

6. การศึกษาสมรรถนะสมองด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงานโดยใช้การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

6.1 คลื่นไฟฟ้าสมอง

เนื่องจากระบบประสาทจะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาในขณะที่ทำงาน ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างบริเวณที่ทำงานกับบริเวณที่ไม่ทำงาน ในขณะที่มีชีวิตอยู่สมองต้องทำงานอยู่เสมอโดยที่เราอาจรู้ตัวหรือไม่รู้ตัวก็ได้ คนที่มีชีวิตจึงมีกระแสไฟฟ้าจากสมองจำนวนน้อย ๆ ที่วัดได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องกระตุ้น คลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้นี้เรียกว่า electroencephalogram (EEG) นอกจากนี้เรายังสามารถกระตุ้นระบบประสาทรับรู้ความรู้สึก และวัดคลื่นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในทางเดินประสาทนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า evoked potential กระแสไฟฟ้าในเซลล์ประสาทเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ กล่าวคือ เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้น โซเดียมไอออนจะเข้าไปในเซลล์และโพแทสเซียมไอออนถูกขับออกมานอกเซลล์ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ ซึ่งสามารถวัดขนาดของความต่างศักย์นี้ได้ ต่อมาก็กลับคืนสู่ปกติดังเดิม การเปลี่ยนแปลงนี้ต้องอาศัยพลังงานจาก adenosine triphosphate (ATP) ช่วยในการทำงานของสารสื่อประสาท การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเกิดขึ้นทั้งที่ตัวเซลล์ประสาทและ dendrite ของเซลล์ประสาท ถ้าวัดที่ตัวเซลล์ประสาทจะให้ลักษณะเป็นยอดแหลม (spike) ซึ่งแสดงว่ามีความต่างศักย์เกิดขึ้นรวดเร็วและหายไปรวดเร็ว แต่ถ้าวัดที่ dendrite จะแสดงการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นช้ากว่า คลื่นไฟฟ้าที่วัดได้จากหนังศีรษะหรือ EEG เกิดจากผลรวมของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจาก dendrite ทั้งหมด และศักย์ทำงานที่มาจากเซลล์ประสาทรวมตัวกันอยู่มาก (neuronal aggregates) และมีการติดต่อของปลายประสาทจำนวนมาก (rich synaptic interconnection) (ราตรี สุตทรวง และ วีระชัย สิงหนิยม, 2550) การติดต่อเชื่อมโยงระหว่างเซลล์ประสาทภายในเปลือกสมอง (cortex) และภายใต้เซลล์ประสาทที่อยู่ใต้เปลือกสมอง อาทิ ธารามัส (thalamus) มีลักษณะเป็น reverberating circuit ของกระแสประสาทเกิดขึ้นตลอดเวลาและมี pace maker ในตัวเองด้วย (Kimesch et al., 1999) เราสามารถวัด EEG โดยใช้ขั้วไฟฟ้าหลาย ๆ ขั้ววางที่หนังศีรษะในตำแหน่งต่าง ๆ กันและวัดความต่างศักย์ของไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทีละ 2 ขั้ว ซึ่งมีวิธีการวัด 2 แบบคือ

- 1) Unipolar method เป็นการวัดความต่างศักย์โดยเทียบกับตำแหน่งที่ถือว่า มีศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 โดยใช้ indifferent electrode (potential เท่ากับศูนย์) วางอยู่ที่ใบหู ส่วน active electrodes วางอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของหนังศีรษะ
- 2) Bipolar method เป็นการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้า (active electrodes) 2 ขั้ว

ความถี่และความแรงของคลื่นไฟฟ้าของระบบประสาทที่วัดได้ ขึ้นอยู่กับผลรวมของเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ ถ้ามีการทำงานของเซลล์ประสาทจำนวนมาก พร้อมกันเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน (synchronization) ก็จะมี voltage สูง และความถี่ (frequency) ลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้ามี desynchronize ของเซลล์ประสาทคือทำงานไม่พร้อมกัน ก็จะพบ voltage ต่ำ และความถี่สูง นักวิชาการแยกประเภทของคลื่นไฟฟ้าสมองตามความถี่ต่อวินาทีเป็น 4 ประเภทคือ (Klimesch et al. 1996; Klimesch et al. 1999)

1) Beta rhythm มีความถี่ 14-30 รอบ/วินาที มี voltage ต่ำมากจนบางครั้งไม่สามารถวัดได้ มีความสัมพันธ์กับการทำงานของ motor cortex พบได้ชัดที่หนังศีรษะบริเวณ frontal midline และ parietal (Klimesch et al. 2005)

2) Alpha rhythm พบได้ชัดเจนที่หนังศีรษะบริเวณ occipital และ posterior head region มีขนาดค่อนข้างใหญ่ (10-150 มิลลิโวลต์) มีความถี่ 8-13 รอบ/วินาที อาจเรียก EEG synchronization พบได้ในผู้ถูกวัดที่ปล่อยตัวตามสบาย (relaxed) หลับตา ไม่ได้คิดอะไร และพบได้ชัดเจนในเด็กอายุ 6-8 ปี

3) Theta rhythm มีความถี่ 4-7 รอบ/วินาที พบได้ปกติในเด็กและในทุกกระยะระหว่างนอนหลับใหม่ พบได้ชัดที่หนังศีรษะบริเวณ temporal lobe และ parietal lobe ในเด็กในผู้ใหญ่พบว่ามีความสัมพันธ์กับสภาพทางอารมณ์ (emotional state) ซึ่งจะพบได้ในผู้ป่วยโรคจิต

4) Delta rhythm ความถี่น้อยกว่า 4 รอบ/วินาที ไม่พบในคนปกติที่ตื่นอยู่ แต่พบได้ในคนนอนหลับปกติและทารก

พบว่า Alpha rhythm และ Theta rhythm เกิดขึ้นในบุคคลที่กำลังอยู่ในสถานการณ์ประมวลผลข้อมูล อาทิ การคำนวณเลขในใจ จนถึงในสถานการณ์ที่เผชิญกับปัญหาทางที่ยุ่งยากหรือซับซ้อน (Antonenko et al., 2010) และช่วงคลื่นทั้งสองยังแสดงถึงภาวะทางด้านพุทธิปัญญาและความจำในบุคคล (Klimesch, 1999)

การบันทึกความจำเป็นกระบวนการที่บันทึกข้อมูลต่างๆ ให้อยู่ในรูปของรหัส (code) ซึ่งต้องอาศัยการทำงานของตัวรับรู้สัมผัสต่างๆ เช่น จากจอตาเพื่อรับภาพ จาก organ of corti ของ cochlear ในหูชั้นในเพื่อรับเสียง จาก olfactory receptor ของเยื่อในโพรงจมูกเพื่อรับกลิ่น จาก gustatory receptor ในปุ่มรับรส (taste bud) ของลิ้น เพื่อรับรส และ จาก touch receptor ในผิวหนังเพื่อรับสัมผัส โดยอาศัยการทำงานในรูปของสัญญาณประสาทศักย์ทำงาน

การบันทึกข้อมูลเป็นรหัสของสมองสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การบันทึกข้อมูลลงสู่สมองที่เน้นลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของสิ่งเร้า (structural encoding) การบันทึกข้อมูลลงสู่สมองที่เน้นเสียงของคำ (phonemic encoding) และเป็นการบันทึกข้อมูลลงสู่สมองที่เน้นที่เน้นความหมายของคำ (semantic encoding) นอกจากการบันทึกใน 3 ลักษณะที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังอาจบันทึกในแง่มุมอื่นๆได้อีก เช่น การเชื่อมโยง (association) กับข้อมูลอื่น เป็นต้น (จินตนาภรณ์ วัฒนธร, 2544) ซึ่งนอกจากลักษณะของข้อมูลที่มีผลต่อการบันทึกความจำแล้วยังพบว่า ความตั้งใจ หรือความใส่ใจหรือความสนใจ (attention) ยังส่งผลต่อการบันทึกความจำด้วย

นักประสาทวิทยาศาสตร์บางกลุ่มเชื่อว่าข้อมูลที่ต่างชนิดกันจะถูกบันทึกในรูปแบบของอัตราการเกิดสัญญาณประสาทหรือศักย์ทำงานที่แตกต่างกัน โดยที่การเกิดสัญญาณประสาทใน EEG ของ short-term หรือ episodic memory เกิดสัญญาณใน theta band ในขณะที่ long-term หรือ semantic memory เกิดสัญญาณใน alpha band (Klimesch, 1996) และมีการเชื่อมโยงของวงจรประสาทตลอดจนเส้นทางเดินประสาทแตกต่างกัน การกระตุ้นจากเสียง (audio stimuli) ที่มีคลื่นความถี่ที่ต่างกันหรือเห็นภาพ (visual stimuli) ที่มีลักษณะแตกต่างกันเช่น ภาพแนวเส้นหรือภาพที่มีการเคลื่อนไหว อัตราการเกิดสัญญาณประสาทที่เกี่ยวข้องกับเรื่องราวเหล่านั้นมีความแตกต่างกัน อาทิกการศึกษาของ Maljickovic and Maljickovic (2009) พบว่าโครงสร้างของสมองส่วน amygdala เป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญใน visual encoding โดยรับภาพที่เห็นและลงรหัสเป็นสิ่งที่มีความหมายในทางบวกหรือลบ นอกจากนั้นยังพบว่าข้อมูลที่จะถูกเก็บบันทึกไว้ในรูปความจำจะต้องเป็นข้อมูลที่มีความหมาย (meaningful) และจากการศึกษาของ Mathiak et al. (2000) พบว่าข้อมูลเสียงที่รับฟังจากหูทั้งสองข้างมีผลต่อสมองการรับรู้มากกว่าการฟังจากหูเพียงข้างเดียว

การใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) สามารถแสดงได้ว่า ขณะที่วัดนั้น บุคคลกำลังใช้งานสมองส่วนใดอยู่ ดังนั้นการใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ในการยืนยันความตรงตามเกณฑ์สัมพัทธ์ของแบบทดสอบจึงอยู่ในวิสัยที่เป็นไปได้ โดยหากผลการวัดขณะที่ทำเครื่องมือวัด 2 ฉบับแสดงว่า สมองทำงานที่บริเวณเดียวกัน น่าจะพอเชื่อได้ว่า เครื่องมือวัด 2 ฉบับนั้น วัดความสามารถด้านเดียวกัน การวิจัยนี้จึงจะดำเนินการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาโดยเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองเมื่อนักศึกษาทำแบบทดสอบ 2 ฉบับคือฉบับที่ใช้เป็นเกณฑ์ กับ ฉบับที่พัฒนาขึ้น

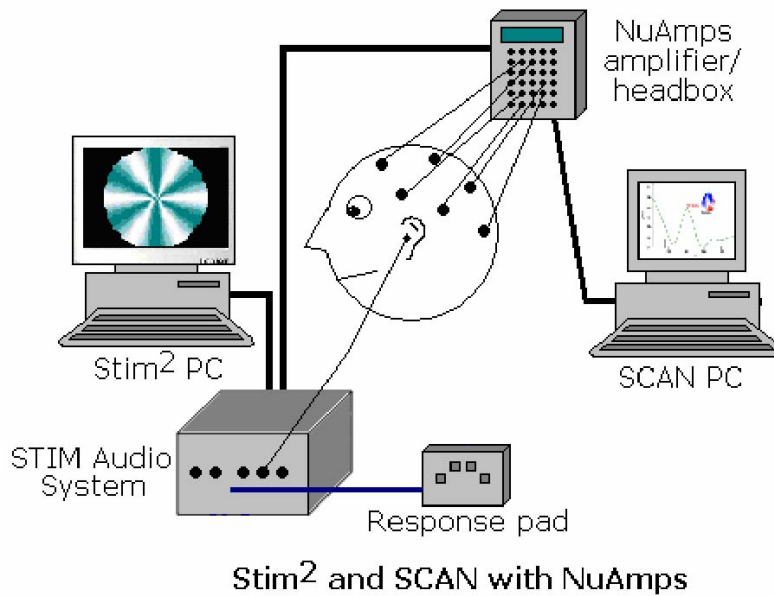
6.2 เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan

Neuroscan เป็นชุดเครื่องมือวิจัยทางระบบประสาทที่ผลิตโดยบริษัท Compumedic Neuroscan โดยทีมงานนักประสาทวิทยาศาสตร์ ที่มีการนำไปใช้ในงานวิจัยทางคลินิก และงานวิจัยทางสาขา cognitive field อย่างแพร่หลาย ชุดเครื่องมือวิจัยทางระบบประสาทนี้ประกอบด้วย hardware และ software package เพื่อสำหรับการวัด วิเคราะห์ข้อมูลทั้ง EEG และ ERP ข้อมูลดังกล่าวมีตั้งแต่ระดับพื้นฐานของระบบรับรู้สัมผัสของร่างกาย (sensory system) ระบบประสาทยนต์ (motor system) การรับรู้ (perceptual) ไปจนถึงระดับการวัดทางพุทธิปัญญารวมทั้งงานด้านความตั้งใจ (attention) และความจำขณะทำงาน (working memory) EEG และ ERPs ที่ได้จากการวัดนั้นยังสามารถนำไปประกอบเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลของ MRI (Compumedics, 2003) ชุดเครื่องมือวิจัยทางระบบประสาทดังกล่าวที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่างคือ

1) หน่วยสร้างหรือแสดงสัญญาณจากภายนอก (Stimulus presentation unit) ซึ่ง Neuroscan มีโปรแกรม Stim2 สำหรับสร้างภาระงานมาเพื่อเป็นสิ่งเร้า ภาระงานนั้นมีทั้งภาระงานทางด้าน ระบบประสาทยนต์ (motor) การรับรู้(perceptual) ความตั้งใจ(attention) ความจำ(memory) รวมทั้งภาระงานด้าน พุทธิปัญญา(cognitive) และยังมีส่วนภาระงานทั่วไป (gentask) ซึ่ง เป็นส่วนที่สามารถนำไปสร้างภาระงานที่สามารถจัดการและควบคุมตามต้องการได้

2) หน่วยขยายและแปลงสัญญาณ (Signal amplification and digitization) เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ขยายและแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้จากหนังศีรษะจากระบบ analog ไปเป็นระบบ digital ในขณะที่ทำการวัดโดยการทำหน้าที่ของอุปกรณ์ที่เรียกว่า NuAmps

3) หน่วยในการรับสัญญาณและการวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณ (Data acquisition and analysis) ซึ่งระบบ SCAN system มีโปรแกรม Acquire 4.5 ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ และมีโปรแกรม Edit 4.5 ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณที่ได้



ภาพ 2.32 ส่วนประกอบของเครื่อง Neuroscan (Compumedics Neuroscan, 2009)

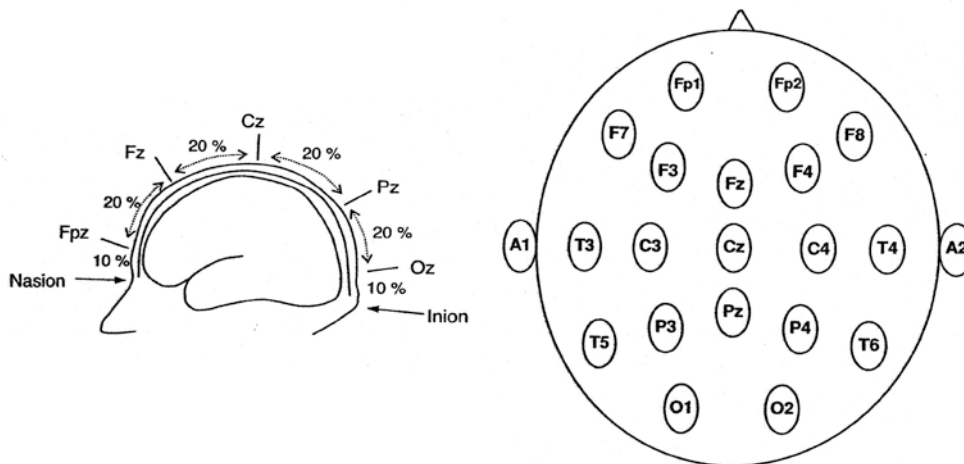
ขั้นตอนของการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและการบันทึกผลในห้องปฏิบัติการ

- 1) ให้นั่งบนเก้าอี้นุ่มซึ่งสามารถปรับระดับเอนได้ในท่าสบายและผ่อนคลาย
- 2) วัดศีรษะจากตำแหน่ง Nasion ซึ่งเป็นบริเวณที่ระหว่างหัวคิ้วทั้งสองข้างไปจนถึงบริเวณinion ซึ่งเป็นปุ่มกระดูกนูนบริเวณท้ายทอย เพื่อหาตำแหน่งสำหรับวางขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก (microelectrode) บนหนังศีรษะในตำแหน่งต่างๆ
- 3) ทำความสะอาดหนังศีรษะ บริเวณที่จะวางขั้วไฟฟ้าด้วยน้ำยาสำหรับทำความสะอาดผิวหนัง
- 4) วางหมวกวัดคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กจัดเรียงตามวิธีมาตรฐานสากลที่เรียกว่า ระบบ 10-20 (10–20 system) กระจายอยู่ตามตำแหน่งดังภาพ 2 (Boutros et al., 2011)
- 5) ทำการบันทึกภาพคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่ทำแบบทดสอบความตั้งใจ หรือแบบทดสอบความจำขณะทำงาน ในเครื่องคอมพิวเตอร์

หมวกวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

เป็นหมวกที่มีขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กจัดเรียงตามวิธีมาตรฐานสากลที่เรียกว่า ระบบ 10-20 (10–20 system) การวัดตำแหน่งของศีรษะวัดจาก ตำแหน่งจุดเริ่มของสันจมูก (Nasion) ซึ่งเป็นบริเวณระหว่างกระดูกจมูกกับกระดูกหน้าผากไปจนถึงบริเวณ occipital protuberance (inion) ซึ่งเป็นปุ่มกระดูกนูนบริเวณท้ายทอย ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กตามตำแหน่ง

กลีบของเปลือกสมอง (lobe of cerebral cortex) อาทิ Frontal pole (Fp), Central (C), Parietal (P), occipital (O), Temporal (T) และตัวเลขที่แสดงถึงสมองซีกซ้ายส่วนตัวเลขคู่แสดงถึงสมองซีกขวา แสดงดังภาพ 2.33 (Boutros et al., 2011)



