

ความสัมพันธ์ระหว่างเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวกับความจำขณะคิด

ลัดดา เหลืองรัตนมาศ และ เสรี ชัดเข้ม

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนองานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวกับความจำขณะคิด เนื่องจากเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวมีบทบาทต่อความสามารถทางปัญญาด้านต่าง ๆ แต่เมื่ออายุมากขึ้นความสามารถทางด้านนี้กลับลดลงได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว ด้วยการใช้โปรแกรมฝึกสมองที่อาศัยกระบวนการความจำขณะคิดเป็นพื้นฐานกันมากขึ้น โดยได้แนวคิดมาจากทั้งทางด้านจิตวิทยาและประสาทวิทยา ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวกับความจำขณะคิด บทความนี้ได้รวบรวมงานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวกับความจำขณะคิดทั้งในแง่ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างทางกายวิภาค รวมถึงความสัมพันธ์ที่เป็นเหตุเป็นผลอันเป็นพื้นฐานนำไปสู่การวิจัยเพื่อพัฒนาเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวต่อไป

คำสำคัญ: เชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว/ ความจำขณะคิด/ ความสามารถทางปัญญา/ โปรแกรมฝึกสมอง

Relationship between Fluid Intelligence and Working Memory

Ladda Leungratanamart and Seree Chadcham

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

Abstract

This article reviews research which has investigated the relationship between fluid intelligence (Gf) and working memory (WM). Fluid intelligence plays an important role in various cognitive abilities; however this aspect of ability is known to decline with age. Some studies relate to the development of fluid intelligence using brain training programs based on working memory, including both psychological and neurological perspectives. A particular focus of this article is with reference to anatomical structure, and to causal WM-Gf relationships which seem likely to form the basis for further research on the development of fluid intelligence.

Keywords: fluid intelligence, working memory, cognitive ability, brain training program

ความนำ

เชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว (Fluid intelligence) เป็นความสามารถในการคิดเชิงตรรกะ และการแก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่ ๆ โดยไม่ต้องอาศัยความรู้เดิมที่มีอยู่ นอกจากนี้ยังเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่บ่งบอกถึงความสำเร็จในการเรียนและการประกอบอาชีพ เปรียบได้กับบันไดที่ช่วยต่อยอดไปสู่ความสามารถในด้านอื่น ๆ เชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวนี้เป็นความสามารถที่ติดตัวมาตั้งแต่กำเนิด จะปรากฏเมื่ออายุ 2-3 ปี และมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงวัยเด็กตอนต้นถึงวัยเด็กตอนกลาง จนกระทั่งเข้าสู่วัยรุ่นตอนต้นการพัฒนาจะช้าลง และเมื่อเข้าสู่ผู้ใหญ่ตอนต้นเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวก็จะเริ่มลดลง (McArdel, Ferrer-Caja, Hamagami, & Woodcock, 2002) แม้จะเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า พันธุกรรมและโครงสร้างของสมองเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว แต่ขณะนี้มีผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมมีส่วนในการพัฒนาเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวได้ นอกจากนี้กระบวนการทางปัญญาซึ่งเป็นหน่วยย่อยพื้นฐานของเชาว์ปัญญา ได้แก่ ความเร็วในการรับส่งข้อมูลในสมอง (Mental speed) ความสนใจ (Attention) ความจำระยะสั้น (Short term memory) ความจำขณะคิด (Working memory) ซึ่งเป็นเสมือนทรัพยากรภายในสมองก็มีผลทำให้แต่ละคนมีเชาว์ปัญญาที่แตกต่างกัน (Schweizer, 2005) ผลการศึกษาทั้งในสาขาจิตวิทยาและประสาทวิทยาชี้ให้เห็นว่า เชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความจำขณะคิด การเพิ่มความสามารถของความจำขณะคิด (Working memory capacity) ส่งผลต่อการพัฒนาเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวได้ บทความนี้นำเสนอทฤษฎีกระบวนการทางปัญญาที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว การวัดเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวโดยเน้นการนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาศึกษาตำแหน่งและการเปลี่ยนแปลงภายในสมองที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวและความจำขณะคิด รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวกับความจำขณะคิด

เชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว

ทฤษฎีเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว

ทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับเชาว์ปัญญา มีอยู่ด้วยกันหลายทฤษฎี แต่ที่ได้รับการยอมรับและใช้กันแพร่หลายเพราะอธิบายได้ครอบคลุมคือ ทฤษฎีเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวและเชาว์ปัญญาเชิงตกผลึก (Fluid – crystallized intelligence theory) ของ Cattell (1971) นอกจากนี้นักวิจัยที่ศึกษาเชาว์ปัญญาในสาขาวิชาประสาทวิทยา ได้มีการนำเทคนิคการสร้างภาพในสมองมาใช้ในการศึกษาการทำงานของสมอง ทำให้ทราบตำแหน่งสมองที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว และตั้งเป็นทฤษฎีการทำงานร่วมกันของสมองส่วนหน้าและพาริเอทัลที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญา (Parieto- frontal integration theory of intelligence: P- FIT theory)

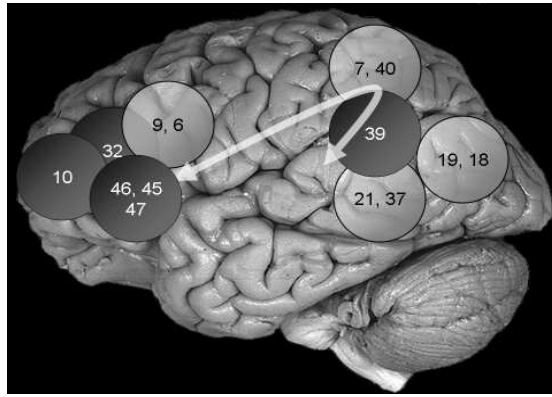
1. ทฤษฎีเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวและเชาว์ปัญญาเชิงตกผลึก

Cattell (1971) ได้ศึกษาและรวบรวมผลงานที่เกี่ยวกับความสามารถทางสมองขั้นพื้นฐาน และจัดกลุ่มโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบรวมเป็นโครงสร้างที่สมบูรณ์ และได้เสนอทฤษฎีเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวและ

เชาว์ปัญญาเชิงตกผลึกนี้ขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1963 ทฤษฎีนี้จำแนกเชาว์ปัญญาออกเป็น 2 แบบ คือ เชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว และเชาว์ปัญญาเชิงตกผลึก เชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวเป็นความสามารถที่คิดค้นมาตั้งแต่กำเนิด เป็นความสามารถในการคิดวิเคราะห์ การใช้เหตุผล การคิดและการเชื่อมโยง ความสามารถด้านนี้จะแทรกอยู่ในกระบวนการแก้ปัญหาทุกอย่างที่ใช้สมอง เชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวนี้ไม่ขึ้นกับเนื้อหา นอกจากนี้ความแตกต่างทางวัฒนธรรมของบุคคลไม่มีผลต่อเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว (Culture free) ส่วนเชาว์ปัญญาเชิงตกผลึกจะมีลักษณะที่ตรงกันข้าม เป็นความสามารถที่เกิดจากการสะสมความรู้และประสบการณ์ในเรื่องต่าง ๆ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามอายุ

2. ทฤษฎีการทำงานร่วมกันของสมองส่วนหน้าและพารีเอทัลที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญา

Jung and Haier (2007) ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่ใช้เทคนิควิธีการสร้างภาพในสมอง (Neuroimaging paradigm) ศึกษาโครงสร้างหน้าที่ของสมองที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญา จำนวน 37 งานวิจัย พบว่ามีเครือข่ายการทำงานของสมองที่ทำงานร่วมกัน ขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้เหตุผลซึ่งต้องอาศัยเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว Jung and Haier ได้เสนอทฤษฎีการทำงานร่วมกันของสมองส่วนหน้าและพารีเอทัลที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญา เพื่ออธิบายเครือข่ายการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญาโดยอธิบายตามตำแหน่งของสมองตามพื้นที่บรอดแมน (Brodmann area = BA) มีการทำงานร่วมกันระหว่างเปลือกสมอง (Cortex) ส่วนพารีเอทัล (Parietal lobe) และส่วนหน้า (Frontal lobe) โดยเชื่อมต่อกันผ่านทางเนื้อสมองสีขาว (White matter) ได้แก่ เส้นใยประสาทอาร์คูเอท (Arcuate fasciculus) และเส้นใยประสาทที่ทอดตามแนวยาวทางด้านหน้า (Superior longitudinal fasciculus) การทำงานที่เชื่อมโยงเป็นเครือข่ายอธิบายเป็นลำดับขั้น โดยเริ่มจากเมื่อมีสิ่งกระตุ้นหรือมีข้อมูลผ่านจากภายนอกทั้งจากการมองเห็นหรือจากการได้ยินผ่านเข้ามา เปลือกสมองส่วนขมับ (Temporal lobe) และ ส่วนหลัง (Occipital lobe) จะรับสัญญาณที่ส่งเข้ามา จากนั้นส่วนเอ็กทราสเตียเทอ (Extrastriate cortex) ประกอบด้วย BA 18 และ 19 ฟิวซิฟอร์ม (fusiform gyrus : BA 37) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับภาพ การแปลผลสิ่งที่เห็น และบริเวณเวอร์นิคเก แอเรีย (Wernicke's area : BA 22) ที่เกี่ยวข้องกับการแปลภาษา จะรับข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลกระบวนการรับรู้จะเกิดขึ้นที่บริเวณสมองส่วนพารีเอทัล โดยเฉพาะที่บริเวณซูพีเรียมาจินัล (Superiormarginal : BA 40) ซูพีเรียพารีเอทัล (Superior parietal : BA 7) และ แองกูลา (Angular gyri : BA 39) ต่อจากนั้นจะมีการส่งสัญญาณระหว่างสมองส่วนพารีเอทัลไปยังสมองส่วนหน้า (BA 6, 9, 10, 45-47) ซึ่งเป็นบริเวณที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา นอกจากนี้ยังส่งต่อข้อมูลไปยังซิงกูเลท (Cingulate cortex : BA 32) เป็นบริเวณที่เกี่ยวข้องกับความสนใจหรือเลือกที่จะตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เฉพาะ พร้อมกับตัดสิ่งกระตุ้นที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป การส่งสัญญาณประสาทไปยังสมองส่วนหน้านี้ต้องอาศัยเนื้อสมองสีขาวซึ่งอยู่ด้านในทำหน้าที่ส่งสัญญาณ การส่งสัญญาณจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับการทำงานของสมองบริเวณนี้ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 เครือข่ายการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญาตามบรอดแมน แอเรีย (P-FIT model)

(Jung & Haier, 2007)

กระบวนการทางปัญญาที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหล (Cognitive basis of fluid intelligence)

ความก้าวหน้าในการศึกษาทางวิทยาการปัญญาทำให้ได้แนวคิดเกี่ยวกับพื้นฐานทางปัญญาที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเชาว์ปัญญา กระบวนการทางปัญญาที่เป็นพื้นฐานของเชาว์ปัญญา ได้แก่ ความรวดเร็วในการส่งข้อมูลในสมอง ความสนใจ ความจำระยะสั้น และความจำขณะคิด (Schweizer, 2005)

1. ความรวดเร็วในการส่งข้อมูลในสมอง ไม่ได้หมายความว่าเฉพาะระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการส่งข้อมูล แต่ยังรวมถึงประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมที่ซับซ้อนด้วย นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการรับรู้ การวัดความเร็วในการส่งข้อมูลจึงสะท้อนให้เห็นถึงคุณสมบัติในการรับรู้ของบุคคล

2. ความสนใจ ในขณะนี้มีแนวคิดที่เกี่ยวกับเชาว์ปัญญาหลายความหมาย เช่น เป็นความสามารถของสมองที่จะคัดกรองเพื่อให้มีความสนใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง (Filter metaphor) หรือความสามารถที่จะมุ่งความสนใจไปที่เรื่องเดียว (Spotlight metaphor)

3. ความจำระยะสั้น เป็นความสามารถในการเก็บข้อมูลที่จำกัด ซึ่งจะคงอยู่ได้ประมาณ 20 วินาที ถ้าไม่มีการทวนซ้ำข้อมูลเดิม

4. ความจำขณะคิด เป็นความสามารถในการจัดเก็บและการคงข้อมูลไว้ในความจำขณะที่กระทำการงานนั้นอยู่ และการฟื้นความจำเกี่ยวกับข้อมูลที่ได้รับได้ในทันที ความจำในลักษณะนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำกิจกรรมที่ซับซ้อน เปรียบเสมือนศูนย์กลางที่คอยควบคุมกระบวนการจัดกระทำข้อมูล เพราะในการทำกิจกรรมที่ต้องใช้เหตุผลหรือมีความซับซ้อนนั้น เราไม่สามารถแก้ปัญหาได้ในทันที ข้อมูลที่ได้รับต้องมีการนำไปจัดกระทำในกระบวนการทางสมองก่อน ซึ่งต้องอาศัยพื้นฐานทางปัญญาที่เกี่ยวข้องกับความจำขณะคิด

