

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาค้นคว้าอิสระ โดยมีการวัดประสิทธิภาพเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต และระหว่างกลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มที่ไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยศึกษาทั้งด้านพฤติกรรมและการทำงานของสมอง เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) แบบมีกลุ่มควบคุม ทดสอบก่อนกับหลังการทดลอง (Randomized Pretest-Posttest Control Group Design) ใช้เวลาดำเนินการทดลอง 2 สัปดาห์ จำนวน 33 ชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างมีสุขภาพดี จำนวน 30 คน อายุเฉลี่ย 16.27 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.78 สุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (Random Assignment) กลุ่มละ 15 คน โดยวิธีสุ่มอย่างง่ายด้วยการจับสลาก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ใช้รูปแบบการทดสอบบนโปรแกรมสำเร็จรูป Super Lab 4.5 ร่วมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป AcqKnowledge 4.2 และเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ตัวแปรในการศึกษา คือ คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1, Alpha 2, Beta 1 และ Beta 2 วิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน และแบบสองกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาค้นคว้าอิสระ ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. การพัฒนาโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ แนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการทางสมองกับมิติสัมพันธ์ กระบวนการทางสมองกับการวาดภาพ และการวาดภาพกับการพัฒนามิติสัมพันธ์ เพื่อเป็นกรอบแนวคิดพื้นฐานและออกแบบโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต รวมทั้งแนวทางพัฒนาโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ตลอดจนกำหนดรายละเอียด ขั้นตอน เนื้อหา ระยะเวลา สื่อ/อุปกรณ์ และการประเมินผล ผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินความเหมาะสมของ

3.5 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 โดยภาพรวมปรากฏว่า กลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า P4 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 สำหรับตำแหน่งขั้วไฟฟ้า F3 และ F4 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มขึ้น ซึ่งอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต สูงกว่าก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ตามกระบวนการวาดภาพของวิลด์สส์ร่วมกับโปรแกรม The Geometer's Sketchpad ส่งผลต่อการพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปแบบทรงเรขาคณิตเพิ่มขึ้น ดังที่เพียเจท์ และอินheldเดอร์ (Piaget & Inhelder, 1967) อธิบายถึงการแสดงออกทางการวาดภาพแสดงมิติสัมพันธ์ว่าเป็นขั้นตอนพัฒนาการทางสมองที่ควบคุมความสามารถในการวาดภาพและการใช้มิติ ซึ่งสอดคล้องกับการ์ดเนอร์ (Gardner, 1983) ที่กล่าวว่า การวาดเป็นมโนภาพที่เชื่อมโยงให้เกิดขึ้นภายในใจ พร้อมทั้งสามารถที่จะถ่ายทอดออกมาให้คนอื่นรับรู้ได้อย่างเป็นรูปธรรม ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นกลไกการทำงานของสมองในการสร้างเครือข่ายเชื่อมต่อกันเป็นวงจรแห่งการเรียนรู้เกิดขึ้นตลอดเวลา เพื่อสร้างความเข้าใจด้วยการเชื่อมโยงเหตุการณ์ การใช้เหตุผล การสร้างความคิดนามธรรม และการพัฒนาทักษะต่าง ๆ ขึ้นอยู่การนำไปใช้ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมแห่งการเรียนรู้ หากผู้เรียนได้ฝึกคิด จินตนาการ การสร้างภาพในใจและได้ลงมือปฏิบัติ รวมทั้งสอดคล้องกับแมกคิม (McKim, 1980) ที่กล่าวว่า การจินตนาการโดยใช้ภาพเป็นตัวกระตุ้นมีความเกี่ยวพันกัน 3 ส่วน ได้แก่ การมองเห็น การจินตนาการ และการวาดภาพ ส่วนซอร์บี (Sorby, 1999) ได้กล่าวเสริมว่า การมองเห็น การจินตนาการ และการวาดภาพเป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะด้านมิติสัมพันธ์

นอกจากนี้เดอลิเยโลกลู (Delialioğlu, 1999) ได้ศึกษาทักษะทางคณิตศาสตร์ร่วมกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายเอกฟิสิกส์ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์มีความสัมพันธ์กันทางบวก ส่วนผลงานวิจัยของจูลี (July, 2001) ศึกษาการคิดในสามมิติเกี่ยวกับ