ภาพ 2.33 ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กจัดเรียงตามวิธีมาตรฐานสากล ระบบ 10-20

6.3 โปรแกรมสร้างภาระงานสำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำภาระงาน

6.3.1 โปรแกรม STIM

STIM เป็นโปรแกรมสร้างภาระงานที่กำหนดใช้ในเครื่อง Neuroscan โปรแกรม STIM ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือเพื่อใช้ร่วมกับระบบประสาทจิตวิทยา สามารถวัดระบบความรู้สึกร่างกาย วัดภาระงานทางปัญญา และวัดงานทางด้านประสาทจิตวิทยา ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับเครื่องวัดคลื่นสมอง สามารถแสดงคลื่นสมองขณะที่ทำกิจกรรมต่างๆ ทั้งขณะปฏิบัติงานทางด้านพุทธิปัญญา รวมทั้งงานด้านความตั้งใจ โปรแกรมแบ่ง 8 ส่วนหลัก (Compumedics Neuroscan, 2003) คือ

- 1) ระบบประสาทยนต์ (motor) ประกอบด้วย Tap และ track task
- 2) การรับรู้(perceptual) ประกอบด้วย contrast, naming และ stroop task
- 3) ความตั้งใจ(attention) ประกอบด้วย cued, contingent CPT audio CPT และ visual CPT task
- 4) ความจำ(memory) ประกอบด้วย spatial memory, verbal learning และ serial probe recognition task
- 5) พุทธิปัญญา(cognitive) ประกอบด้วย card sorting และ categories task
- 6) ภาระงานทั่วไป(gentask) เป็นส่วนสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ได้มีความยืดหยุ่น สามารถควบคุมและจัดการได้

- 7) การปรับเสียง(sound editor) เพื่อการปรับปรุงและตัดแปลง SND และ WAVE file
- 8) การใช้สอย(utility)เพื่อการปรับปรุงและตัดแปลงไฟล์รูปภาพเพื่อการพิมพ์ในเอกสาร

6.3.2) โปรแกรม E-prime

เป้าหมายของการพัฒนาชุดโปรแกรม E -prime (Schneider, 2002) คือเพื่อจัดทำภาษาคอมพิวเตอร์ร่วมกันสำหรับงานวิจัยทางจิตวิทยาที่เป็นมาตรฐาน แม่นยำที่เหมาะสมกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ชุด โปรแกรม E -prime ถูกออกแบบมาเพื่อให้ นักวิจัยสามารถพัฒนาการทดลองที่สามารถทำงานอย่างแม่นยำบนคอมพิวเตอร์ทั่วโลกได้อย่างรวดเร็ว การใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ธรรมดาร่วมกันทำให้นักวิจัยในมหาวิทยาลัยต่างๆสามารถสื่อสารและแบ่งปันวิธีการทดลองและข้อมูลกันได้ ผู้พัฒนามีแนวคิดว่าจะระบบต้องยืดหยุ่นพอที่จะยอมให้งานวิจัยทางจิตวิทยาลักษณะที่ต่างกันเป็นจำนวนมากที่สุดทำงานบนคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ได้ โดยต้องให้ข้อมูลที่แม่นยำเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลที่ถูกต้อง และที่สำคัญที่สุด มีการตรวจสอบภายในเพื่อให้นักวิจัยสามารถรายงานค่าที่แม่นยำของการทดลอง ผู้พัฒนาโปรแกรมเสนอว่าคงเป็นประโยชน์ต่อชุมชนวิจัยที่จะมีทีมงานผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์ผลที่อุทิศตนและใส่ใจกับสภาพแวดล้อมทางคอมพิวเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเพื่อให้มีการทดลองที่แม่นยำบนเครื่องมือทางการค้าที่เป็นมาตรฐาน ชุดโปรแกรม E -prime จึงถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้เรียนรู้ได้อย่างรวดเร็วที่จะทำให้มีค่าความแม่นยำและยืดหยุ่นกับวิธีการทดลองแบบต่างๆ โปรแกรมถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมกับวิธีการที่นักวิจัยเลือกทั้งโครงสร้างและการจัดการการทดลอง ปัจจุบันมีงานวิจัยนับพันที่ดำเนินการโดยใช้ E -prime ทั้งงานวิจัยเกี่ยวกับพื้นฐานในชีวิตประจำวันไปจนถึงงานวิจัยทดลองที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์คุณภาพสูง

ชุดโปรแกรม E -prime ออกแบบมาให้นักวิจัยสามารถนำไปปรับใช้ในการออกแบบงานวิจัยได้หลายลักษณะ สามารถใช้สิ่งเร้าได้ทั้งตัวอักษร ภาพ และเสียง ทั้งโดยการกำหนดค่าและการสุ่ม ให้ผลแสดงการทำงานออกมาเป็นค่าเวลาการตอบสนอง(reaction time) ที่แม่นยำในหน่วยมิลลิวินาที

มีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์โดยการใช้โปรแกรมทุกครั้งจะต้องมี **hardware Key** ซึ่งเชื่อมต่อทาง USB port และมีหมายเลขสินค้า (serial number) กำกับในการติดตั้งโปรแกรม

สามารถเลือกลงโปรแกรม(installation) ได้หลายแบบ อาทิ ลงแบบ Full Installation หรือ Subject Station Installation

การลงโปรแกรมแบบ Full Installation ทำให้สามารถใช้โปรแกรมย่อย (Application) ที่อยู่ภายในได้แก่

E-Studio เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการออกแบบการสร้างภาระงาน (task) โดยภาระงานที่สร้างขึ้นอยู่ในรูปไฟล์ XXX.es

E-Run เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ไฟล์อยู่ในรูป XXX.ebs ไฟล์ข้อมูลที่เป็นผลจากผู้เล่นปฏิบัติภาระงานเสร็จอยู่ในรูป XXX.dat

E-Merge เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการรวมข้อมูลผลปฏิบัติการงาน คือสามารถรวมไฟล์ XXX.dat จากหลายผู้เล่นให้เป็นไฟล์เดียวที่อยู่ในรูปไฟล์ XXX.merge

E-Data Aid เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของการปฏิบัติการงาน และสามารถ Export ออกมาในรูปแบบไฟล์ Excel นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ส่วนการลงโปรแกรมแบบ Subject Station Installation เป็นการลงโปรแกรมแบบที่สามารถใช้โปรแกรมย่อย E-Run นำไปเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถลงได้พร้อมกันหลายๆเครื่อง แต่โปรแกรมแบบนี้สามารถอ่านได้แค่ไฟล์ XXX.ebs เท่านั้น เมื่อผู้เล่นปฏิบัติภาระงานเสร็จ ไฟล์ผลการเล่นก็จะอยู่ในรูป XXX.dat

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลที่ต้องการให้ปรากฏในผลการทดลอง ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ผู้วิจัยต้องการศึกษา การวิจัยครั้งนี้เลือกศึกษาตัวแปร ACC, CRES, RES, และ RT

ACC หรือ accuracy of the response เป็น ค่าคะแนนที่ได้ ซึ่งกำหนดเป็น 1 เมื่อตอบถูก และเป็น 0 เมื่อตอบผิดหรือไม่ตอบ

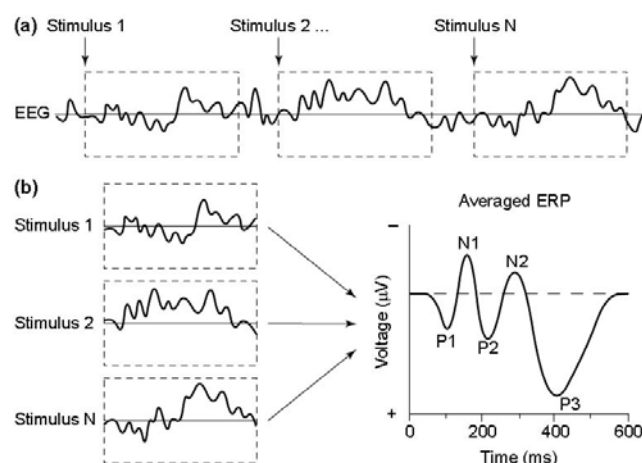
CRESP (correct response) เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

RESP (response) เป็นการตอบสนองของผู้เล่น

RT (Reaction time) เป็นจำนวนเวลาในการตอบสนองของผู้เล่น เป็นมิลลิวินาทีตั้งแต่เริ่มเห็นสิ่งเร้าจนถึงเวลาตอบ

