

การเพิ่มความจำขณะทำงานด้านภาพของนักเรียนระดับประถมศึกษาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชัน: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ Enhancing Visual Working Memory in Primary School Students Using a Computer-Based Action Game: An Event-Related Potential Study

รัชกร โชติประดิษฐ์^{1*}, เสรี ชัดเข้ม², ปรัชญา แก้วแก่น²

Ratchakorn Chotpradit^{1*}, Seree Chadcham², Pratchaya Kaewkaen²

¹ Faculty of Law, Ubon Ratchathani University, Thailand

² Centre of Excellence in Cognitive Science (CECoS)

College of Research Methodology and Cognitive Science, Burapha University, Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชันด้วยการประยุกต์ทฤษฎีการเรียนรู้สื่อผสมทางปัญญา สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา 2) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองและค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชัน 3) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองในกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชัน 4) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองและค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชันกับกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game และ 5) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชันกับกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับประถมศึกษา อายุระหว่าง 10-11 ปี จำนวน 49 คน สุ่มเข้ากลุ่มทดลอง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชัน จำนวน 25 คน กับกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game จำนวน 24 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชัน แบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ และเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงบรรยาย และสถิติทดสอบที (t-test)

ผลการวิจัยปรากฏว่า กลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชัน หลังการทดลองมีค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองมากกว่าก่อนการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ จาก Picture span และ N-back task หลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 กลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชันและกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game มีค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลอง บริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal lobe) ที่ตำแหน่ง FPz และ Fz บริเวณเปลือกสมองส่วนบน (Parietal lobe) ที่ตำแหน่ง Pz, POz, FCz, Cz และ CPz และบริเวณเปลือกสมองส่วนท้าย (Occipital lobe) ที่ตำแหน่ง Oz อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และหลังการทดลองกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชันมีค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 น้อยกว่ากลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game บริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า

*Corresponding author: E-mail: ratchakorn551@gmail.com

(Frontal lobe) ที่ตำแหน่ง FPz และ Fz บริเวณเปลือกสมองส่วนบน (Parietal lobe) ที่ตำแหน่ง Pz และ POz และบริเวณเปลือกสมองส่วนท้าย (Occipital lobe) ที่ตำแหน่ง Oz อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สรุปได้ว่าการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นโดยการประยุกต์ทฤษฎีการเรียนรู้สื่อผสมทางปัญญาฝึกความจำขณะทำงานด้านภาพอย่างต่อเนื่อง สามารถเพิ่มความจำขณะทำงานด้านภาพของนักเรียนระดับประถมศึกษาได้

คำสำคัญ: ความจำขณะทำงานด้านภาพ, ความจำขณะทำงาน, โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น, คลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์

ABSTRACT

The research aimed 1) to develop a computer-based action game by applied the Cognitive Theory of Multimedia Learning with primary school students, 2) to compare the mean score of accuracy and reaction time while testing visual working memory between before, and after experiment in action game group, 3) to compare the mean of P300 amplitude and the mean of P300 latency while testing visual working memory between before and after experiment in action game group, 4) to compare the mean score of accuracy and reaction time while testing visual working memory after experiment between two groups. And 5) to compare the mean of P300 amplitude and the mean of P300 latency while testing visual working memory after experiment between two groups. The participants were 49 primary school students whose age were between 10-11 years old. They were randomly assigned in to two experimental groups: First group trained with computer action game with 25 participants, while second group trained with non-action game with 24 participants. The research instruments were computer-based action game and non-action game, test of visual working memory, and the neuroscan systems. Data were analyzed using descriptive statistic and *t*-test.

The results demonstrated that after the experiment, the action game group possessed a higher mean score of accuracy than before experiment ($p < .01$). The mean reaction time after the experiment was lower than before the experiment ($p < .01$). In addition, after the experiment, the action game and the non-action game groups had lower means for P300 amplitude, and also for the mean of P300 latency than before the experiment at the frontal lobe (FPz and Fz), at the parietal lobe (Pz, POz, FCz, Cz and CPz), and at the occipital lobe (Oz) ($p < .01$). Furthermore, after the experiment the mean of P300 amplitude and the mean of P300 latency of the action game group were lower than the non-action game group in the frontal lobe (FPz and Fz), the parietal lobe (Pz and POz) and the occipital lobe (Oz) ($p < .05$). In conclusion, the possibility of enhancing the efficient visual working memory of primary school students was achieved by continuously practice with the computer-based action game developed by the application of the Cognitive Theory of Multimedia Learning.

Keywords: visual working memory, working memory, action game, event-related potential

ความนำ

ความจำขณะทำงาน (Working memory) มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากเป็นความสามารถในการเก็บรักษาและจัดการข้อมูลในสมองที่เกิดขึ้นพร้อมกันได้ (Baddeley, 2000) นักวิจัยได้ศึกษาพบว่า ความจุของความจำขณะทำงานเพิ่มขึ้นตั้งแต่ระดับอนุบาลถึงระดับประถมศึกษา นักเรียนระดับอนุบาล มีความสามารถในการจำข้อมูลขณะทำงานได้ 3-4 รายการ ในขณะที่นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 มีความสามารถในการจำได้ 5 ถึง 6 รายการ ความจำขณะทำงานในวัยเด็กสามารถเพิ่มขึ้นได้ (Klingberg et al., 2005) จากการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการฝึกหน้าที่การบริหารจัดการของสมอง (Executive function) ปรากฏว่า การฝึกความจำขณะทำงานจะได้รับประโยชน์มากที่สุด ในเด็กที่มีอายุระหว่าง 4-12 ปี (Diamond & Lee, 2011) เด็กที่มีช่วงอายุ 10 ปี สมองของเด็กมีการพัฒนาการสมบูรณ์มากเกือบร้อยละ 80 ส่วนที่ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่คือ บริเวณสมองส่วนหน้าสุด (Prefrontal cortex) ซึ่งเป็นสมองส่วนที่เกี่ยวข้องกับการคิด การตัดสินใจ การให้เหตุผล และส่วนคอร์ปัสแคลโลซัม (Corpus callosum) ซึ่งเป็นเส้นใยประสาทของร่างกาย ต้องมีการพัฒนาต่อไปเพื่อจะทำหน้าที่เชื่อมโยงสมอง 2 ซีก คือสมองซีกซ้ายและสมองซีกขวาให้ทำงานเป็นโครงสร้างของสมองที่มีประสิทธิภาพสิ่งที่ปรากฏชัดเจนในสมอง คือ ปริมาณของเนื้อเยื่อขาว (White matter) ซึ่งเป็นแขนงประสาทหุ้มด้วยไมอีลิน (Myeline) ที่เพิ่มขึ้นในช่วงวัยนี้ ขณะที่บริเวณของเนื้อเยื่อสีเทา (Gray matter) ซึ่งแสดงถึงจำนวนเซลล์และจุดไซแนปส์ที่อยู่บนผิวสมอง จะลดลงหลังจากอายุ 12 ปี ผลจากการสร้างไมอีลินก็คือ การสื่อสารติดต่อกันระหว่างสมองเกิดการไซแนปส์ (Synapse) ส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