การสำรวจความคิดทางเรขาคณิตและความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนด้วย The Geometer's Sketchpad (GSP) โดยหลังเรียนนักเรียนมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของเคอร์ทุส (Kurtuluş, 2011) ได้ศึกษาผลของการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวาดภาพแบบทัศนียภาพที่มีต่อความสามารถเชิงมิติสัมพันธ์และการวาดภาพแบบทัศนียภาพ โดยกลุ่มควบคุมปฏิบัติการวาดภาพบนกระดาษและกระดาษ กลุ่มทดลองปฏิบัติการด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (GSP) ผลการทดลองปรากฏว่า ทั้งสองกลุ่มมีความสามารถเชิงมิติสัมพันธ์และการวาดภาพแบบทัศนียภาพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ตลอดจนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ส่งผลดีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอีกด้วย

2. ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 และ Alpha 2 ซึ่งเป็นช่วงความถี่เกี่ยวกับสมาธิ ความคิดตรึกตรอง และความผ่อนคลาย สามารถอธิบายผลของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรม และระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรม ดังนี้

ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 และ Alpha 2 โดยภาพรวมปรากฏว่า กลุ่มทดลอง หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตสูงกว่าก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต นักเรียนมีสมาธิ มีความคิดตรึกตรอง และมีความผ่อนคลายขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของโมแรดี และคณะ (Moradi et al., 2011) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ปรากฏว่า หลังการฝึกอบรมช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha เพิ่มขึ้น นั้นหมายถึง ผู้ป่วยมีสมาธิมากขึ้น มีความคิดตรึกตรองดีขึ้น แต่ขัดแย้งกับผลการวิจัยของอาร์เช่ และคณะ (Arce et al., 1995) และผลการวิจัยของคอร์ซี-คาเบรรา และคณะ (Corsi-Cabrera et al., 1997) ที่พบว่า กลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ต่ำกว่ากลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ จากการพิจารณากระบวนการเก็บข้อมูลวิจัยของอาร์เช่ และคณะ (Arce et al., 1995) และคอร์ซี-คาเบรรา และคณะ (Corsi-Cabrera et al., 1997) มีข้อสังเกตว่า กระบวนการวิจัยดังกล่าว ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) กับผู้เข้าร่วมวิจัยเพียงครั้งเดียว ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ผู้เข้าร่วมวิจัยยังไม่คุ้นชินกับการใช้อุปกรณ์หรือวิธีการใช้เครื่องมือวัด ซึ่งมีความซับซ้อน มีความละเอียดอ่อนในการติดตั้งที่บริเวณศีรษะ ประกอบกับการนั่งในห้องทดลองเพียงลำพังอาจส่งผลให้ผู้เข้าร่วมวิจัยมีความวิตกกังวล เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1

และ Alpha 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ปรากฏว่า ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 มีการกระตุ้นของคลื่นไฟฟ้าที่แตกต่างกันทั่วศีรษะ ได้แก่ บริเวณสมองส่วนหน้าทั้งระบบ (F3, Fz และ F4) บริเวณสมองส่วนกลางทั้งระบบ (C3, Cz และ C4) บริเวณสมองส่วนขม่อมทั้ง 2 ซีก (P3 และ P4) และบริเวณสมองส่วนท้ายทอยทั้ง 2 ซีก (O1 และ O2) สำหรับค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 มีการกระตุ้นของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างกันบริเวณสมองส่วนท้ายทอยซีกซ้าย (O1) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มทดลอง ก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตสมองส่วนการมองเห็นใช้พลังงานเพื่อแยกแยะและประมวลผลภาพด้านขวาและภาพด้านซ้าย (O1 และ O2) สูงกว่าหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต จากนั้นส่งสัญญาณประสาทไปสมองส่วนขม่อมเพื่อประมวลผลการรับรู้ ปรากฏว่า ก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต มีความกังวลเกี่ยวกับการประมวลผลการรับรู้ทั้งซีกขวา และซีกซ้าย (P3 และ P4) การวางแผนการเคลื่อนไหวทั้งระบบ (F3, Fz และ F4) และส่งผลให้มีความกังวลต่อการสั่งงานการเคลื่อนไหวการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กทั้งระบบ (C3, Cz และ C4) สูงกว่าหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต และเมื่อนักเรียนได้ทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์อย่างต่อเนื่อง การกระตุ้นคลื่นไฟฟ้าสมองความถี่สูงขึ้นในช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ปรากฏว่า ก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต สมองส่วนการมองเห็นใช้พลังงานเพื่อแยกแยะและประมวลผลภาพด้านขวา (O1) ยังคงสูงกว่าหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