6.4 การวิจัยที่วัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำภาระงานด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) เป็นเทคนิควิธีที่ถือว่าไม่มีผลอันตรายต่อผู้ถูกวัด (non-invasive technique) ค่าของคลื่นไฟฟ้าสมองส่วนที่นำมาศึกษากัน คือ ค่าคลื่นไฟฟ้าสมองที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการกระตุ้นของเหตุการณ์ ที่เรียกว่า Evoked potentials หรือ Event-Related Potential (ERPs) (Teplan, 2002) ซึ่งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของความต่างศักย์ไฟฟ้าของสมองที่บันทึกจากการเปลี่ยนแปลงไปอันเป็นผลเนื่องมาจากมีเหตุการณ์จากภายนอกหรือภายในมากระตุ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (Time-locked EEG activity) การศึกษา ERPs ทำให้สามารถทราบการเปลี่ยนแปลงการทำงานของสมองในขณะที่ทำงานต่างๆ เช่น ขณะทำงานด้านประสาทยนต์ (motor) ขณะทำงานด้านประสาทรับรู้สัมผัส รวมทั้งขณะที่ทำงานการรับรู้ ขณะที่ทำงานประมวลผลทางภาษา (language processing) ความจำ การใช้ความคิดต่างๆ การประมวลผลทางพุทธิปัญญขั้นสูง (high cognitive processing) รวมทั้งความตั้งใจ (attention) และความจำขณะทำงาน (working memory) (Friedman & Johnson, 2000; Luck, et al., 2000; S. Finnigan et al., 2010) กล่าวได้ว่า การศึกษา ERPs เป็นการศึกษาที่ให้คำตอบสำหรับคำถามที่สำคัญขององค์ความรู้ทางด้านพุทธิปัญญา (Luck, et al., 2000) หลักการสำคัญของการศึกษาวิจัยลักษณะนี้ คือ การนำเสนอ สิ่งเร้าที่ 1, สิ่งเร้าที่ 2, ไปจนถึง สิ่งเร้าที่ N ต่อผู้ถูกวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง และบันทึกค่าคลื่นไฟฟ้าสมองทั้งหมด (EEG) ไว้ เพื่อจะนำค่าคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงที่ทำงานแต่ละช่วง (ERPs) มาศึกษา แต่เนื่องจากการตอบสนองที่เฉพาะเจาะจงในการกระตุ้นแต่ละครั้งมีขนาดเล็กเกินไปที่จะมองหาในมวลคลื่นสมองจำนวนมากได้ ดังนั้นจึงต้องนำคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าแต่ละครั้งมาสกัดและหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ ERP ที่ชัดเจนขึ้น ดังภาพ 2.34



ภาพ 2.34 (a) คลื่นไฟฟ้าสมอง เมื่อ สิ่งเร้าที่ 1, สิ่งเร้าที่ 2, ไปจนถึง สิ่งเร้าที่ N ถูกนำเสนอ

(b) การนำ EEG ที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าแต่ละครั้งมาหาสกัดและหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ ERP ที่ชัดเจน (Luck, et al., 2000)

ERPs ของคนสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1) กลุ่มคลื่นช่วงต้น (early waves) ซึ่งเป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่มียอดคลื่นสูงสุด (peaking) ก่อนเวลา 100 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้น เรียกว่า ‘sensory’ หรือ ‘exogenous’ คลื่นกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของสิ่งเร้า (depend largely on the physical parameters of the stimulus) และ

2) กลุ่มคลื่นช่วงหลัง (late waves) เป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่มี ยอดคลื่นสูงสุดถัดจาก เวลา 100 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นไปแล้ว เรียกว่า ‘cognitive’ หรือ ‘endogenous’ ERPs เป็นคลื่นไฟฟ้าที่แสดงถึงการประมวลผลข้อมูล (examine information processing) ซึ่งมีหลายลักษณะ

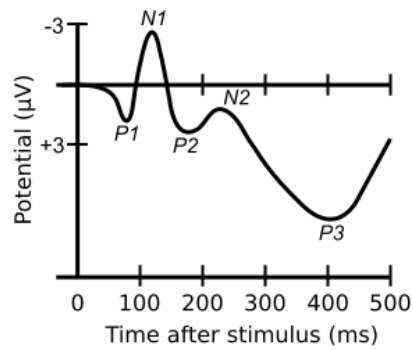
การเรียกชื่อรูปแบบของคลื่น (waveforms) ERPs สามารถเรียกตามช่วงเวลา(latency) ที่เกิดยอดคลื่นสูงสุด หรือมีแอมพลิจูด(amplitude)สูงสุดหลังได้รับการกระตุ้น เช่น คลื่นทางบวก(positive) ที่มีค่า amplitude สูงสุด ที่เกิดเมื่อช่วงเวลาหลังการได้รับการกระตุ้น (latency) ประมาณ 100 มิลลิวินาที เรียกว่า P100 และถ้าเกิดที่ latency ประมาณ 200, 300 มิลลิวินาที เรียกว่า P200,P300 เป็นต้น ([Shravani Sur](#) and [Sinha](#), 2009)

งานวิจัยครั้งนี้สนใจประเด็นการประมวลผลข้อมูลของสมอง จึงศึกษากลุ่มคลื่นช่วงหลังซึ่งแสดงถึงการประมวลผลข้อมูล อันได้แก่ N100, P200 และ P300 ซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่ใช้เป็นองค์ประกอบ ERPs (ERP components) ในการศึกษาเรื่องของความตั้งใจและความจำขณะทำงาน (Luck, et al., 2000; Zanto et al., 2010)

ลักษณะของคลื่น ERP

1. ยอดคลื่น (peak)

คลื่น ERP 1 ช่วงคลื่น หรือ 1 ERP waveform จะมีปลายยอดของคลื่น (peak) ซึ่งอาจมีทิศทางขึ้นหรือลง แสดงถึงผลรวมของค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ผ่านไปนับตั้งแต่ปรากฏสิ่งเร้า มักใช้อักษรตัวย่อ P เมื่อผลรวมความต่างศักย์มีค่าเป็นบวก และ ตัวย่อ N เมื่อผลรวมความต่างศักย์มีค่าเป็นลบ ทำให้ ERPs เกิดเป็นองค์ประกอบจากยอดคลื่นเหล่านั้นเป็นค่าต่างๆ เช่น P1, N1, P2, N2, P3 เป็นต้น (Luck et al., 2000) ยอดคลื่นเหล่านี้ทำให้เกิด latent components ซึ่งเป็นระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นนำเสนอสิ่งเร้าไปจนเกิดยอดคลื่นต่างๆ ดังภาพ 2.35



ภาพ 2.35 ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นนำเสนอสิ่งเร้าไปจนเกิดขดคลื่นต่างๆ

จากภาพ 2.35 ปลายขดคลื่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกครั้งแรก เรียกว่า P1 หรือ P100 ส่วนปลายขดคลื่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบครั้งแรก เรียกว่า N1 หรือ N100 การวิจัยครั้งนี้ศึกษา N100, P200 และ P300 โดย N100 เป็นขดคลื่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบเมื่อประมาณ 80-130 มิลลิวินาที นับจากเริ่มต้นนำเสนอสิ่งเร้าไปจนเกิดขดคลื่น ส่วน P100, P200, และ P 300 เป็นคลื่นที่มีขดคลื่นสูงสุดไปทางบวกที่เกิดขึ้นประมาณ 80-120 มิลลิวินาที, ประมาณ 150-210 มิลลิวินาที , และประมาณ 280-400 มิลลิวินาที หลังได้รับการกระตุ้นตามลำดับ (Beydagi et al., 2000)

2. แอมพลิจูด(Amplitude)

ค่าแอมพลิจูดเป็นเป็นศักย์ไฟฟ้าที่แสดงถึงปริมาณของเซลล์ประสาทที่กำลังเกิดการทำงานพร้อมกัน (synchrony) มีหน่วยเป็นไมโครโวลต์ ดูได้จากความสูงของขดคลื่นทั้งที่ปลายขดชี้ขึ้นข้างบนและลงข้างล่างเทียบกับค่าความต่างศักย์ที่เป็น 0

สถาบันประสาทวิทยา กรมการแพทย์ (2549) แบ่งขนาดของแอมพลิจูดเป็น 3 ขนาดคือ ค่าที่ต่ำกว่า 20 ไมโครโวลต์ เป็นค่าขนาดต่ำ(low amplitude) ค่าขนาดปานกลางอยู่ที่ 20-50 ไมโครโวลต์ และค่าที่สูงกว่า 50 ไมโครโวลต์ ถือว่ามีค่าสูง

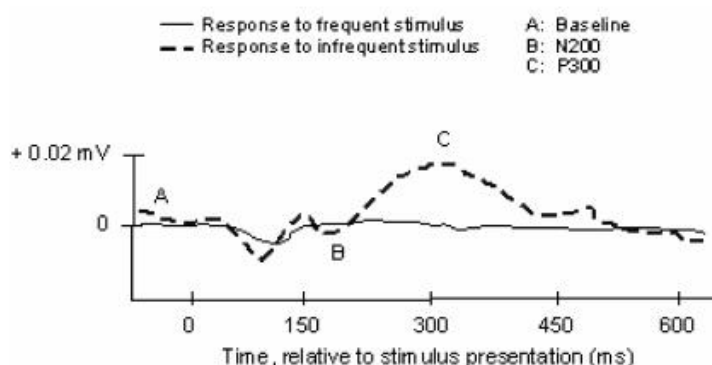
การวิจัยทางด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงานส่วนใหญ่ ศึกษา ERPs ซึ่งเป็นคลื่นที่แสดงถึงการประมวลผลข้อมูล (examine information processing) ที่ตำแหน่ง N100, N200, P100, P200, และ P 300