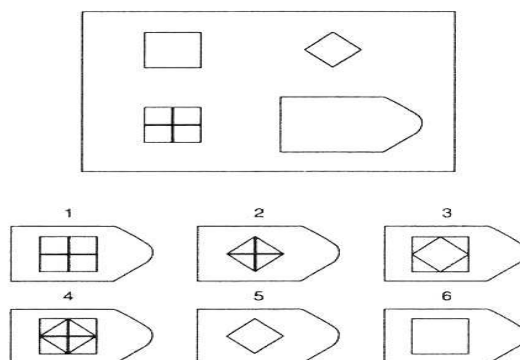
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นฐานทางปัญญาเหล่านี้กับเชาว์ปัญญา ได้ข้อสรุปที่แตกต่างกันไป รวมทั้งขนาดของความสัมพันธ์ก็แตกต่างกันไป ในบทความนี้จะนำเสนอเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างความจำ

ขณะคิดกับเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล ซึ่งในขณะนี้ได้รับความสนใจอย่างมาก และยังส่งผลต่องานวิจัยเพื่อพัฒนาเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล

การวัดเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล

แบบทดสอบทางจิตวิทยาที่ใช้วัดเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหลมีอยู่หลากหลายประเภท ทั้งแบบกระดาษและคินสอหรือแบบเขียนตอบ และการทดสอบทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ แต่นักวิจัยที่สนใจศึกษาคำแหน่งและกระบวนการทางสมองที่เกี่ยวข้องกับเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล ได้นำเทคนิคและวิธีการที่อาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ ซึ่งเป็นการวัดทางชีววิทยา ทำให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนและเป็นประโยชน์อย่างมาก

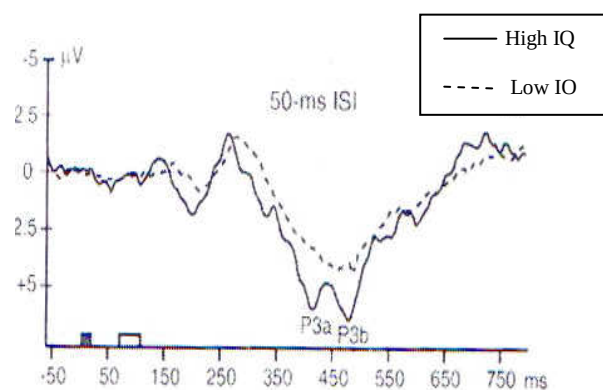
การวัดทางจิตวิทยาเป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้กัน แบบทดสอบเขาวัวปัญญาที่นิยมใช้ทั่วไปได้แก่ แบบทดสอบโพเกรสซีฟแมทริกซ์ (Progressive Matrices test : PM) แบบทดสอบเขาวัวปัญญาวัฒนธรรมเสมอภาคของแคทเทล (Cattell's Culture Fair Intelligence test) และแบบทดสอบเขาวัวปัญญาของเวคสเลอร์สำหรับผู้ใหญ่ (Wechsler Adult Intelligence Scale : WAIS) แบบทดสอบโพเกรสซีฟแมทริกซ์ สร้างขึ้นโดย Raven (Raven, Raven & Court, 2000) ตามทฤษฎีเขาวัวปัญญาของสเปียร์แมน (Spearman) เป็นแบบทดสอบที่นิยมใช้วัดเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล มีจุดประสงค์เพื่อวัดองค์ประกอบทั่วไปของเขาวัวปัญญา แบบทดสอบนี้จะไม่ใช่ภาษา (Nonverbal) แต่จะใช้รูปภาพเป็นสิ่งเร้าให้ตอบ ลักษณะของแบบทดสอบจะเป็นรูปทรงเรขาคณิต ข้อปัญหาแต่ละข้อเป็นอนุกรมเมทริกซ์กลดหลายต่าง ๆ ปัญหาแต่ละข้อจะมีส่วนที่ขาดหายไป ผู้รับการทดสอบจะต้องเลือก 1 ตัวเลือกจาก 6-8 ตัวเลือก (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบโพเกรสซีฟแมทริกซ์ (Raven, Raven, & Court, 2000)

การวัดทางชีววิทยาเป็นการวัดทางกายวิภาคและสรีรวิทยาของสมองที่เกี่ยวข้องกับเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล เทคโนโลยีขั้นสูงที่มีการนำมาใช้ในการศึกษาการทำงานของสมอง ได้แก่ โพซิตรอนอีมิสชันโทโมกราฟี (Positron Emission Tomography : PET) เป็นวิธีการประเมินการทำงานของสมอง โดยใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณของเลือดที่มีการไหลเวียนหรืออัตราการเผาผลาญกลูโคสของสมองขณะที่ทำกิจกรรม ประเมินได้จากการกระจายของ