เด็กที่มีความจุของความจำขณะทำงานน้อย จะต้องใช้ความพยายามในการทำกิจกรรมมาก เพราะเด็กกลุ่มนี้ไม่สามารถที่จะเก็บข้อมูลไว้ในสมองได้อย่างเพียงพอเพื่อจะทำงานที่ครูมอบหมายให้สำเร็จได้ ดังนั้นจึงควรกำหนดคำสั่งให้มีความเหมาะสมกับความสามารถของเด็กแต่ละคน เด็กที่มีความจำขณะทำงานน้อยจะล้าเหลว

ในการทำกิจกรรมหลายอย่างที่มีความแตกต่างกันในหลายลักษณะ เด็กต้องใช้ความพยายามเป็นอย่างมาก เพื่อให้บรรลุผลสำเร็จและเกิดความก้าวหน้าในการเรียน ดังนั้นจึงควรพัฒนาความจำขณะทำงานด้านภาพให้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการทำงานของชาวปัญญาเชิงสั่นไหล (Fluid intelligence) ความสามารถในการจำระยะสั้น ความสามารถในการแก้ปัญหา ความสามารถในการให้เหตุผล ความสามารถทางด้านคณิตศาสตร์ ความสามารถในการอ่านเพื่อความเข้าใจ ความสามารถด้านการควบคุมความใส่ใจ (Control attention) และความสามารถทางปัญญา (Intellectual ability)

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภทเกมแอคชัน (Action game) เพื่อเพิ่มความจำขณะทำงานด้านภาพ ในนักเรียนระดับประถมศึกษา ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชัน ตามวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) และทฤษฎีหลักการพัฒนาเกม (Evidential Game Theory Framework) เกี่ยวกับขั้นตอนการพัฒนาเกม (FIDGE model) (Akilli & Cagiltay, 2006) ประยุกต์กับทฤษฎีการเรียนรู้สื่อผสมทางปัญญา (Cognitive Theory of Multitmedia Learning) ของ Mayer (2009) ในหลักการ 5 ข้อ จาก 12 ข้อ คือ 1) หลักการมัลติมีเดีย (Multimedia principle) คือ นักเรียนเรียนรู้ได้ดีจากคำ (Word) และภาพ (Pictures) หรือ Multimedia method ได้ดีกว่าคำ (Word) เพียงอย่างเดียว (Single medium method) 2) หลักการความสอดคล้อง (Coherence principle) นักเรียนเรียนรู้ได้ดี เมื่อเนื้อหาการเรียนมีความสั้น กระชับ ได้ใจความ (Signaled method) มากกว่าการเรียนรู้เนื้อหาที่ละเอียด เนื้อหาที่มีความยาว จับประเด็นได้ยาก (Elaborated method) 3) หลักการจัดหมวดหมู่ (Modality principle) นักเรียนเรียนรู้ได้ดีจากกราฟิกและคำอธิบายภาพกราฟิก (Narration method) มากกว่าการเรียนรู้จากภาพกราฟิกหรือข้อความ Printed text (Text method) 4) หลักการซ้ำซ้อน (Redundancy principle) นักเรียนเรียนรู้ได้ดีจากภาพเคลื่อนไหว (Animation) และมีคำอธิบาย มากกว่าภาพเคลื่อนไหว คำบรรยาย และข้อความบนจอภาพ

(On-screen text) เพียงอย่างเดียว และ 5) หลักการต่อเนื่องเชิงระยะ (Spatial contiguity principle) นักเรียนเรียนรู้ได้ดีกว่าเมื่อเรียนรู้จากภาพกราฟิกและข้อความ (Printed text) ที่อยู่ใกล้กัน (Integrated method) มากกว่าการเรียนรู้จากภาพกราฟิกและข้อความ (Printed text) ที่อยู่ห่างกันในหน้าถัดไป (Separated method)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้สร้างนวัตกรรมเกมแอคชั่นขึ้นมาใหม่ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา และนำเกมแอคชั่นดังกล่าวไปฝึกเพื่อเพิ่มความจำขณะทำงานด้านภาพ ทดสอบผลของเกมจากการวัดทางพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองและค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชั่นกับกลุ่มใช้ Non-action game และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชั่น กับกลุ่มใช้ Non-action game เพื่อนำผลการศึกษาด้านพฤติกรรมและด้านคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ไปใช้ในการพัฒนาความจำขณะทำงานด้านภาพของนักเรียนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

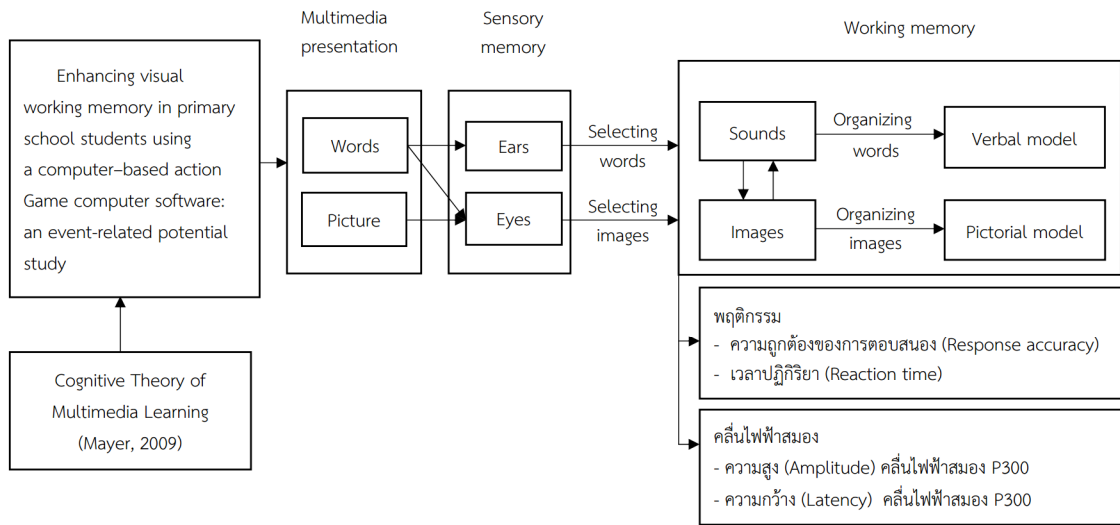
1. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นด้วยการประยุกต์ทฤษฎีการเรียนรู้สื่อผสมทางปัญญา สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา
2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองและค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองในกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น
3. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองในกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น
4. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองและค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองระหว่างกลุ่ม