N1 หรือ N100

N1 หรือ N100 เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางลบที่เกิดขึ้นประมาณ 80-130 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้น ซึ่งสังเกตได้เมื่อมีการเกิดขึ้นของสิ่งเร้าที่ไม่คาดหวัง (unexpected stimulus) เป็นการเตรียมการตอบสนองที่ matching กับสิ่งเร้าเป้าหมายที่จะเกิดขึ้น เชื่อว่า N1 สร้างขึ้นในสมองในแนวกลาง โดยเฉพาะจะสูงสุดในขั้วอิเล็กโทรด Cz ซึ่งเรียกว่า “vertex potential” เป็นดัชนีแสดงถึงการเรียงลำดับของความตั้งใจ (orienting of attention) ที่แสดงถึงความตั้งใจของผู้ถูกวัดที่มีต่อสิ่งเร้า (Luck et al., 2000; Natale et al., 2006; [Shravani Sur](#) and [Sinha](#), 2009) หรือเป็น intersection ระหว่างการเลือกรับรู้รูปร่าง (feature selection) กับ การลงรหัสของ working memory encoding” (Zanto et al., 2010, p. 22). พบว่า ผู้ป่วยที่มีรอยโรคที่สมองส่วน prefrontal cortex จะมีการลดลงของ N1 and N2 (Knight, 1997)

N 2 หรือ N 200

N 2 หรือ N 200 เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางลบที่เกิดขึ้นประมาณ 180-325 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นด้วยภาพหรือเสียงที่จำเพาะบางอย่าง มีการทดลองที่เป็น *oddball paradigm* ซึ่งเป็นการทดลองที่มีสิ่งเร้า 2 อย่าง สิ่งเร้าแรกเป็นสิ่งเร้าที่ปรากฏเป็นประจำ (*frequent stimulus*) และสิ่งเร้าที่ 2 เป็นสิ่งเร้าที่นานๆจึงจะเกิดครั้งหนึ่ง (*infrequent stimulus*) (ภาพ 2.36) พบว่า ค่าแอมพลิจูดของ N 200 มีค่าสูงขึ้นในกรณีที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งเร้าแรก และพบว่า N 200 มักเกิดขึ้นก่อนที่จะมีการตอบสนองด้วยระบบประสาทอัตโนมัติ โดยการกดแป้น เป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่า N 200 เชื่อมโยงกับการจำแนกสิ่งเร้า (identification and distinction) ([Patel](#) and [Azzam](#) , 2005)



ภาพ 2.36 N200 ในการตอบสนองต่อ *oddball paradigm*

เราสามารถ จำแนก N200 ออกเป็นองค์ประกอบย่อยๆ คือ N2a, N2b และ N2pc

N2a เป็นขดคลื่นที่มีการกระจายอยู่เปลือกสมองทางด้านหน้าที่เกิดขึ้นทั้ง conscious attention to, or ignoring of, a deviating stimulus mismatch negativity (MMN), หรือ auditory N2a เป็นองค์ประกอบย่อยของ N200 ที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เป็นเสียงเมื่อใช้การทดลองที่เป็น *oddball paradigm* ที่มีสิ่งเร้าเป็น เสียง (Picton et al., 2000) ในขณะที่ขดคลื่นที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เป็นภาพที่เกิดหลังจากการเสนอด้วยสิ่งเร้าประมาณ 120-200 มิลลิวินาที ในการทดลองที่เป็น *oddball paradigm* เรียกว่า vMMN ซึ่งเกิดขึ้นที่สมองบริเวณ prestriate region โดย ภาระงานในการจำแนกสี จากการศึกษาด้วยรอยโรค ที่พบในสมอง(brain-lesion) และการทำหน้าที่ของสมองสรุปได้ว่า MMN กำเนิดจากสมองส่วนหน้า (frontal lobe) ร่วมกับ thalamus และ hippocampus (Patel and Azzam , 2005)

N2b เป็นขดคลื่นที่มีการกระจายอยู่เปลือกสมองสมองบริเวณตรงกลาง ซึ่งพบเฉพาะภาวะผู้วัดคลื่นสมองมีสติ (conscious stimulus attention) N2b ต่างจาก mismatch negativity (MMN) ที่การตอบสนองไม่จำกัดที่สิ่งเร้าที่เป็นเสียงเท่านั้น ในการทดลอง *oddball paradigm* ที่มีสิ่งเร้าเป็นได้ทุกหมวดที่สิ่งเร้าใหม่นั้นแตกต่างไปจากสิ่งเร้าเดิมที่เกิดเป็นประจำ เชื่อว่าขดคลื่นนี้สร้างจากสมองบริเวณ frontal lobe และ superior temporal cortex

N2pc เป็นขดคลื่นที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เป็นภาพที่เกิดทางด้านซ้ายหรือขวาของจอภาพ และมักพบว่าบริเวณที่ทำงานที่เกิดคลื่นนี้จะอยู่ที่สมองบริเวณ occipital-temporal region ด้านตรงข้ามกับสิ่งเร้า และถือว่าเป็นดัชนีการเปลี่ยนความตั้งใจ (index of attentional shift)

P1 หรือ P100

P1 หรือ P100 หรือ C2 (Russo et al., 2001) เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางบวกที่เกิดขึ้นประมาณ 80–120 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้น ซึ่งสามารถพบได้ชัดเจนในสมองบริเวณท้ายทอย (occipital lobe) โดยประมาณทางด้าน ventrolateral prestriate cortex ของสมองส่วนที่ตรงข้ามกับลานสายตาที่รับสิ่งเร้า (Mangun et al., 1993) ที่เรียกว่า P1 เพราะเกิดจากการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกครั้งแรกเมื่อใช้จุด mastoid เป็นจุดวางขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ส่วนที่เรียกว่า P100 เพราะ peak

ของคลื่นมักเกิดขึ้นที่เวลาประมาณ 100 มิลลิวินาที เชื่อว่า P1 สร้างขึ้นในสมองส่วน extrastriate cortex ตำแหน่ง ventral occipital cortex (Russo et al., 2001) ที่แสดงถึงความตั้งใจของผู้ถูกวัดที่มีต่อสิ่งเร้า โดยพบว่า P1 ในบุคคลที่สนใจหรือตั้งใจต่อตำแหน่งของสิ่งเร้าจะมีแอมพลิจูดขนาดใหญ่กว่าบุคคลที่ไม่ให้ความสนใจต่อตำแหน่งของสิ่งเร้า การตั้งใจต่อสิ่งเร้านี้เชื่อว่ามีอิทธิพลมาจากกระบวนการ top-down processes ที่มีสมองส่วน prefrontal cortex เป็นตัวคอยควบคุม P1 เป็นการแสดงถึงบุคคลที่มี sensory selection (e.g., Heinze, Luck, Mangun, & Hillyard, 1990) โดยกระบวนการ top-down suppression (Hillyard et al., 1998) Natale et al. (2006) อ้างว่า P1 ถือว่าเป็นดัชนีคลื่นไฟฟ้าสมองแรกสุด(earliest ERP index) ที่แสดงถึงการควบคุมความตั้งใจ(attentional control) โดยการกดกระบวนการ bottom-up sensory processing ผ่านการติดต่อเชื่อมโยงประสาทของสมองส่วนหน้าที่มีต่อสมองส่วนหลัง (frontal-posterior attention networks) ลักษณะและรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏทางสายตา รวมทั้งสี และลักษณะพื้นผิวของวัตถุ ความเข้มของแสง ระยะเวลาในการกระพริบของแสงล้วนมีผลต่อ P1 ทั้งสิ้น

Gazzaley et al. (2008) รายงานว่าขนาดของแอมพลิจูดและ latency ของ P1 สัมพันธ์กับอายุ แอมพลิจูดของ P1 เป็นสิ่งแสดงถึง top-down suppression ของบุคคลผู้สูงอายุที่มีประสิทธิภาพลดลง และยังพบว่า latency ของ P1 แสดงถึง attentional suppression ของสิ่งเร้าทางสายตาอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้อง (irrelevant visual stimulus) ซึ่งเป็นช่วงที่แสดงถึงการลงรหัสของความจำขณะทำงาน (working memory encoding)

Handy et al. (2001) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของ สิ่งเร้าทางสายตาอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้อง (irrelevant stimuli) ทำหรือมี การรับรู้มากขึ้น (perceptual load) ทำให้ขนาดของแอมพลิจูดลดลงตลอดจนทั่วแนวบริเวณ parietal-occipital region นอกจากนั้นยังพบว่า การลดลงของขนาดของแอมพลิจูดนี้เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการรับรู้มากขึ้น (perceptual load) นั้นลดความสามารถในความตั้งใจในการจำแนกคุณลักษณะของสิ่งเร้าในลานสายตา (visual field) อีกด้วย

ส่วนการลดขนาดของแอมพลิจูดของ P1 ภายใต้ภายใต้สภาวะมีภาระทางปัญญา (cognitive load) เช่น การรักษาสภาพความจำขณะทำงาน (working memory maintenance) นั้นแสดงถึงมีการตั้งใจที่ลดลง(less attention) เพื่ออำนวยความสะดวกให้เกิดการ

ค้นหาสิ่งเร้าเป้าหมาย (allocated for target detection) ในภาระงานที่สอง (secondary task)