สารกัมมันตภาพรังสีที่ฉีดเข้าไปทางหลอดเลือด เนื่องจากวิธีนี้ต้องฉีดสารกัมมันตภาพรังสีเข้าไปในร่างกายของผู้ถูกทดสอบจึงไม่เป็นที่นิยม การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบฟังก์ชันนอลเอ็มอาร์ไอ (Functional magnetic resonance : fMRI) เป็นวิธีการศึกษาคำแหน่งของสมองที่นิยมใช้มากในขณะนี้ เป็นการวัดทางอ้อมด้วยการประเมินค่าไฮโดรเจน ตัวแปรที่บ่งถึงการไหลเวียนของเลือดที่ไปเลี้ยงบริเวณสมองขณะที่ทำกิจกรรมที่ต้องใช้สมองอาศัยการแปลเป็นค่าการใช้ออกซิเจนของสมองบริเวณที่มีการทำงานขณะทำกิจกรรมที่ใช้สมอง โดยที่บริเวณใดของสมองที่มีการทำงาน ขณะทำกิจกรรมที่ใช้สมองจะมีการใช้ออกซิเจนบริเวณนั้นมากขึ้น ทำให้เม็ดเลือดแดงปลดปล่อยออกซิเจนให้กับเซลล์สมองบริเวณนั้น เม็ดเลือดแดงที่เป็นอิสระจากออกซิเจนจะมีความเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าสูง จึงสามารถวัดพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram : EEG) ซึ่งเป็นวิธีการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าสมอง โดยวางอิเล็กโทรดบนหนังศีรษะ ศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้นั้นเป็นผลรวมของศักย์ไฟฟ้าที่จุดประสานประสาท (Synaptic potential) ของเดนไดรต์ (Dendrite) ได้เปลือกสมอง การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมกับความสามารถทางปัญญานั้น มีการศึกษาองค์ประกอบของคลื่นไฟฟ้าสมอง 2 โดเมน ได้แก่ โดเมนเวลา (Time domain) และโดเมนความถี่ (Frequency domain) การวิเคราะห์ทางโดเมนเวลาทำโดยวัดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่ต้องการศึกษา (Event related potential) หรือ ERP มีการนำคลื่น P3 ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ ERP มาเป็นดัชนีจำแนกระหว่างกลุ่มคนที่มีความเชาว์ปัญญาสูงกับเชาว์ปัญญาต่ำ โดยการวัดคลื่น P3 ขณะทำกิจกรรม พบว่าคนที่มีความเชาว์ปัญญาสูงจะมีความสูงของ P3 (Amplitude) มากกว่ากลุ่มที่เชาว์ปัญญาต่ำ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบ ERP ระหว่างกลุ่มที่มีระดับเชาว์ปัญญาสูง (High IQ) กับเชาว์ปัญญาต่ำ (Low IQ)

(Schweizer, 2005)

การวัดเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลทางชีววิทยาเริ่มครั้งแรกจากการศึกษาของ Haier, Siegel, Nuechterlein, Hazlett, Wu, and Paek (1988 อ้างถึงใน Neubauer, Grabner, Freudenthaler, & Beckmann, 2004) ใช้ PET scan วัดปริมาณการเผาผลาญกลูโคส (Glucose metabolism rate : GMR) ขณะที่ผู้ถูกทดสอบทำแบบทดสอบ

โพเรสซิฟแมทริซของราเวน นำคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณการเผาผลาญกลูโคสที่วัดได้ ผลการวิเคราะห์พบว่า คนที่มีเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวในระดับสูงมีอัตราการใช้กลูโคสของสมองต่ำ จากผลการศึกษาที่ได้ Haier และคณะ จึงนำมาตั้งสมมติฐานประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ประสาท (Neural efficiency) ดังนั้นประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ประสาทจึงเป็นตัวบ่งชี้เข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหว ซึ่งนักวิจัยที่ศึกษาเข่าปัญญาได้ใช้เป็นแนวทางในการประเมินเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวต่อมา

การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองสามารถประเมินความแตกต่างของเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวได้ (Doppelmayr, Klimesch, Hodlmoser, Sauseng, & Gruber, 2005) โดยการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะที่ผู้ถูกทดสอบทำแบบทดสอบโพเรสซิฟแมทริซของราเวน ผลการวิจัยสนับสนุนสมมติฐานประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ประสาท นอกจากนี้ผู้วิจัยยังนำผลจากการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองมาจำแนกความแตกต่างระหว่างข้อที่ง่ายกับข้อที่ยาก พบว่าคนที่มีเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวต่ำจะมีความทำงานของสมองลดลงจากข้อง่ายไปข้อยาก ในขณะที่คนที่มีความเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวสูงจะมีความทำงานของสมองเพิ่มมากขึ้นจากข้อง่ายไปข้อยาก แสดงให้เห็นว่าคนที่มีความเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวสูงมีการใช้การทำงานของสมองเพียงเล็กน้อยเมื่อทำข้อง่ายเพื่อสำรองพลังงานไว้ใช้ในข้อที่ยากขึ้นไป

การศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดคลื่นไฟฟ้าสมองกับเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวโดย Liu, Shi, Zhao, and Yang (2008) โดยใช้แบบทดสอบเข่าปัญญาวัฒนธรรมเสมอภาคของแคเทเทิล วัดเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 47 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามคะแนนเฉลี่ย กลุ่มที่มีความเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวสูงจำนวน 24 คน อายุเฉลี่ย 11.2 ปี มีคะแนนเฉลี่ยเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวเท่ากับ 123.4 คะแนน ส่วนกลุ่มปกติจำนวน 23 คน อายุเฉลี่ย 11.3 ปี มีคะแนนเฉลี่ยเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวเท่ากับ 97.9 คะแนน หลังจากนั้น Liu และคณะ ได้วัดคลื่นไฟฟ้าสมองทั้งสองกลุ่มเพื่อดูเปอร์เซ็นต์ของการเกิดคลื่น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ในกลุ่มที่มีความเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวสูงจะมีเปอร์เซ็นต์การเกิดคลื่นเคลดามากกว่ากลุ่มที่มีความเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวปกติ และขนาดของคลื่นแอลฟา 2 และเบต้า 1 ในกลุ่มที่มีความเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวสูง จะต่ำกว่ากลุ่มที่มีความเข่าปัญญาเชิงเคลื่อนไหวปกติ จากการศึกษาทำให้ได้วิธีการจำแนกความแตกต่างของบุคคลทางด้านเข่าปัญญาที่ชัดเจนขึ้นกว่าการใช้แบบทดสอบวัดระดับเข่าปัญญา เพราะการใช้แบบทดสอบอาจมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้ทำแบบทดสอบในขณะที่ทำแบบทดสอบได้ ซึ่งต่างจากการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเพราะคลื่นที่ปรากฏคือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในสมองในขณะที่ทำกิจกรรม

ความจำเพาะคิด

ความจำเพาะคิดจะแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล มีการศึกษาพบว่าความสามารถในด้านนี้จะมีการพัฒนาจากวัยเด็กจนถึงวัยผู้ใหญ่ และจะสูงสุดประมาณอายุ 25-30 ปี หลังจากนั้นจะลดลงได้ แต่ความจำเพาะคิดนี้เป็นพื้นฐานและมีความจำเป็นต่อความสามารถทางสมองขั้นสูง ดังนั้นถ้าความสามารถทางด้านนี้ลดลงจะส่งผลต่อการทำกิจกรรมที่ต้องใช้สมองขั้นสูงอื่น ๆ ตามมาได้ ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาเกี่ยวกับความจำเพาะคิดมานานแล้ว

ก็ตาม แต่คำจำกัดความก็ยังคงมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับโมเดลที่นำมาใช้ศึกษา นักวิจัยส่วนใหญ่ให้คำจำกัดความของความจำขณะคิดว่าเป็นความสามารถที่จำกัดในการจดจำข้อมูลไว้ในสมอง (Storage) ในขณะเดียวกันก็บริหารจัดการกับข้อมูลที่ได้รับเข้าไปตลอดในช่วงที่ทำกิจกรรมที่ใช้ปัญญา (Executive control) โมเดลความจำขณะคิดมีอยู่หลายโมเดลแต่ที่รู้จักแพร่หลายคือ โมเดลหลายองค์ประกอบของแบดเดเลย์ (Baddeley's multi-component model) ซึ่งนำเสนอตั้งแต่ปี ค.ศ. 1986 (Baddeley, Eysenck, & Anderson, 2009)

องค์ประกอบความจำขณะคิด (Working memory component)

มีผู้ให้ความหมายและแนวคิดเกี่ยวกับความจำขณะคิดที่หลากหลาย เมื่อพิจารณาตามองค์ประกอบของความจำขณะคิดแบ่งออกได้เป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านหน้าที่ และด้านโครงสร้าง ในบทความนี้จะนำเสนอเฉพาะการแบ่งองค์ประกอบความจำขณะคิดตามหน้าที่และโครงสร้าง เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่ใช้แนวคิด 2 ด้านนี้ในการวิจัย