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นกับกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game

5. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นกับกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game

กรอบแนวคิดการวิจัย

ทฤษฎีการเรียนรู้สื่อผสมทางปัญญา (Cognitive Theory of Multimedia Learning) อธิบายว่า ระบบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการเรียนรู้ของมนุษย์มีอยู่ 3 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบรับประสาทความรู้สึก (Sensory memory) 2) ระบบความจำขณะทำงาน (Working memory) และ 3) ระบบความจำในระยะยาว (Long-term memory) เมื่อนักเรียนรับข้อมูลเข้าไปในรูปของเสียงหรือภาพ ข้อมูลนั้น ๆ จะถูกจำไว้ในช่วงสั้น ๆ ที่ประสาทรับรู้รู้สึก จากนั้นภาพและเสียงบางส่วนจะถูกบันทึกไว้ในความจำขณะทำงาน แล้วจะมีการจัดระบบภาพและเสียงแยกย่อยให้เป็นระบบ ทำให้สมองเกิดการประมวลผลในรูปของภาพและเสียง โดยประมวลความรู้ร่วมกับความรู้เดิมในความจำระยะยาวหรือประมวลผลรวมกับความรู้อื่น เกิดการเชื่อมโยงผ่านทั้งทางจักษุประสาทในรูปของตัวหนังสือภาพและทางโสตประสาทในรูปของเสียง ช่วยให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีกว่าการนำเสนอเพียงวิธีเดียว อย่างไรก็ตาม การใช้ข้อความประกอบภาพยังต้องระวังในเรื่องการใช้งานของสมองที่มากเกินไป หากข้อมูลนำเข้าสมองมากเกินไป (Overload) แต่ก็มีวิธีการแก้ไขคือ ควรเพิ่มช่องทางเสียงเพื่อแบ่งเบาภาระของสมองในด้านการประมวลผลจากการมองเห็น (Visual processing) (Mayer, 2009) นอกจากนี้ยังประยุกต์หลักการพัฒนาสื่อผสมมัลติมีเดีย ได้แก่ 1) หลักการลดการประมวลผลภายนอก (Principles of reducing extraneous processing) 2) หลักการจัดการการประมวลผลที่จำเป็น (Principles for managing essential processing) และ 3) หลักการสนับสนุนการประมวลผล (Principles for fostering generative processing) ดังแสดงตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยเรื่อง การเพิ่มความจำขณะทำงานด้านภาพของนักเรียนระดับประถมศึกษา โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น

สมมติฐานการวิจัย

1. กลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองมีค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองมากกว่าก่อนการทดลองและค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาหลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลอง
2. กลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น หลังการทดลอง มีค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพน้อยกว่าก่อนการทดลอง
3. ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนอง หลังการทดลองของกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เกมแอคชั่น มากกว่ากลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game และค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาหลังการทดลอง ของกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น น้อยกว่ากลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game
4. กลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นหลังการทดลอง มีค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ น้อยกว่ากลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนวัดราษฎร์ศรัทธา อำเภอมะนัง จังหวัดชลบุรี จำนวน 49 คน คัดกรองนักเรียนตามเกณฑ์การคัดเข้า ด้วยแบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล แบบประเมินการมองเห็น แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ มีสุขภาพแข็งแรง โดยตรวจสอบข้อมูลจากทะเบียนประวัติสุขภาพของนักเรียนที่ได้รับคัดเลือกมาร่วมกับครูประจำชั้น นักเรียนไม่เคยเข้าร่วมกิจกรรมเกี่ยวข้องกับการฝึกความจำขณะทำงานด้านภาพ ได้สุมนักเรียนเข้ากลุ่มทดลองกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น จำนวน 25 คน และกลุ่มทดลองที่ 2 คือ กลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game (Tetris game) จำนวน 24 คน (กลุ่มใช้ Non-action game เดิม จำนวน 25 คน ได้รับอุบัติเหตุที่บ้านก่อนการทดลอง 1 คน คงเหลือ 24 คน)

แบบแผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ใช้แบบแผนการทดลองแบบ Randomized pretest and posttest

comparison group design (McMillan & Schumacher, 2014)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. เครื่องมือที่ใช้ในการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย

1.1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วย ข้อมูลเกี่ยวกับอายุ เพศ ระดับการศึกษา และประวัติการเจ็บป่วย

1.2 แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ ซึ่งปรับปรุงมาจาก Edinburgh handedness inventory

1.3 การวัดระดับสายตาระยะใกล้ (Near vision) ของ Rosenbaum (1984)

1.4 เครื่องมือคัดกรองตาบอดสีอิชิฮาร่า ของ Hardy, Rand, and Rittler (1945)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

2.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น เป็น เกมคอมพิวเตอร์สองมิติ ลักษณะเกมเป็นการเคลื่อนที่ อย่างอิสระ ประกอบด้วยสิ่งเร้าความสนใจ ตัวกระตุ้น พัฒนาการด้านความจำขณะทำงานด้านภาพที่หลากหลาย ในแต่ละด้านของการเล่นเกม

2.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game (Tetris game) version original classic game

3. เครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปรตาม

3.1 WISC-V (Wechsler Intelligence Scale for Children - Fifth edition) แบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ Picture span สำหรับเด็กอายุ 5-16 ปี

3.2 N-back task เป็น Task ทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ ที่เป็นมาตรฐานในการทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพที่ได้รับการยอมรับ โดยแบ่งกิจกรรมเป็น 1 Back task และ 2 Back task (1 Back target มีลักษณะดังนี้ ตำแหน่งของสี่เหลี่ยมจัตุรัสสีฟ้าในตาราง 9 ช่อง ในแต่ละ Trial ที่ปรากฏติดกันย้อนกลับไปหนึ่งตารางเป็นภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัสสีฟ้าตำแหน่งเดียวกัน ให้กลุ่มตัวอย่างกดปุ่มตอบรับ “เหมือน” ซึ่งอยู่ด้านขวาของแป้นตอบสนอง ด้วยนิ้วหัวแม่มือขวา และเงื่อนไข 2 Back target มีลักษณะดังนี้ ตำแหน่งของสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สีฟ้าในตาราง 9 ช่อง ในแต่ละ Trial ที่ปรากฏติดกันย้อนกลับไปสองตารางเป็นภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัสสีฟ้าตำแหน่งเดียวกัน ให้กลุ่มตัวอย่างกดปุ่มตอบรับ “เหมือน” ซึ่งอยู่ด้านขวาของแป้นตอบสนอง ด้วยนิ้วหัวแม่มือขวา)