P2 หรือ P200

P2 หรือ P200 เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางบวกที่ เกิดขึ้นประมาณ 100-250 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นของสิ่งเร้า เชื่อว่า P2 สร้างขึ้นในสมอง บริเวณ parieto-occipital regions (Freunberger, Klimesch, Doppelmayr, & Holler, 2007) ที่แสดงถึงการทำงานของ การลงรหัส(encoding)ของ working memory (Chapman, McCrary, & Chapman, 1978; Dunn, Dunn, Languis, & Andrews, 1998) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า P1, N1, and P2 components เป็นตัวชี้วัดทางประสาทสรีระของ บุคคล (neurophysiological markers) ที่ชัดเจนในการบ่งบอกถึงระดับของความตั้งใจ ซึ่งอาจรวมถึงกระบวนการการลงรหัส(encoding)ของ working memory ในบุคคล จากการศึกษาพบว่าแอมพลิจูดของ P2 มีขนาดใหญ่เมื่อบุคคลต้องค้นหาสิ่งเร้าเป้าหมายที่เป็นทั้งภาพและเสียงที่นานๆ เกิดครั้งหนึ่ง คล้ายคลึงกับของ P3 (Patel and Azzam, 2005)

P3 หรือ P300

P3 หรือ P300 เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางบวกที่ เกิดขึ้นประมาณ 300–650 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นของสิ่งเร้า ซึ่งสังเกตได้ชัดเจนบริเวณ แนวกลางศีรษะ central-parietal region ที่วัดได้จาก midline electrodes (Fz, Cz, Pz) โดยเฉพาะใน parietal electrode (Johnson, 1993). คลื่นส่วนนี้สัมพันธ์กับการเปลี่ยน ความตั้งใจ(shifts in attention) ซึ่งเป็นการ update ของ working memory (Polich and Kok, 1995) และเป็นดัชนีชี้วัด working memory ที่สำคัญ (Wintink et al., 2001) แม้ว่า ช่วง latency ของ P300 จะกว้างมาก แต่โดยส่วนใหญ่จะเกิดที่ประมาณ 300–400 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นของสิ่งเร้า แต่ก็มีรายงานว่าอาจจะเริ่มจาก 250 ไปจนถึง 900 มิลลิวินาที ส่วนแอมพลิจูดปกติเริ่มจาก 5 ไปจนถึง 20 μV ในการ กระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เป็นภาพและเสียง แม้ว่าจะเคยมีรายงานว่าบางที่สูงถึง 40 μV (Patel and Azzam, 2005) P300 ได้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Sutton, et al. (1965 cited in Polich, 2010)

แอมพลิจูดของ P300 สัมพันธ์กับ

- 1) โอกาสในการเกิดของสิ่งเร้าเป้าหมาย มักพบว่าเมื่อการเกิดสิ่งเร้าเป้าหมาย ลดลง ค่าแอมพลิจูดของ P300 มีแนวโน้มลดลง (Kok, 2001; Polich, 2010)

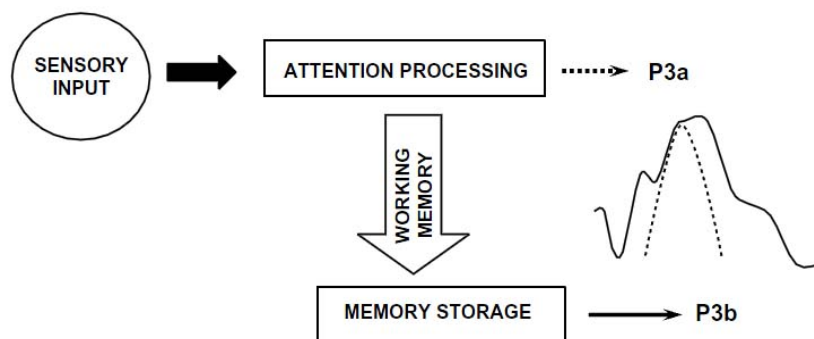
- 2) ในกรณีการทำงานสองอย่างไปพร้อมกัน พบว่า ค่าแอมพลิจูดของ P300 ขึ้นกับค่าความยากง่ายของงานชิ้นแรก หากงานชิ้นแรกมีความยาก แอมพลิจูดของ P300 จะมีขนาดต่ำ และพบว่า latency มีค่าเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้างานชิ้นแรกง่าย พบว่าแอมพลิจูดของ P300 มีขนาดสูงขึ้นและ latency มีค่าลดลงด้วย แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มภาระความจำ (memory load) มีผลในการลดแอมพลิจูดของ P300 เนื่องจากต้องอาศัยทรัพยากรสมองบางส่วนไปใช้ในความตั้งใจ (attentional resources) (Kok, 2001; Polich, 2010)
- 3) ช่วงระยะห่างของเวลาระหว่างสิ่งเร้าเป้าหมาย (target-to-target interval (TTI) time) ถ้าเพิ่มระยะห่างของเวลามากขึ้น ค่าแอมพลิจูดของ P300 ก็มากขึ้น แสดงถึงการทำงานที่ต้องอาศัยเวลาในการพักของเซลล์ประสาทต้นกำเนิดการเกิดคลื่นสมอง P300 นี้ (Kok, 2001; Polich, 2010)
- 4) ความแตกต่างของสิ่งเร้าเป้าหมายกับสิ่งเร้าลวงหรือสิ่งเร้ามาตรฐาน (standard stimulus) เช่น ขนาดตัวอักษร หรือสี ของสิ่งเร้าเป้าหมายกับสิ่งเร้าลวงหรือสิ่งเร้ามาตรฐาน ถ้าแตกต่างกันมาก แอมพลิจูดของ P300 มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากสัมพันธ์กับบริบทสิ่งเร้าที่มาจาก working memory (Fabiani, Karis, & Donchin, 1990). เป็นการบ่งบอกถึงความแรงของความจำในการกระบวนการลงรหัสและการจัดเก็บความจำ (encoding and storage processes) (Polich, 2010)

อาจกล่าวได้ว่า P300 เป็นดัชนีแสดงถึงการประมวลผลความตั้งใจ (attention processing) และความต้องการของความจำขณะทำงาน (working memory demands) โดย Wintink et al. (2001) พบว่าแอมพลิจูดของ P300 ในสมองบริเวณ parietal region ลดลงครั้งละ 1 μV เมื่อเพิ่ม item ในภาระงาน n-back task และพบว่าแอมพลิจูดมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงเมื่อภาระงานเพิ่มขึ้น (Watter et al., 2001) จึงบอกได้ว่า n-back task ซึ่งเป็นงานแบบ of dual task paradigm ที่ต้องการการ update พร้อมไปกับการ encoded สิ่งเร้านั้น เมื่อทำภาระงานที่ต้อง encoded สิ่งเร้ามากขึ้นเช่นเพิ่มจาก 0back เป็น 1 back, 2 back, 3back ... ทำให้แอมพลิจูดของ P300 มีค่าลดลงตามลำดับ

P300 latency ถือว่าเป็นดัชนีชี้วัดของความเร็วของสมอง (index classification speed) เนื่องจากเป็นเวลาที่แสดงถึงการตรวจพบและการประมวลผลต่อสิ่งเร้า P300 จึงเป็นการเชื่อมระหว่างการเรียนรู้สิ่งเร้าและการตอบสนองต่อสิ่งเร้า P300 latency จะมีขนาดสั้นกว่าในบริเวณสมองส่วนหน้าและมีขนาดยาวขึ้นในสมองบริเวณ parietal areas (Conroy & Polich, 2007) ความแตกต่างของ P300 latency สัมพันธ์กับความเร็วของการคิดในใจของ

บุคคล ผู้มี P300 latency น้อยมักแสดงถึงประสิทธิภาพพุทธิปัญญาระดับสูงได้ (cognitive performance) และ P300 latency แสดงถึงความสามารถทางพุทธิปัญญาในการเข้าสู่ทรัพยากรสมองในความตั้งใจ (attentional resources) (Polich, 2010) P300 latency มีขนาดเล็กในวัยเด็กเล็ก และเพิ่มขึ้นในวัยผู้ใหญ่ และพบว่าผู้ที่มีความจำเสื่อม(dementia)จะมีขนาด P300 latency เพิ่มขึ้น (O'Donnell et al. 1992) ดังนั้นอาจนำ P300 ไปใช้ในการประเมิน cognitive function ได้

จากการศึกษาทางประสาทสรีรวิทยา พบว่า P300 สามารถจำแนกออกเป็นองค์ประกอบย่อยได้ 2 อย่างคือ P3a และ P3b เซลล์ประสาทที่กำเนิดคลื่นสมอง P3a มาจากสมองส่วน frontal และใช้ dopaminergic เป็นสารสื่อประสาท ส่วน P3b มาจากสมองส่วน parietal และใช้ norepinephrine เป็นสารสื่อประสาท การ update สิ่งเร้า (context-updating) สัมพันธ์กับการเกิดคลื่น P3a และคลื่นนี้จะลดลงไปและเกิดคลื่น P3b มาทดแทนเมื่อมีสิ่งเร้าเป้าหมาย (target stimuli) ปรากฏขึ้น เมื่อมีการรับรู้ลึกเข้ามามีกระบวนการของความตั้งใจทำให้เกิดคลื่น P3a ขึ้นมา และเมื่อมีกระบวนการของความจำขณะทำงานจนมีการกักเก็บความจำ จะทำให้เกิดคลื่น P3b ขึ้นมา (Polich, 2007) ดังภาพ 2.37



ภาพ 2.37 การเกิด P3a และ P3b (Polich, 2007)