สำหรับค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต กับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยภาพรวมปรากฏว่า กลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 สูงกว่ากลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า กลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต มีสมาธิ มีความคิดตรึงตรอง และมีความผ่อนคลายขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่ากลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของโมเรดี และคณะ (Moradi et al., 2011) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ที่พบว่า หลังการฝึกอบรมช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha เพิ่มขึ้นนั้นหมายถึง ผู้ป่วยมีสมาธิมากขึ้น มีความคิดตรึงตรองดีขึ้น เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 พบว่า มีการกระตุ้นของคลื่นไฟฟ้า

สมอง ระหว่างกลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตแตกต่างกันเป็นบริเวณกว้าง ได้แก่ บริเวณสมองส่วนหน้าซีกซ้าย (F3) บริเวณสมองส่วนกลางทั้งระบบ (C3, Cz และ C4) บริเวณสมองส่วนขม่อมทั้ง 2 ซีก (P3 และ P4) และบริเวณสมองส่วนท้ายทอยซีกขวา(O2) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง กลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตสมองส่วนการมองเห็นใช้พลังงานเพื่อแยกแยะและประมวลผลภาพด้านซ้าย (O2) มากกว่ากลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต จากนั้นส่งสัญญาณประสาทไปสมองส่วนขม่อมเพื่อประมวลผลการรับรู้ ปรากฏว่า กลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต มีความกังวลเกี่ยวกับการประมวลผลการรับรู้ทั้งซีกขวา และซีกซ้าย (P3 และ P4) การวางแผนการเคลื่อนไหวซีกขวา (F3) และส่งผลให้มีความกังวลต่อการสั่งงานการเคลื่อนไหวการใช้กล้ามเนื้อเล็กทั้งระบบ (C3, Cz และ C4) สูงกว่ากลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต แต่ขัดแย้งกับผลงานวิจัยของอาร์เช่ และคณะ (Arce et al., 1995) และผลการวิจัยของคอร์ซี่-คาเบรรา และคณะ (Corsi-Cabrera et al., 1997) ที่พบว่า กลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง มีค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 ต่ำกว่ากลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ

ทั้งนี้เมื่อนักเรียนได้ทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์อย่างต่อเนื่อง การกระตุ้นความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 โดยภาพรวมปรากฏว่า กลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต กับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 ไม่แตกต่างกัน ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องส่งผลให้นักเรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีสมาธิ มีความคิดตรึงตรอง และมีความผ่อนคลายขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองไม่แตกต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับผลการวิจัยของโมเรดี และคณะ (Moradi et al., 2011) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ที่พบว่า หลังการฝึกอบรมช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 มีการกระตุ้นของคลื่นไฟฟ้าสมองที่แตกต่างกัน บริเวณสมองส่วนขม่อมซีกขวา (P4) แสดงว่า กลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ยังคงมีความกังวลเกี่ยวกับการประมวลผลการรับรู้ซีกซ้าย (P4) สูงกว่ากลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

3. ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ซึ่งเป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในขณะที่สมองตื่นตัวแสดงถึงการมีสมาธิ มีความคิดตรึงตรอง มีความคิดอย่างมีสติ และสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ถ้าช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ลดลง หมายถึง การขาดสมาธิ ขาดความคิดตรึงตรอง และขาดความสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งอภิปรายผลได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 โดยภาพรวมปรากฏว่า กลุ่มทดลอง หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตสูงกว่าก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต นักเรียนมีสมาธิ มีความคิดไตร่ตรอง และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ดีกว่าก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ปรากฏว่าทุกตำแหน่งขั้วไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของพัททยา และเพทส์เซ (Bhattacharya & Petsche, 2002) ได้ศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง ระหว่างการรับรู้ด้วยการมองรูปวาดกับการจินตนาการรูปวาด ที่พบว่า ขณะมองรูปวาดเกิดการกระตุ้นของระบบประสาทของคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta และ Gamma และสอดคล้องกับผลการวิจัยของโมเรดิ และคณะ (Moradi et al., 2011) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ที่พบว่า หลังการฝึกอบรมช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 เพิ่มขึ้น