การดำเนินการทดลอง

การศึกษานี้แบ่งการทดลองเป็น 3 ระยะ ดังนี้

1. ระยะก่อนการทดลอง เป็นการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยติดต่อประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับผู้ปกครอง กลุ่มตัวอย่าง สุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการจัดหน่วยตัวอย่างเข้ากลุ่มแบบสุ่ม (Random assignment) โดยการจับสลากและจัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลองที่ 1 คือ กลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นกับกลุ่มทดลองที่ 2 คือ กลุ่มใช้ Non-action game หมายความว่ากลุ่มตัวอย่างเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งพัฒนาโปรโตคอล N-Back (1-Back target, 1 Back Non-target, 2-Back target และ 2 Back non-target) ในการทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพของเด็กอายุระหว่าง 10-11 ปี สร้างแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพขณะวัดคลื่นไฟฟ้าสมองโดยใช้โปรแกรม STIM² ที่เชื่อมต่อกับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองโปรแกรม Curry Neuroimaging Suite 7.0

2. ระยะทดลอง ดำเนินกิจกรรมการทดลองกับกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น และกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game (Tetris game) ตามตารางกำหนดเวลานัดหมายไว้กับกลุ่มตัวอย่าง ผู้ร่วมการทดลองได้รับการสาธิตและทำความเข้าใจเกี่ยวกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นและ Non-action game (Tetris game) เพื่อพัฒนาความจำขณะทำงานด้านภาพ และทำกิจกรรมวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพจากเครื่อง STIM² Tracker ที่เชื่อมต่อกับเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าของ STIM² กับโปรแกรม Curry 7.0 โดยส่งเครื่องหมาย (Marker) ไปปรากฏที่ Neuroscan ขณะบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองตามขั้นตอนในห้องทดลอง

3. ระยะหลังการทดลอง หลังจากกลุ่มตัวอย่างได้เข้าร่วมกิจกรรมวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและบันทึกคลื่นไฟฟ้า

สมอง เสร็จตามกำหนดเวลา ทำความสะอาดหนังศีรษะ ด้วยสาลิซิบแอลกอฮอล์ 75% เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองให้ผู้รับการทดลองทำความสะอาดศีรษะด้วยการสระผมในสถานที่จัดเตรียมไว้ให้และเดินทางกลับ จากนั้นทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. กลุ่มทดลองที่ 1 ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น และกลุ่มทดลองที่ 2 ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game ฝึกตามโปรแกรม
2. ผู้ร่วมการทดลองได้รับการทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ ก่อนและหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม จากแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ
3. นำผลจากการทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ มาวิเคราะห์ข้อมูลด้านพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการหาค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2. วิเคราะห์ความจำขณะทำงานด้านภาพ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองในกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น ได้แก่ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนอง และค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยา ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสถิติทดสอบ t -test
3. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น ก่อนและหลังการทดลอง ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบ t -test
4. วิเคราะห์ความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น กับกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game ได้แก่ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองและค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยา ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติทดสอบ t -test และขนาดอิทธิพล (Cohen's d)
5. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้าง

ของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นกับกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติทดสอบ t -test และขนาดอิทธิพล (Cohen's d)

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น เพื่อเพิ่มความจำขณะทำงานด้านภาพ พัฒนาจากทฤษฎีการเรียนรู้สื่อผสมทางปัญญา เป็นโปรแกรมที่มีลักษณะเป็นเกมแอนิเมชันที่มีตัวละครหลักในการเล่น มีตัวละครในการบรรยายเสียงเพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องพื้นฐานเรขาคณิต และมีตัวละครอุปสรรค ประกอบด้วยสัตว์ 9 ชนิด โดยมีฉากในการเล่นตอนกลางวัน ตอนกลางคืน และตอนใกล้ฟ้าสางอรุณรุ่ง ฉากมีลักษณะเป็นธรรมชาติที่แตกต่างกันออกไป มีสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ประกอบด้วย 6 ด้าน ได้แก่ ด้านที่ 1 ฉากลักษณะเป็นวิวสวนผลไม้ท่ามกลางภูเขาเขียว มีเมฆ ต้นไม้ ทิวทัศน์สวยงาม และมีสีสดใสในตอนกลางวัน ด้านที่ 2 ฉากลักษณะเป็นทะเลน้ำสีฟ้าใส ภูเขาที่อุดมไปด้วยต้นไม้ สีสดใส บรรยากาศตอนกลางวัน ด้านที่ 3 ฉากลักษณะเป็นป่าไม้ดงดิบตอนกลางคืน สีมืด สลัว ๆ ในป่าไม้เต็มไปด้วยสัตว์ประหลาดบรรยากาศตึงเครียดน่ากลัว ด้านที่ 4 ฉากลักษณะเป็นป่าไม้ดงดิบในทุ่งกว้าง สีสดใส เป็นธรรมชาติ ด้านที่ 5 ฉากลักษณะเป็นบรรยากาศที่เต็มไปด้วยหมอกและควันบริเวณวัด บรรยากาศตึงเครียดน่ากลัว ตอนใกล้ ๆ ฟ้ากำลังจะเริ่มสว่าง ประมาณเวลา 4.00 นาฬิกา และด้านที่ 6 ฉากลักษณะเป็นวิวทะเลทราย เต็มไปด้วยต้นกระบองเพชร บรรยากาศตอนกลางวัน อากาศร้อนมาก แสงแดดจ้าแผดเผา

ผลการประเมินโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น โดยผู้ทรงคุณวุฒิ วิเคราะห์ดัชนีความตรงเชิงเนื้อหาของข้อสอบ (Content Validity Index: CVI) ได้เท่ากับ 1.00 ผู้ทรงคุณวุฒิให้ความเห็นว่า โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นมีความเหมาะสมสำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา และนำไปทดลองใช้กับกลุ่มนักเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่ม

ตัวอย่าง จำนวน 15 คน ปรากฏว่า นักเรียนระดับประถมศึกษา มีความพึงพอใจในระดับมากถึงมากที่สุด ให้ความสนใจในการเข้าร่วมกิจกรรมเป็นอย่างดี นักเรียนมีความเข้าใจใน

การเล่นเกมน้อย่างดี สามารถปฏิบัติกิจกรรมการเล่น เกมตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างหน้า จอเกมคอมพิวเตอร์เกมแอดคั่น



ภาพที่ 2 ตัวอย่างหน้าจอเกมคอมพิวเตอร์เกมแอดคั่น

2. ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองและค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองในกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอดคั่น

2.1 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนอง ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอดคั่น ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ จาก N-back task ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพของกลุ่มใช้เกมแอคชั่น ก่อนกับหลังการทดลอง จาก N-Back task