6.4 งานวิจัยที่ศึกษาความตั้งใจและความจำขณะทำงานจากคลื่นไฟฟ้าสมอง

Sternberg and Sternberg (2012) อธิบายว่า เริ่มจากทศวรรษ 1970 ที่นักวิจัยใช้ event-related potentials(ERPs) ในการศึกษาเรื่องความตั้งใจ ผลงานที่สำคัญดำเนินการโดย Hillyard และเพื่อนในปี 1973 เมื่อพวกเขาให้กลุ่มตัวอย่างฟังเสียง 2 ความถี่ แต่ละเสียงในแต่ละหู กลุ่มตัวอย่างต้องตรวจจับสิ่งเร้าเป้าหมายที่เกิดโดยสุ่ม เมื่อสิ่งเร้าเป้าหมายเกิดในหูข้างที่

ให้ตั้งใจฟัง จะมีองค์ประกอบทางลบขององค์ประกอบแรกของ ERP ที่ใหญ่กว่าเมื่อสิ่งเร้าเป้าหมายเกิดในหูข้างที่ไม่ตั้งใจ N1 เป็นคลื่นทางลบที่เกิดเมื่อประมาณ 90 มิลลิวินาที หลังจากเกิดสิ่งเร้าเป้าหมาย สมมติฐานของนักวิจัยคือ คลื่น N1 เป็นผลของการกระตุ้นของสิ่งเร้าเป้าหมาย ในเวลาเดียวกัน มีการกดสิ่งเร้าอื่นๆ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับทฤษฎีตัวกรอง(filter theories) การศึกษาต่อมาโดย Woldorff และ Hillyard เมื่อปี 1991 พบว่าปฏิกิริยาก่อนนั้นต่อสิ่งเร้าเป้าหมายเป็นรูปแบบของคลื่นทางบวกที่เกิดเมื่อประมาณ 20-50 มิลลิวินาที หลังการเกิดสิ่งเร้าเป้าหมาย คลื่นกำเนิดใน Heschl's gyri ซึ่งอยู่ใน auditory cortex (Woldorff et al., 1993) การวิจัยในปัจจุบันยังคงใช้วิธีการเหล่านี้อยู่ การวิจัยในหัวข้อเช่น อิทธิพลของสภาพการศึกษาเศรษฐกิจสังคม(SES) ของมารดาต่อการตั้งใจเลือก (selective attention) ของ Stevens et al. เมื่อปี 2009 พบว่าเด็กที่มารดามีระดับผลการศึกษาที่ต่ำส่งอิทธิพลให้มีค่าคะแนน selective attention ลดลงด้วย มีข้อค้นพบคล้ายๆกันในกรณีของ visual attention ด้วย กล่าวคือ ถ้าสิ่งเร้าเป้าหมายปรากฏในบริเวณที่ตั้งใจของ visual field พบว่า the occipital P1(คลื่นทางบวกคลื่นแรก) จะใหญ่กว่าเมื่อเป้าหมายปรากฏในบริเวณที่ไม่ได้ตั้งใจ(Eason et al., 1969; van Voorhis & Hillyard, 1977) ผล P1 เกิดเมื่อความตั้งใจของกลุ่มตัวอย่างถูกนำมาจากตำแหน่งเฉพาะโดยตัวชี้แนะทางผัสสะ(sensory cue) และเป้าหมายปรากฏต่อมาในตำแหน่งนั้น ถ้าช่วงเวลาระหว่างการปรากฏของตัวชี้แนะและเป้าหมายมีค่าน้อย คลื่น P1 จะขยายใหญ่ขึ้นและเวลาการตอบสนองจะเร็วกว่าเมื่อเป้าหมายปรากฏโดยมีช่วงการหน่วงหลังตัวชี้แนะ ความจริงแล้ว การหน่วงเวลาระหว่างตัวชี้แนะและเป้าหมายสามารถนำไปสู่การหน่วงในเวลาการตอบสนองและการลดขนาดของคลื่น P1(Hopfinger & Mangun, 1998,2001)

Lenartowicz et al. (2014) ค้นหาการแยกกระบวนการองค์ประกอบของความจำขณะทำงาน(ความระมัดระวัง – vigilance, การเข้ารหัส- encoding, และการธำรงรักษา-maintenance) ซึ่งอาจบกพร่องในกลุ่มบุคคลที่มีความผิดปกติประเภท attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) นักวิจัยเก็บข้อมูล EEG จากเด็ก ADHD จำนวน 52 คน และเด็กปกติ 47 คน อายุระหว่าง 7-14 ปี ขณะที่ทำภาระงานความจำขณะทำงาน ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ independent component analysis และ time-frequency analysis ในการระบุคลื่น midoccipital alpha(8-12 Hz) ในการประเมินกระบวนการเข้ารหัส และคลื่น frontal midline theta (4-7 Hz) ในการประเมินกระบวนการธำรงรักษา ทำการทดสอบผลของความยากของภาระงานและกระบวนการชี้แนะ(cue processing) เพื่อประเมินความระมัดระวัง ผลวิจัยพบว่า เด็ก ADHD แสดง attenuated alpha band event-related desynchronization(ERD) ระหว่างการเข้ารหัส ผลนี้เห็นชัดเมื่อความยากของภาระงานมีค่า

น้อย(สอดคล้องกับการขาดความระมัดระวัง)และสามารถทำนายความสามารถในการงาน ความจำและความรุนแรงของอาการ(symptom severity) ความสัมพันธ์กับ alpha ERD ระหว่างการเข้ารหัส คือ ค่า alpha power ลดลงในระหว่างช่วงการเข้ารหัส(เทียบกับค่าเส้นฐาน-baseline) แสดงถึงความพยายามในการชดเชย(compensatory effort) สอดคล้องกับการตีความนี้ midfrontal theta power ที่ลดลงระหว่างการเข้ารหัส มีค่ามากในกลุ่มเด็ก ADHD และในกรณีที่เป็น high-load memory. นอกจากนี้ เด็กที่เป็น ADHD แสดงการขาดวุฒิภาวะ ในพัฒนาการของ posterior alpha power ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับอายุใน frontal theta power เพียงเบนไปจากแผนแบบของเด็กปกติ ทำยที่สุด เด็ก ADHD แสดงการตอบสนองแบบ evoked responses ที่น้อยลงโดยไม่ขึ้นกับอายุ (age-independent attenuation of evoked responses) ต่อตัวชี้แนะที่มาเตือน ซึ่งแสดงถึงการมีความระมัดระวังต่ำ โดยรวมการวัด EEG 3 อย่างนี้ทำนายการวินิจฉัยได้ถูกต้องร้อยละ 70 นักวิจัยสรุปว่าอิทธิพลที่มีต่อกันและกันของความบกพร่องเรื่องความระมัดระวังและการเข้ารหัสของเด็ก ADHD อาจส่งผลต่อการเข้ารหัส และนำไปสู่ความบกพร่องของความจำขณะทำงานของเด็กกลุ่มนี้

Hwang et al. (2005) ศึกษาความสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองของความจำขณะทำงานทางวาจา (verbal)และไม่ใช่ทางวาจา(nonverbal) เนื่องจาก ความจำขณะทำงานทางวาจา)และไม่ใช่ทางวาจา ใช้การสนับสนุนของกระบวนการทางปัญญาที่แตกต่างกัน โดยความจำทางวาจาขึ้นกับการทำซ้ำหรือท่องจำรายการต่าง ๆ ในใจ ดังนั้นจึงบันทึก EEG ในขณะที่กลุ่มตัวอย่างทำภาระงาน Sternberg ทั้งนี้ในการทดลองแต่ละครั้ง กลุ่มตัวอย่างต้องตัดสินใจว่า รายการคำถามนั้นเป็นหนึ่งในสามในรายการที่กำหนดหรือไม่ รายการที่กำหนดประกอบด้วยสิ่งเร้าจากหนึ่งใน 5 กลุ่มซึ่งสิ่งเร้าแต่ละสิ่งอาจเป็นชนิดที่ท่องซ้ำได้(ตัวอักษร คำ รูปภาพของวัตถุทั่วไป) หรือเป็นสิ่งที่ท่องซ้ำได้ยาก(ตำแหน่งต่างๆของจุด 1 จุด, sinusoidal grating patterns) ผลการวิจัย พบว่า oscillatory เฉพาะสิ่งเร้าทางวาจาในช่วงความถี่ θ (4-8 Hz), α (9-12 Hz) β (14-28 Hz), และ γ (30 – 50 Hz) โดยทั่วไปสิ่งเร้าทางวาจาจึงพลังได้มากกว่าสิ่งเร้าที่ไม่ใช่ทางวาจา พบการเพิ่มพลังทางวาจา ในช่วง θ บริเวณหน้าผาก และท้ายทอย(frontal and occipital areas) ในช่วงความถี่ α และ β และบริเวณตรงกลางในช่วงความถี่ γ เมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีในประเด็นของช่วงเวลา พบว่าค่า oscillatory power ที่อยู่ระหว่างการนำเสนอรายการ(between item representations) มีค่ามากกว่า oscillatory power ในระหว่างการนำเสนอรายการ(during item representations) และพบการส่งเสริมกิจกรรม β ในบริเวณหน้าผาก และท้ายทอย ผลวิจัยเหล่านี้แสดงถึงกิจกรรม oscillatory ที่เหนี่ยวนำโดยสิ่งเร้า(stimulus-induced oscillatory activity) ในความจำขณะทำงานทางวาจาและ กิจกรรม β ในกระบวนการท่องจำในใจ