นักวิจัยที่ศึกษาความจำขณะคิดโดยพิจารณาจากหน้าที่ แบ่งหน้าที่ของความจำขณะคิดออกเป็น 2 ส่วน คือ การจัดเก็บข้อมูลไว้ในความทรงจำขณะทำกิจกรรม และการควบคุมบริหารจัดการกับข้อมูลที่ได้รับเข้ามาอย่างต่อเนื่องขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมอง นักวิจัยบางกลุ่มใช้คำว่า การควบคุมความสนใจ (Control attention) ในความหมายเดียวกับ Executive control ในส่วนของการควบคุมบริหารจัดการกับข้อมูลที่ได้รับเข้ามาอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมองนั้นยังแบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อย ๆ ได้แก่ การยับยั้งการตอบสนองที่เกิดขึ้นอัตโนมัติ (Inhibition) การปรับเปลี่ยนความสนใจไปในการรับรู้ข้อมูลที่เปลี่ยนไปขณะทำกิจกรรมนั้น ๆ อยู่ (Shifting) และการรับข้อมูลใหม่อย่างต่อเนื่อง (Updating) (Yuan, Steedle, Shavelson, Alonzo, & Oppizzo, 2006)

องค์ประกอบทางด้าน โครงสร้างของความจำขณะคิดนั้น นักวิจัยส่วนใหญ่อาศัยแนวคิดตามโมเดลหลายองค์ประกอบของ Baddeley (Baddeley, et al., 2009) ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบได้แก่ องค์ประกอบด้านการจำเกี่ยวกับภาษา (Phonological loop) เกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูลด้านภาษา ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกเก็บไว้ชั่วคราว ข้อมูลที่เก็บไว้จะคงไว้ในความจำโดยผ่านกระบวนการพูดหรือการออกเสียง องค์ประกอบด้านการจำเกี่ยวกับภาพและมิติสัมพันธ์ (Visuospatial sketchpad) เกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูลที่เป็นภาพและมิติสัมพันธ์ในช่วงเวลาจำกัด มีความสำคัญในการสร้างและคงไว้ซึ่งภาพในสมอง และองค์ประกอบด้านการเชื่อมโยงและการบริหารจัดการข้อมูล (Central executive) เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญ มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงหรือการประสานการทำงานระหว่างเสียงและภาพที่จัดเก็บอยู่ในความจำขณะคิด นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการควบคุมให้สนใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่งที่กำลังทำอยู่และตัดสิ่งรบกวนออกจากความจำในขณะนั้น รวมถึงการดึงข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในความจำขณะคิดออกมา (Retrieval of information)

การวัดความสามารถของความจำขณะคิด (Measurement of working memory capacity)

แบบทดสอบที่วัดความสามารถของความจำขณะคิดมีทั้งแบบดั้งเดิมใช้กระดาษและดินสอ (แบบเขียนตอบ) และการทดสอบทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ แต่ละกิจกรรมที่ผู้ถูกทดสอบต้องทำนั้นจะเกี่ยวข้องกับความจำและ