เงื่อนไข	ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนอง ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ					
	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
1) 1 Back target						
ก่อนการทดลอง	25	14.80	4.10	24	8.27**	< .01
หลังการทดลอง	25	22.68	3.91			
2) 1 Back non-target						
ก่อนการทดลอง	25	40.08	14.28	24	7.18**	< .01
หลังการทดลอง	25	58.12	10.18			
3) 2 Back target						
ก่อนการทดลอง	25	14.80	4.10	24	8.27**	< .01
หลังการทดลอง	25	22.68	3.91			
4) 2 Back non-target						
ก่อนการทดลอง	25	26.24	14.21	24	6.29**	< .01
หลังการทดลอง	25	40.60	14.32			

จากตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพของกลุ่มใช้เกมแอคชั่น หลังการทดลองมากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1

2.2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาของความจำขณะทำงานด้านภาพในกลุ่มใช้เกมแอคชั่นระหว่างก่อนกับหลังการทดลองขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ จาก N-back task ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพของกลุ่มใช้เกมแอคชั่น ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง จาก N-back task

เงื่อนไข	เวลาปฏิกิริยา (มิลลิวินาที)					
	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
1) 1 Back target						
ก่อนการทดลอง	25	1063.43	296.31	24	5.92**	< .01
หลังการทดลอง	25	731.71	146.57			
2) 1 Back non-target						
ก่อนการทดลอง	25	1154.53	277.09	24	5.77**	< .01
หลังการทดลอง	25	836.04	175.37			
3) 2 Back target						
ก่อนการทดลอง	25	1263.93	383.82	24	5.45**	< .01
หลังการทดลอง	25	767.11	219.26			
4) 2 Back non-target						
ก่อนการทดลอง	25	1192.38	312.26	24	5.11**	< .01
หลังการทดลอง	25	749.21	270.78			

จากตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ กลุ่มใช้เกมแอคชั่นค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1

3. ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบ

ความจำขณะทำงานด้านภาพ ของกลุ่มใช้เกมแอคชั่นก่อนการทดลองกับหลังการทดลอง

3.1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพของกลุ่มใช้เกมแอคชั่น ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง จาก 1 Back task target ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพของกลุ่มใช้เกมแอคชั่น ก่อนกับหลังการทดลอง จาก 1 Back task target

ตำแหน่ง อิเล็กโทรด	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง		Mean Difference	df	t	p
	(n = 25)		(n = 25)					
	Mean	SD	Mean	SD				
Frontal middle line								
FPz	7.24	3.76	2.94	2.29	4.31	24	6.84**	< .01
Fz	6.03	2.96	2.62	1.77	3.41	24	7.79**	< .01
Central middle line								
FCz	6.46	3.78	2.68	1.89	3.78	24	6.31**	< .01
Cz	6.11	3.75	2.70	1.72	3.42	24	5.63**	< .01
CPz	6.14	4.39	2.50	1.45	3.65	24	4.87**	< .01
Parietal middle line								
Pz	5.88	4.20	2.30	2.07	3.58	24	4.94**	< .01
POz	6.41	5.18	2.39	2.39	4.03	24	4.58**	< .01
Occipital middle line								
Oz	5.04	3.52	1.88	1.50	3.16	24	4.99**	< .01

จากตารางที่ 3 กลุ่มใช้เกมแอคชั่น มีค่าเฉลี่ยความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลองจาก 1 Back task target อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2

3.2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพของกลุ่มใช้ Action game ก่อนการทดลองกับหลังการทดลองจาก 1 Back task target ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพของกลุ่มใช้เกมแอคชัน ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง จาก 1 Back task target

ตำแหน่ง อิเล็กโทรด	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง		Mean Difference	df	t	p
	(n = 25)		(n = 25)					
	Mean	SD	Mean	SD				
Frontal middle line								
FPz	336.20	48.26	272.92	38.29	63.28	24	7.59**	< .01
Fz	341.20	49.37	272.68	39.20	68.52	24	9.23**	< .01
Central middle line								
FCz	333.80	41.83	279.32	31.78	54.48	24	6.78**	< .01
Cz	344.32	43.05	287.08	31.92	57.24	24	7.79**	< .01
CPz	348.84	42.51	286.64	28.28	62.20	24	7.78**	< .01
Parietal middle line								
Pz	356.08	44.51	280.48	39.34	75.60	24	8.95**	< .01
POz	354.64	35.55	286.44	41.74	68.20	24	7.75**	< .01
Occipital middle line								
Oz	351.44	38.74	297.28	41.45	54.10	24	9.71**	< .01

จากตารางที่ 4 กลุ่มใช้เกมแอคชันมีค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลอง จาก 1 Back task target อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน การวิจัยข้อที่ 2

4. ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองและค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชัน กับกลุ่มใช้ Non-action game

4.1 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชันกับกลุ่มใช้ Non-action game ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพจากแบบทดสอบ WISC-V Part picture span ดังตารางที่ 5

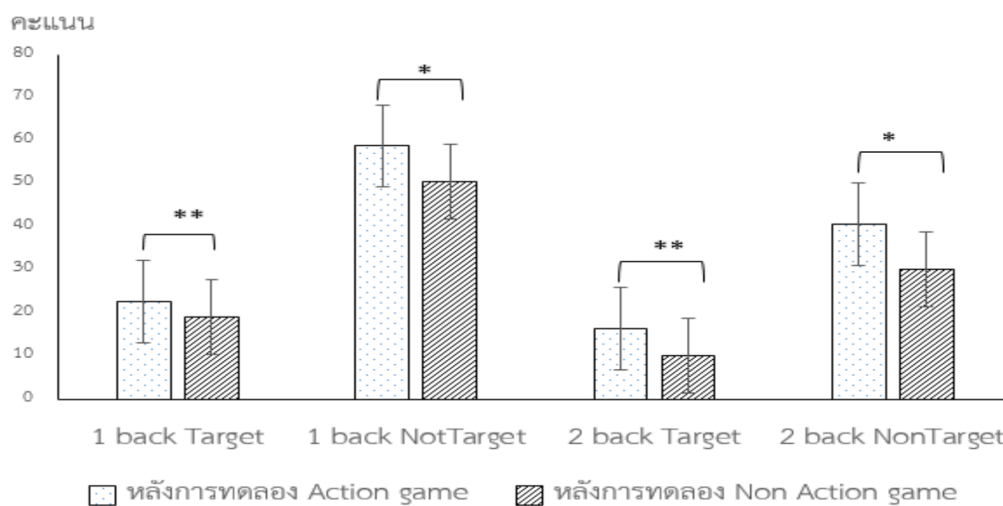
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนอง หลังการทดลอง กลุ่มใช้เกมแอคชั่น กับกลุ่มใช้ Non-action game ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ จากแบบทดสอบ WISC- V Part picture span