Li, Zhang , and Jiang (2011) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความจำขณะทำงานทางภาพ(Visual Working Memory - VWM) ที่เกี่ยวข้องปริมาณภาระ(load) ในกิจกรรมของเซลล์ประสาทและการเชื่อมต่อเชิงหน้าที่ เนื่องจาก VWM ช่วยให้เราเก็บข้อสนเทศทางภาพเพื่อเตรียมตัวสำหรับพฤติกรรมต่อไป กลไกทางประสาทวิทยาสำหรับการคงข้อสนเทศที่เชื่อมโยงข้อสนเทศทางภาพและกลไกสำหรับความจุที่จำกัดของ VWM ยังคงไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก แม้ว่าการศึกษาจำนวนมากได้ใช้ค่าความถูกต้อง กิจกรรมของเซลล์ประสาท และเชื่อมต่อในการสำรวจกลไกของความคงทนของ VWM แต่เรายังมีความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับ load ในการเชื่อมต่อการทำหน้าที่สำหรับความคงทนของ VWM งานวิจัยนี้ บันทึก EEG จากผู้ใหญ่ปกติ 14 คนในขณะที่ทำการงาน bilateral visual field memory ซึ่งพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการตอบสนองมากขึ้นอย่างรวดเร็ว และถูกต้องในกรณี left visual field (LVF) memory condition ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแอมพลิจูดระหว่าง ipsilateral และ contralateral event-related potential (ERP) ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด parietal-occipital electrodes ในช่วงเวลาการคงทนของข้อสนเทศได้จากการใช้ภาระความจำ(memory ที่แตกต่างกัน 6 แบบ วัดการเชื่อมต่อการทำหน้าที่ระหว่างบริเวณต่างๆ 128 แห่งโดยดู EEG phase synchronization ในช่วงความถี่ theta- (4–8 Hz), alpha- (8–12 Hz), beta- (12–32 Hz), and gamma- (32–40 Hz) ผลการวิจัยพบว่าเครือข่ายสมองของช่วงความถี่ theta-, alpha-, beta-, และ gamma ไม่ขึ้นกับภาระที่ทำและไม่ขึ้นกับบริเวณการรับภาพ (brain networks of theta-, alpha-, beta-, and gamma- frequency bands were load-dependent and visual-field dependent)เครือข่ายของการประสานกันของช่วงคลื่น theta และ alpha มีอิทธิพลมากที่สุดในช่วงเวลาการคงทนสำหรับความจำขณะทำงานใน right visual field (RVF) มากกว่าสำหรับความจำขณะทำงานใน LVF . นอกจากนี้ เฉพาะกรณีความจำใน RVF ความหนาแน่นของเครือข่ายสมองช่วงความถี่ theta ถูกเชื่อมโยงกับความล่าช้าหรือการหน่วงเวลาของการตอบสนองพฤติกรรม และคุณสมบัติทาง topology ของเครือข่ายคลื่น alpha เป็นความสัมพันธ์ทางลบกับค่าที่ได้ถูกต้อง งานวิจัยนี้แนะนำว่า ความแตกต่างในคลื่น theta และ alpha ระหว่าง LVF และ RVF สภาพในการทำงานเชื่อมต่อและคุณสมบัติ topology ในระหว่างช่วงเวลาของความคงทนของข้อมูลอาจมีผลในการลดลงของการแสดงพฤติกรรมในการงาน RVF

Michels, et al. (2010) ศึกษา EEG และ fMRI พร้อมกันในระหว่างทำการงานความจำขณะทำงาน เนื่องจากการศึกษา EEG ของความจำขณะทำงาน ซึ่งพบว่าคลื่นสมองที่ความถี่ต่างๆไม่ขึ้นกับปริมาณภาระ(load) แต่การศึกษา FMRI พบว่ามีการ localized load modulated activity ที่ dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC), medial prefrontal cortex

(MPFC), และ posterior parietal cortex (PPC) ล่าสุด การศึกษา EEG- fMRI พร้อมกันพบว่า กิจกรรมของแถบคลื่นสมองความถี่ต่ำ (theta และ alpha) มีสหสัมพันธ์ทางลบกับ สัญญาณ blood-oxygen-level-dependent –(BOLD) ระหว่างขั้นตอนการคงข้อมูลไว้ของภาระงานความจำขณะทำงาน อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับคู่ของคลื่นความถี่สูง (beta และ gamma) กับสัญญาณ BOLD ระหว่างการทำภาระงานความจำขณะทำงาน งานวิจัยนี้ จึง ศึกษาผู้ใหญ่สุขภาพดี 16 คน เริ่มจากการสืบค้นความสัมพันธ์ EEG-BOLD สำหรับคลื่น theta (5–7 Hz), alpha1 (8–10), alpha2 (10–12 Hz), beta1 (13–20), beta2 (20–30 Hz), และ gamma (30–40 Hz) ในระหว่างช่วงเวลาการคงข้อมูลในภาระงานความจำขณะทำงาน และ ตรวจสอบว่าบริเวณสมองที่ไวต่อปริมาณภาระ มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลที่เกี่ยวข้องกับ ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของคลื่นกับสัญญาณ BOLD หรือไม่ ผลการวิจัย พบ ความสัมพันธ์ทางลบของ theta-BOLD ใน MPFC, PPC, and cingulate cortex (ACC and PCC) ในส่วนของ alpha1 พบความสัมพันธ์ทางบวกใน ACC, MPFC, and PCC; พบ ความสัมพันธ์ทางลบใน in DLPFC, PPC, และ inferior frontal gyrus (IFG) พบ ความสัมพันธ์ทางลบของ alpha2-BOLD ในบริเวณ parieto-occipital มีความสัมพันธ์ทางบวก Beta1-BOLD ใน ACC และทางลบใน precentral and superior temporal gyrus ส่วน Beta2 และ gamma พบว่ามีเฉพาะความสัมพันธ์ทางบวกกับสัญญาณ BOLD เช่นใน DLPFC, MPFC (gamma) และใน IFG (beta2/gamma). การวิเคราะห์ปริมาณภาระแสดงว่า theta และ beta and gamma (ยกเว้นกรณีเดียว) มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณภาระ ในขณะที่ alpha1 แสดงเฉพาะผลทางลบเท่านั้น นักวิจัยสรุปว่า ทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่าง คลื่นไฟฟ้าสมอง EEG และสัญญาณ BOLD แตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณของสมองและแต่ละความถี่ของคลื่นสมอง นอกจากนี้ บางบริเวณของสมองแสดงทั้งอิทธิพลจาก load sensitive BOLD และ frequency band ข้อมูลระบุว่า การสั้นของ คลื่นความถี่ต่ำ และสูง เชื่อมโยงกับกระบวนการ neurovascular ระหว่างทำภาระงานความจำขณะทำงาน

Agam and Sekuler (2007) ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะทำงานและการรับรู้ทางภาพ (visual perception) โดยใช้การศึกษา ERP/EEG ซึ่งพบว่า แอมพลิจูดของ ERPs ในระหว่างการนำเสนอสิ่งเร้ามีความสัมพันธ์กับความสามารถทางพฤติกรรม กล่าวคือ ยิ่ง แอมพลิจูดใหญ่มาก การทำตามแบบยิ่งถูกต้องมากขึ้น ผลการวิจัยเหล่านี้แสดงว่า การประมวลผลทางภาพของสิ่งเร้าที่มาเป็นลำดับไม่ได้เป็นแบบแผนเดียว หากแต่ ข้อเสนอเทศที่มาก่อนจะดึงให้กิจกรรมของเซลล์ประสาทแข็งแรงขึ้น

ผลการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่ศึกษาโดยใช้ EEG ในระยะแรกๆ เป็น การศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ป่วยหรือมีความบกพร่องทางสมอง แต่ปัจจุบันมีการศึกษา

ในกลุ่มตัวอย่างที่มีสุขภาพดีเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสามารถนำผลวิจัยไปใช้ในคนที่มีสุขภาพดีได้มากขึ้น ดังเช่น Chung, et al.(2002) ศึกษาอาสาสมัครที่มีสุขภาพดี 7 คน ในขณะที่ทำภาระงาน ความจำขณะทำงาน กับขณะอยู่นิ่งๆ เปรียบเทียบผลวัดพฤติกรรม, EEG, และ ERPs ระหว่างรอบเวลาที่ได้รับยา phenytoin 10mg/kg หรือยาหลอกอย่างใดอย่างหนึ่ง พบว่า การวัดเชิงประสาทกายภาพ(neurophysiological) แสดงความไวในการวัดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการประมวลผลความตั้งใจ แม้ว่าการตอบสนองยาของ phenytoin จะดำเนินไปในการทำให้เกิดพฤติกรรม ผลลัพธ์ดังกล่าวบ่งชี้ว่า การวัด EEG และ ERP สามารถให้ข้อสนเทศเกี่ยวกับผลข้างเคียงด้าน neurocognitive ของยา ที่ไม่สามารถสรุปได้จากการประเมินประสิทธิภาพ โดยดูจากความสามารถในการทำภาระงานทางพุทธิปัญญาเพียงอย่างเดียว ดังนั้น การศึกษาความสามารถทางพุทธิปัญญาโดยการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองควบคู่ไปกับการศึกษาพฤติกรรม การตอบสนองต่อภาระงานของบุคคล จึงเป็นแนวทางที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน งานวิจัยครั้งนี้ จึงใช้การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองร่วมในการตรวจสอบความตรงของชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นด้วย