สำหรับค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ระหว่างกลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยภาพรวมปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ไม่แตกต่างกัน ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นครั้งที่ 2 กลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต นักเรียนมีสมาธิในการคิด มีความคิดไตร่ตรอง และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ปรากฏว่า ทุกตำแหน่งขั้วไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับผลการวิจัยของพัททยา และเพทส์เซ (Bhattacharya & Petsche, 2002) ได้ศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง ระหว่างการรับรู้ด้วยการมองรูปวาดกับการจินตนาการรูปวาด ที่พบว่า ขณะมองรูปวาดเกิดการกระตุ้นของระบบประสาทของคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta และ Gamma รวมทั้งขัดแย้งกับผลการวิจัยของโมเรดิ และคณะ (Moradi et al., 2011) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ที่พบว่า หลังการฝึกอบรมช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 เพิ่มขึ้น

4. ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ซึ่งเป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในขณะที่สมองตื่นตัวแสดงถึงความตั้งใจ มีสมาธิในการคิด และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ แต่ถ้าช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีภาวะเครียด ขาดสมาธิ และมีความวิตกกังวลสูง ซึ่งอภิปรายผลได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 โดยภาพรวมปรากฏว่า กลุ่มทดลอง หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ต่ำกว่าก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต นักเรียนมีความตั้งใจ มีสมาธิในการคิด และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ดีกว่าก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของโมราดี และคณะ (Moradi et al., 2011) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ที่พบว่า หลังการฝึกอบรมช่วงคลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ผู้ป่วยมีความตั้งใจ มีสมาธิในการคิด และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ปรากฏว่า ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 มีการกระตุ้นของคลื่นไฟฟ้าสมองที่แตกต่างกันเป็นบริเวณกว้าง ได้แก่ บริเวณสมองส่วนหน้าตรงกลาง และสมองส่วนหน้าซีกขวา (Fz และ F4) บริเวณสมองส่วนกลางทั้งหมด (C3, Cz และ C4) บริเวณสมองส่วนขม่อมซีกซ้าย (P3) และบริเวณสมองส่วนท้ายทอยทั้ง 2 ซีก (O1 และ O2) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มทดลอง ก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตสมองส่วนการมองเห็นใช้พลังงานเพื่อแยกแยะและประมวลผลภาพด้านขวา และภาพด้านซ้าย (O1 และ O2) สูงกว่าหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต จากนั้นส่งสัญญาณประสาทไปสมองส่วนขม่อมเพื่อประมวลผลการรับรู้ ปรากฏว่า ก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต นักเรียนมีภาวะเครียด ขาดสมาธิ และมีความวิตกกังวลเกี่ยวกับการประมวลผลการรับรู้ซีกขวา (P3) การวางแผนการเคลื่อนไหวซีกซ้าย (F4) และการสั่งงานการเคลื่อนไหวการใช้กล้ามเนื้อเล็กทั้งระบบ (C3, Cz และ C4) สูงกว่าหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

สำหรับค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ระหว่างกลุ่มที่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยภาพรวมปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ไม่แตกต่างกัน ผลการวิจัย

ชี้ให้เห็นว่า การทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง เป็นครั้งที่ 2 กลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต นักเรียนมีความมุ่งมั่นตั้งใจ มีสมาธิในการคิด และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไม่แตกต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับผลการวิจัยของ โมเรดี และคณะ (Moradi et al., 2011) ได้ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลด้วย Neurofeedback ที่พบว่า หลังการฝึกอบรมช่วงคลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ลดลง ผู้ป่วยมีความตั้งใจ มีสมาธิในการคิด และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ เมื่อพิจารณาความแตกต่างค่าเฉลี่ย พลังงานสัมพันธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่าง กลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ปรากฏว่า ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 2 มีการกระตุ้นของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างกันบริเวณ สมองส่วนหน้าซีกซ้ายและซีกขวา (F3 และ F4) และบริเวณสมองส่วนขม่อมซีกขวา (P4) ผลการวิจัย ชี้ให้เห็นว่า ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง กลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตมีภาวะเครียด ขาดสมาธิ และมีความวิตกกังวล เกี่ยวกับการประมวลผลการรับรู้ซีกซ้าย (P4) และการวางแผนการเคลื่อนไหวทั้งซีกขวา และซีกซ้าย (F3 และ F4) สูงกว่ากลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

โดยสรุปของผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นความชัดเจนว่า ขณะทำแบบทดสอบความสามารถ ด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha มีการกระตุ้น บริเวณสมองส่วนกลางขม่อม (Pz) สูงที่สุด แสดงว่า หลังจากสมองส่วนการมองเห็นได้ใช้พลังงาน เพื่อแยกแยะและประมวลผลภาพแล้ว ได้ส่งสัญญาณประสาทไปสมองส่วนควบคุมการประมวลผล การรับรู้ทั้งซีกซ้ายและซีกขวา เพื่อให้มีสมาธิ มีความคิดตรึงตรอง การสร้างจินตนาการ และเชื่อมโยง ภาพเชิงมิติขณะทำกิจกรรมด้านมิติสัมพันธ์ จากนั้นเมื่อกระบวนการคิด การจินตนาการ และการเชื่อมโยงเชิงมิติขณะทำกิจกรรมด้านมิติสัมพันธ์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้า สมอง Beta มีการกระตุ้นบริเวณสมองส่วนกลางขม่อม (Pz) ลดต่ำลง แสดงว่า นักเรียนมีความตั้งใจ มีสมาธิในการคิด และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง นอกจากนี้ยังได้ข้อสรุปเกี่ยวกับความแตกต่างค่าเฉลี่ย พลังงานสัมพันธ์ (RP) ที่เกิดขึ้นกับกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ขณะทำแบบทดสอบความสามารถ ด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง จำนวน 2 ครั้ง ชี้ให้เห็นว่า ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้า สมอง Alpha 1 และ Alpha 2 ของกลุ่มทดลอง หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต นักเรียน

มีสมาธิ มีความคิดตรึงตรอง และมีความผ่อนคลายขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีกว่าก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต สำหรับช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 ของกลุ่มทดลอง หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต นักเรียนมีความตั้งใจ มีสมาธิในการคิด และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีกว่าก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต และยังพบว่าก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต นักเรียนมีภาวะเครียด ขาดสมาธิ และมีความวิตกกังวล เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพันธ์ (RP) ระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ที่ได้เก็บข้อมูลขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นครั้งที่ 2 ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1 กลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต มีสมาธิ มีความคิดตรึงตรอง และมีความผ่อนคลายขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีกว่ากลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต แต่ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 2 กลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตมีสมาธิ มีความคิดตรึงตรอง และมีความผ่อนคลายขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไม่แตกต่างกัน สำหรับช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Beta 1 และ Beta 2 กลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต มีความตั้งใจ มีสมาธิในการคิด มีความคิดตรึงตรอง และสามารถจัดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. บุคลากรทางการศึกษาและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตไปใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาความสามารถทางด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมสำหรับการศึกษาในระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาที่ต้องใช้ทักษะทางด้านมิติสัมพันธ์ได้
2. ผู้ที่สนใจสามารถนำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ไปใช้เป็นเครื่องมือในการแบ่งระดับความสามารถหรือค้นหาผู้ที่มีความบกพร่องความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้

3. นักจิตวิทยาหรือผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษาประสาทวิทยาทางปัญญาด้วยการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองในรูปแบบพลังงานสัมพันธ์ไปใช้สำหรับทำความเข้าใจหรืออธิบายเชื่อมโยงความสามารถทางด้านมิติสัมพันธ์กับการทำงานของระบบประสาทได้

ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1. ควรศึกษาประสิทธิผลของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ในระยะยาว (Long-Term Learning) เพื่อตรวจสอบความคงทนของความสามารถทางด้านมิติสัมพันธ์ที่เป็นผลจากโปรแกรมนี้

2. ควรศึกษาประสิทธิผลของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตในกลุ่มนักเรียนที่มีความบกพร่องของสมาธิ (Inattention) เพื่อพัฒนาความสามารถทางด้านมิติสัมพันธ์ ความใส่ใจ และลดความบกพร่องของสมาธิต่อไป

3. ควรศึกษาประสิทธิผลของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตต่อความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จำแนกตาม 5 องค์ประกอบหลัก คือ Spatial Perception, Spatial Visualization, Spatial Rotation, Spatial Relation และ Spatial Orientation เพื่อตรวจสอบความเหมือนและความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้าสมองในรูปแบบพลังงานสัมพันธ์ต่อไป