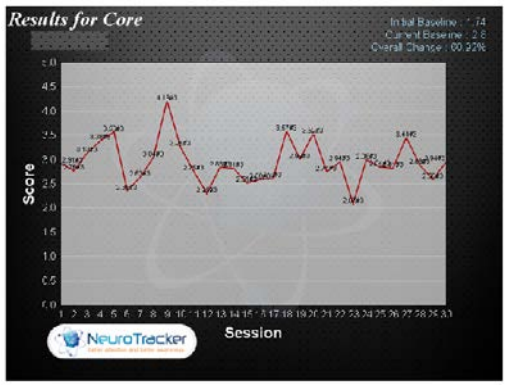
คนที่ 16



คนที่ 17



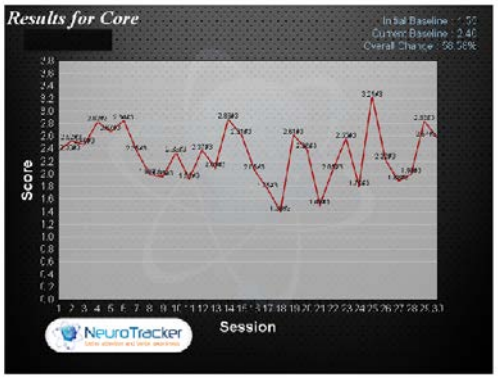
คนที่ 18



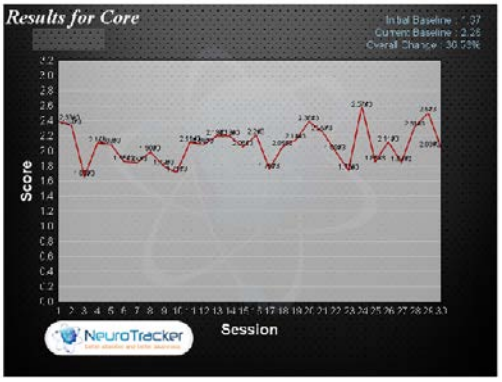
ตัวอย่างผลการฝึกสมองด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ของกลุ่มทดลอง (n=23)

คนที่ 19

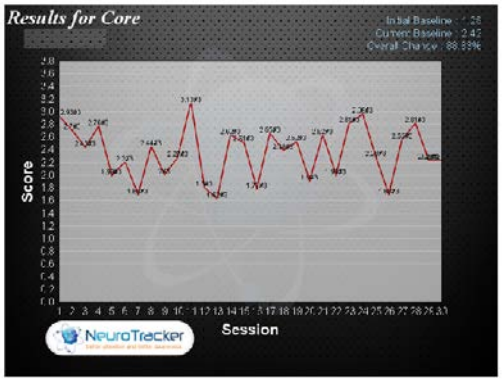
คนที่ 20



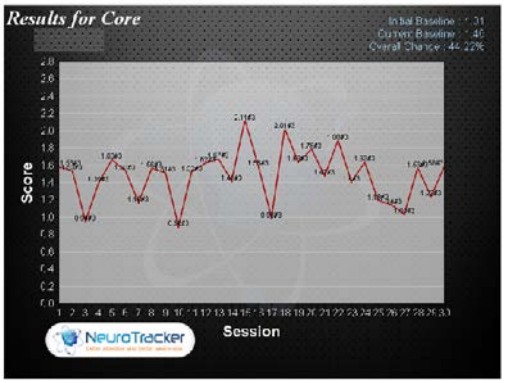
คนที่ 21



คนที่ 22



คนที่ 23



ผลงานวิจัย

ปิยวรรณ ถนัดธนูศิลป์ สุชาดา กรเพชรปาณี และปริญญา เรืองทิพย์. (2560). การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา, มหาวิทยาลัยบูรพา, 15*(1), (inpress)

จาตุพักตร์ พากเพียร ปิยวรรณ ถนัดธนูศิลป์ บุราณี ระเบียบ และปริญญา เรืองทิพย์ (2560). การสร้างแบบทดสอบความรู้ความเข้าใจเชิงตัวเลขสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. *ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 17*(2) (inpress)

บุราณี ระเบียบ, ปิยวรรณ ถนัดธนูศิลป์ จาตุพักตร์ พากเพียร และ วาทิณี จิตรสำรวย. (2561). ผลการใช้โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตสำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่1. *วิชาการศรีปทุม ชลบุรี, 15*(2) (inpress)

วาทิณี จิตรสำรวย ปิยวรรณ ถนัดธนูศิลป์ จาตุพักตร์ พากเพียร และ บุราณี ระเบียบ. (2561). การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเมินทักษะกระบวนการประเมินเพื่อพัฒนาผู้เรียนของครูระดับประถมศึกษาแบบออนไลน์. *วิชาการศรีปทุม ชลบุรี, 15*(2) (inpress)