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนอง							
	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean Difference</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Cohen's d</i>
เกมแอคชั่น	25	32.16	3.58	7.87	47	7.21**	< .01	2.10
Non-action Game	24	24.29	4.06					

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองของกลุ่มใช้เกมแอคชั่น หลังการทดลอง มากกว่ากลุ่มใช้ Non-action game อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับมาก (*Cohen's d* = 2.10)

4.2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนองหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชั่น กับกลุ่มใช้ Non-action game จาก N-back task ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยคะแนน

ความถูกต้องของการตอบสนอง จาก 1 Back target หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชั่น กับกลุ่มใช้ Non-action game แตกต่างกัน ($t = 3.12, df = 47, p < .01$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนอง จาก 2 Back target แตกต่างกัน ($t = 4.61, df = 47, p < .01$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 3 ดังภาพที่ 3



** $p < .01$, * $p < .05$

ภาพที่ 3 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของการตอบสนอง หลังการทดลองระหว่างกลุ่มใช้ เกมแอคชั่น กับกลุ่มใช้ Non-action game จาก N-back task

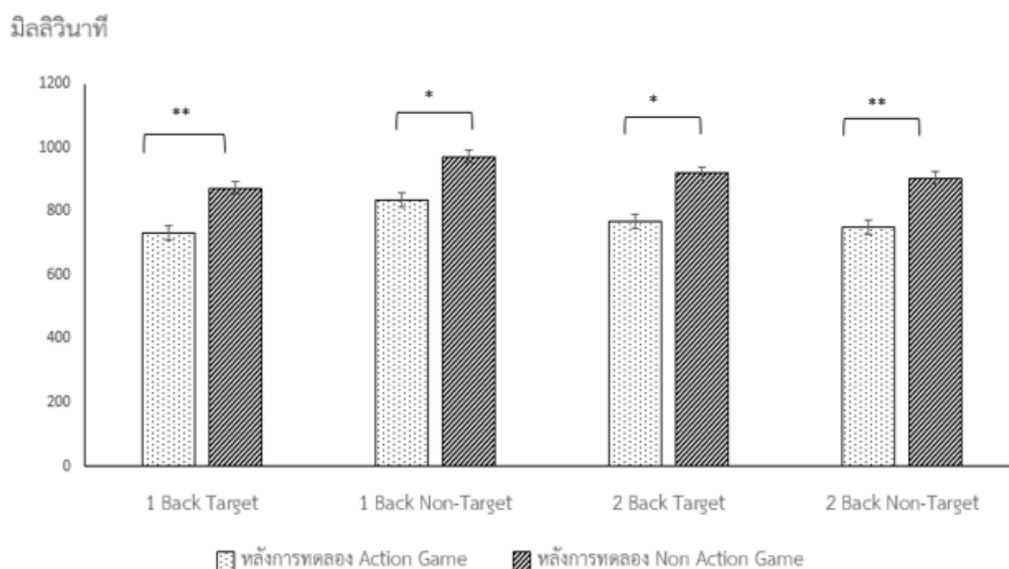
4.3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติของความสามารถด้านภาพ หลังการทดลองระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชั่น กับกลุ่มใช้ Non-action

game ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ จาก N-back task ปรากฏว่า หลังการทดลองค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติของความสามารถด้านภาพ กลุ่มใช้

เกมแอคชันกับกลุ่มใช้ Non-action game จาก 1 Back target แตกต่างกัน ($t = 3.10, df = 47, p < .01$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีขนาดอิทธิพลในระดับมาก ($Cohen's d = .90$) ค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาของความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลอง ของกลุ่มใช้เกมแอคชันกับกลุ่มใช้ Non-action game จาก 2 Back target แตกต่างกัน ($t = 2.68, df = 47, p = .05$)

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีขนาดอิทธิพลในระดับปานกลาง ($Cohen's d = .78$)

สรุป ค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาของความจำขณะทำงานด้านภาพของกลุ่มใช้เกมแอคชันหลังการทดลองน้อยกว่ากลุ่มใช้ Non-action game ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพจาก N-back task อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 3 ดังภาพที่ 4



** $p < .01, p < .05$

ภาพที่ 4 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาของความจำขณะทำงานด้านภาพ หลังการทดลองระหว่าง กลุ่มใช้เกมแอคชันกับกลุ่มใช้ Non-action game จาก N-back task

5. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงและค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลองระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชัน กับกลุ่มใช้ Non-action game

5.1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชัน กับกลุ่มใช้ Non-action game จาก 2 Back target ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 กลุ่มใช้เกมแอคชันหลังการทดลอง มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่ากลุ่มใช้ Non-action game ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ จาก 2 Back task target อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ที่ตำแหน่งอิเล็กโทรดบริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal middle line)

ตำแหน่ง FPz ($t = 3.42, df = 47, p < .05$) ขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับมาก ($Cohen's d = .99$) บริเวณเปลือกสมองส่วนกลาง (Central middle line) ที่ตำแหน่ง FCz ($t = 2.67, df = 47, p < .05$) ขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับปานกลาง ($Cohen's d = .78$) บริเวณเปลือกสมองด้านข้าง (Parietal middle line) ที่ตำแหน่ง Pz ($t = 2.90, df = 47, p < .05$) ขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับมาก ($Cohen's d = .85$) สรุปผลการศึกษากลุ่มใช้เกมแอคชันมีค่าเฉลี่ยความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลองน้อยกว่ากลุ่มใช้ Non-action game เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 4

5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มใช้เกมแอคชั่น กับกลุ่มใช้ Non-action game จาก 1 Back target ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยความกว้าง ของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ กลุ่มใช้เกมแอคชั่นหลังการทดลอง มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่ากลุ่มใช้ Non-action game จาก 1 Back target อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ที่ตำแหน่งอิเล็กโทรดบริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal middle line) ตำแหน่ง FPz ($t = 2.34, df = 47, p < .05$) มีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับปานกลาง ($Cohen's d = 0.68$) และตำแหน่ง Fz ($t = 2.55, df = 47, p < .05$) มีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับปานกลาง ($Cohen's d = 0.73$) บริเวณเปลือกสมองด้านข้าง (Parietal middle line) ตำแหน่ง Pz ($t = 2.40, df = 47, p < .05$) มีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับปานกลาง ($Cohen's d = 0.70$) และตำแหน่ง POz ($t = 2.50, df = 47, p < .05$) มีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับปานกลาง ($Cohen's d = 0.73$)

สรุปผลการศึกษากลุ่มใช้เกมแอคชั่น มีค่าเฉลี่ยความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลองน้อยกว่ากลุ่มใช้ Non-action game จาก 1 Back target อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 4

การอภิปรายผล

1. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นตามทฤษฎีการเรียนรู้สื่อผสมทางปัญญาของ Mayer (2009) เมื่อมีการฝึกสมองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นที่พัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้สมองได้รับการกระตุ้นเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการตอบสนองทางระบบประสาทระหว่างสมองส่วนอินเตอร์มิสเฟีย (Interhemisphere) ในเซลล์ประสาทบริเวณสมองส่วนคอปัสคัลโลซัม (Corpus callosum) จะเพิ่มการทำงานของโครงสร้างประสาทเพิ่มการหลั่งสารสื่อประสาทที่สำคัญ ได้แก่ อะซิติลโคลีน (Acetylcholine) และโดปามีน (Dopamine) ส่งผลต่อการเพิ่มกระบวนการเรียนรู้และความจำ การทำงานของสมองเมื่อเล่นเกมประเภทเกมแอคชั่น เมื่อตามองเห็นภาพ

จะส่งสัญญาณการรับภาพไปยังเรตินา (Retina) แล้วส่งไปยังเส้นประสาทสมองเส้นที่ 2 (Optic nerves) ซึ่งเป็นเส้นประสาทที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการมองเห็น โดยรับข้อมูลภาพที่ได้จากเรตินา แล้วส่งไปยังสมองส่วนทาลามัส (Thalamus) ก่อนที่จะไปสิ้นสุดยังผิวสมองส่วนหลัง (Visual cortex) โดยมีต้นกำเนิดอยู่ที่บริเวณ Lateral geniculate nucleus สมองส่วนทาลามัส (Thalamus) อยู่ทางด้านบนเหนือก้านสมองขึ้นไป และถูกปกคลุมด้วย Cerebral cortex อีกชั้นหนึ่ง ทำงานเกี่ยวข้องกับการมองเห็นหลายระบบ เป็นสถานีชุมสายของสัญญาณผ่านต่าง ๆ ที่เป็นข้อมูลเกี่ยวกับ Sensory inputs ทั้งหมด ยกเว้นการดมกลิ่น ทาลามัสเป็นตำแหน่งในการรับข้อมูลเพื่อส่งไปยังสมองส่วนต่าง ๆ โดยข้อมูลที่รับเข้ามาจะถูกส่งไปยังผิวสมองข้อมูลสื่อสัมผัส ได้แก่ รูป รส เสียง จากอวัยวะผิวหนัง หู โดยข้อมูลจะถ่ายโอนมาชุมทางนี้ ก่อนส่งไปกระตุ้นสมองส่วนหลังเหนือท้ายทอย (Occipital lobe) ซึ่งทำงานเกี่ยวกับการรับรู้ภาพ ตำแหน่งสมองที่ Brain area 17, 18 และ 19 ส่งไปยังสมองส่วนหลังของกระหม่อม (Parietal lobe) ส่งต่อไปยัง Inferior parietal lobe ตำแหน่งสมองที่ Brain area 39 และ 40 และส่งไปยัง Hippocampus ซึ่งเป็นสมองส่วนสำคัญที่ทำให้จำได้ เพื่อไปกระตุ้นให้ความจำขณะทำงานให้ทำงานเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อการเกิดความจำขณะทำงานด้านภาพเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ บุราณี ระเบียบ และสุชาดา กรเพชรปาณี (2559) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาโปรแกรมฝึกการคิดเลขโดยประยุกต์โมเดลทริปเฟลโคดสำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ได้สรุปไว้ว่าการฝึกสมองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถช่วยในการเพิ่มความจำขณะทำงานและความสามารถด้านเลขคณิตสูงกว่าก่อนการฝึก และสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ฝึก รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นันทา สันะเปสนันท์, สุชาดา กรเพชรปาณี และปรัชญา แก้วแก่น (2560) ได้วิจัยเรื่อง การฝึกการรับรู้ทางการมองเห็นโดยประยุกต์ทฤษฎีเส้นทางการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุสำหรับเพิ่มความสามารถทางปัญญาของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ได้สรุปผลการวิจัยว่า การฝึกการรับรู้ทางการ

มองเห็นด้วยโปรแกรมนิวโรแทรกเกอร์ สามารถเพิ่มความสามารถทางปัญญา ทั้งความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และความสามารถในการจำความหมาย โดยมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านจำความหมายของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมระยะหลังการฝึก และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Poliny Ung and Suchada Kornpetpanee (2560) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้นได้สรุปได้ว่า แบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ เป็นเทคนิคที่ส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ของสมองที่มีการยอมรับอย่างแพร่หลาย และมีงานวิจัยจำนวนมากที่สนับสนุนว่า แบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานของสมอง ด้านความสนใจ ความจำขณะคิด กระบวนการรับรู้ด้านการมองเห็น หลังการทดลองกลุ่มทดลองมีคะแนนมิติสัมพันธ์สูงกว่า และใช้เวลาตอบน้อยกว่าเมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง และเทียบกับกลุ่มควบคุม

2. ด้านพฤติกรรม ความจำขณะทำงานด้านภาพของกลุ่มใช้เกมแอคชัน หลังการทดลอง มากกว่าก่อนการทดลอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Boot et al. (2008) ที่กล่าวไว้ว่า การใช้ N-back task ทดสอบกิจกรรม 1-Back และ 2-Back version ผลการวิจัยปรากฏว่า ความถูกต้องของคะแนนหลังการทดลองมากกว่าก่อนการทดลอง หลังการฝึกสมองด้วย Action video game สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blacker, Curby, Klobusicky, and Chein (2014) ที่พบว่า กลุ่มตัวอย่างวัยรุ่นชายที่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี อายุระหว่าง 20-22 ปี ฝึกเล่นเกมแอคชันแล้ว สามารถเพิ่มความจำขณะทำงานด้านภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Colzato et al. (2013) ที่พบว่า ผู้ที่เล่นเกมแอคชันจะมีทักษะในเรื่องความจำขณะทำงานด้านภาพมากกว่าผู้คนที่ไม่ได้เล่นเกมแอคชัน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Buelow et al. (2015) ที่สรุปว่า การเล่นเกมแอคชันส่งผลต่อการพัฒนาความจำ

3. ด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง กลุ่มใช้เกมแอคชันหลังการทดลอง มีความสูงและความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300

ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพ น้อยกว่าก่อนการทดลอง เพราะสมองใช้เวลา ในการประมวลผลเร็วขึ้น ใช้เวลาในการตอบถูกได้เร็วขึ้น โดยใช้พลังงานสมองในการคิดประมวลผลน้อยลง สมองทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น อธิบายเพิ่มเติมได้จากหลักประสิทธิภาพการทำงานของสมอง (Neural efficiency) แสดงให้เห็นถึงกิจกรรมทางสมองที่ใช้พลังงานในการทำกิจกรรม ลดลงส่งผลต่อสมองทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nussbaumer, Grabner, and Stern (2015) ได้วิจัยเรื่องผลกระทบของ Task demand ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของสมองใน Working memory tasks ปรากฏว่า เชาวน์ปัญญาเชิงเส้นไหลในบริบทของความจำขณะทำงานเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในเรื่องประสิทธิภาพการทำงานของสมอง สมองใช้เวลาในการประมวลผลลดลง ในบริเวณตำแหน่งสมองส่วนหน้า (Frontal brain regions) จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 54 คน ทั้งเพศหญิงและเพศชาย ซึ่งเป็นนักเรียน อายุระหว่าง 20-25 ปี อายุเฉลี่ย 23 ปี โดยใช้เวลาในการฝึก (Train) 5 วันต่อสัปดาห์เป็นเวลา 3 วัน วันละ 1 ชั่วโมง 30 นาที

กลุ่มใช้เกมแอคชันหลังการทดลอง มีความสูงและความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานด้านภาพน้อยกว่ากลุ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Non-action game สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kuhn, Gleich, Lorenz, Lindenberge, and Gallinat (2014) ได้วิจัยเรื่อง การเล่นเกม Super mario ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสมองในเรื่องความยืดหยุ่นของสมอง (Structural plasticity) ส่วนสีเทา (Gray matter) โครงสร้างของสมองเกิดการเปลี่ยนแปลง (Neural changes) ซึ่งเป็นผลมาจากการฝึกสมองด้วยวิดีโอเกม ที่มีลักษณะเป็นเกม 3 มิติ (Tree-dimensional platform games) เช่น Super mario 64 เป็นระยะเวลา 2 เดือน ใช้เวลา 30 นาทีต่อวัน ซึ่งผลการวิจัยปรากฏว่า การฝึกสมองด้วยวิดีโอเกมช่วยส่งเสริมในการพัฒนาหน้าที่การรู้คิดทางปัญญา (Cognitive function) รวมทั้งความจำขณะทำงาน (Working memory) ความใส่ใจ (Attention) การวางแผนในอนาคต (Future) นอกจากนี้ยังเกิดการ

เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสมองในส่วนของความยืดหยุ่น สมองทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น บริเวณพื้นที่ของสมองส่วนหน้า (Prefrontal cortex) และ Right dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) ซึ่งเป็นสมองส่วนที่มีความสำคัญหลักในการเชื่อมโยง (Integration) ข้อมูลที่ถูกนำเข้าทางประสาทสัมผัสต่าง ๆ (Sensory information) มายังสมอง ซึ่งจะส่งผลต่อการแสดงออกทางพฤติกรรมของมนุษย์ ที่ได้รับผลกระทบจากรับรู้ต่อ กฎ กติกา จากการทำงานของสมองส่วนที่ทำงานเกี่ยวกับการส่งเสริมแรงจูงใจ การให้รางวัล จากการเล่นเกมผ่านด้านต่าง ๆ แล้วได้รับรางวัลจากการเล่นเกมในรูปแบบต่าง ๆ

ครูและบุคลากรทางการศึกษาสามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่น ที่พัฒนาไปติดตั้งที่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ของโรงเรียน

หรือติดตั้งบนโทรศัพท์ ระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์หรือประยุกต์ติดตั้งกับแท็บเล็ตของโรงเรียน ส่วนผู้ปกครองสามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นไปฝึกบุตรหลานที่บ้านเพื่อพัฒนาความจำขณะทำงานด้านภาพ ผู้ที่สนใจในด้านนี้ควรพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เกมแอคชั่นเพื่อศึกษาผลของตัวแปรทางจิตวิทยาด้าน วิทยาการปัญญาอื่น ๆ โดยขยายพรมแดนการศึกษาเชิงลึกในด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง คลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ได้แก่ ตัวแปรการรับรู้ (Perceptual abilities) การใส่ใจ (Attention) การเลือกความใส่ใจด้านภาพ (Visual selective attention) ความจำระยะสั้นด้านภาพ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2560

เอกสารอ้างอิง

- นันทา ลินะเปสนันท์, สุชาดา กรเพชรปาณี และปรัชญา แก้วแก่น. (2560). การฝึกการรับรู้ทางการมองเห็นโดยประยุกต์ทฤษฎีเส้นทางการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ สำหรับเพิ่มความสามารถทางปัญญาของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา*, 15(2), 37-52.
- บุราณิ ระเบียบ และสุชาดา กรเพชรปาณี. (2559). การพัฒนาโปรแกรมฝึกการคิดเลขโดยประยุกต์โมเดลทริปเฟลโคตสำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา*, 14(2), 102-113.
- Akilli, G. K., & Cagiltay, K. (2006). An instructional design/development model for the creation of game-like learning environments: The FIDGE model. *Affective and Emotional Aspects of Human-Computer Interaction: Game- Based and Innovative Learning*, 1(1), 93-112.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory?.. *Trends in Cognitive Science*, 4(11), 417-423.
- Blacker, K. J., Curby, K. M., Klobusicky, E., & Chein, J. M. (2014). Effects of action video game training on visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(5), 1992-2004.
- Boot, W. R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M., & Gratton, G. (2008). The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. *Acta Psychologica*, 129(3), 387-398.
- Buelow, M. T., Okdie, B. M., & Cooper, A. B. (2015). The influence of video games on executive functions in college students. *Computers in Human Behavior*, 45(1), 228-234.
- Colzato, L. S., van den Wildenberg, W. P. M., Zmigrod, S., & Hommel, B. (2013). Action video gaming and cognitive control: Playing first person shooter games is associated with improvement in working memory but not action inhibition. *Psychological Research Psychologist Forschung*, 77(2), 234-239.
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964.
- Hardy, L. H., Rand, G., & Rittler, M. C. (1945). Tests for the detection and analysis of color-blindness. I. The Ishihara test: an evaluation. *JOSA*, 35(4), 268-275.

- Kuhn, S., Gleich, T., Lorenz, R. C., Lindenberger, U., & Gallinat, J. (2014). Playing super Mario induces structural brain plasticity: Gray matter changes resulting from training with a commercial video game. *Molecular Psychiatry*, 19(2), 265-271.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., & Dahlstrom, K.. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44(2), 177-186.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge university press.
- McMillan, J. H., & Schumacher, S. (2014). *Research in education: Evidence-based inquiry*. Boston: Pearson Higher Education.
- Nussbaumer, D., Grabner, R. H., & Stern, E. (2015). Neural efficiency in working memory tasks: The impact of task demand. *Intelligence*, 50(1), 196-208.
- Poliny Ung, & Suchada Kornpetpanee. (2560). การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา*, 15(2), 12-24.
- Rosenbaum, J. G. (1984). The biggest reward for my invention isn't money. *Medical Economics*, 61, 152-163.