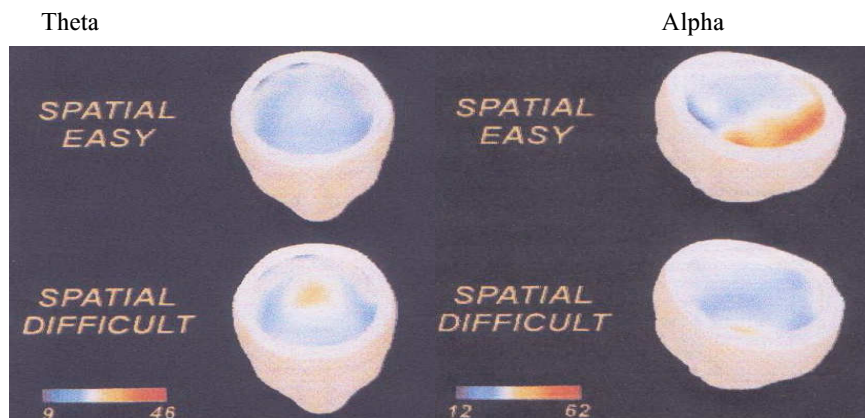
การเพิ่มความจำ นักวิจัยจะใช้กิจกรรมที่แตกต่างกันไปตามแนวคิดหรือโมเดลที่นำมาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาตามแนวคิดของ Baddeley ความจำขณะคิดประกอบด้วย การจัดเก็บข้อมูลและการเชื่อมโยงบริหารจัดการกับข้อมูล นิยมใช้กิจกรรมที่วัดความจำที่ซับซ้อน (Complex span task) วัดความสามารถในการจำ กิจกรรมที่ทดสอบนั้นจะเป็นสิ่งกระตุ้นที่ต่อเนื่องเป็นอนุกรมซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นตัวอักษร (Letter span task) คำ (Word span task) ตัวเลข (Digit span task) หรือ รูปทรงเรขาคณิต (Visuospatial span task) โดยให้ผู้ถูกทดสอบจำและเพิ่มความจำในสิ่งกระตุ้นที่ได้รับผ่านไปในรูปแบบที่เหมือนหรือต่างจากสิ่งกระตุ้น กิจกรรมการวัดความจำนี้ยังอาจแบ่งได้เป็นการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับภาษา และการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับภาพ นักวิจัยส่วนใหญ่ใช้กิจกรรมการวัดในลักษณะนี้ในการประเมินหน้าที่ของความจำขณะคิดในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลและการเพิ่มความจำเท่านั้น ไม่รวมไปถึงการประเมินในส่วนการเชื่อมโยงและการบริหารจัดการกับข้อมูล กิจกรรมที่แสดงถึงการประเมินความจำขณะคิดทั้ง 2 องค์ประกอบตามแนวคิดของ Baddeley นั้น นิยมใช้กิจกรรมที่ให้ผู้ถูกทดสอบทำไปพร้อม ๆ กัน 2 รูปแบบ (Dual task) เช่น กิจกรรมการอ่านพร้อมกับการจำ (Reading – span dual task) โดยให้ผู้ถูกทดสอบอ่านประโยคแล้วให้พิจารณาว่าประโยคนั้นมีความหมายถูกต้องหรือไม่และตอนท้ายของประโยคจะมีคำซึ่งไม่สัมพันธ์กับประโยคที่อ่าน ให้ผู้ถูกทดสอบจำคำไว้ แล้วอ่านประโยคต่อไป ทำเช่นนี้ไปประมาณ 2-6 ประโยค การที่ให้ผู้ถูกทดสอบจำคำท้ายประโยคของแต่ละประโยคไว้นั้น เป็นการวัดความจำขณะคิดในส่วนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการจำ ส่วนการอ่านประโยคแต่ละประโยคนั้นแล้วให้พิจารณาความถูกต้องของประโยค ต้องใช้การบริหารจัดการและควบคุมความสนใจไปที่ประโยคที่อ่านให้ถูกต้อง จึงเป็นการวัดทั้ง 2 องค์ประกอบ (Conway, Kane, & Engle, 2003)

จากการศึกษาโดยใช้เทคนิคการสร้างภาพแสดงให้เห็นว่า ขณะที่ทำกิจกรรมที่ต้องอาศัยความจำขณะคิด จะมีการทำงานของสมองบริเวณพรีฟรอนทัลและพาริเอทัลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การศึกษาโดยใช้การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองยังพบว่า องค์ประกอบของคลื่น ERP เปลี่ยนแปลงไปตามความยากง่าย (Working memory load) Gevins, Smith, McEvoy, and Yu (1997) ศึกษาตำแหน่งของสมองขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้ความจำขณะคิดแบบจดจำตัวอักษรและตำแหน่ง (Spatial task) ที่ปรากฏตัวอักษรบนพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า ผู้ถูกทดสอบต้องจดจำว่าตัวอักษรปรากฏที่มุมใดของสี่เหลี่ยมตรงกับที่ผ่านไปหรือไม่ ถ้าตรงกันก็กดปุ่มเข้ากันได้ (Match) กิจกรรมจะมีทั้งระดับง่ายและระดับยาก โดยขณะที่ผู้ถูกทดสอบทำกิจกรรมทางหน้าจอจะมีการวัด EEG ร่วมกับ MRI ผลการศึกษาพบว่า ความสูงของคลื่นรีตาที่ปรากฏบริเวณตรงกลางของสมองส่วนหน้า (Midline of frontal lobe) จะสูงขึ้นในข้อที่ยาก แต่ความสูงของคลื่นแอลฟาบริเวณตรงกลางของสมองส่วนพาริเอทัล (Parietocentral) ลดต่ำลงเมื่อเทียบกับข้อที่ง่าย (ภาพที่ 4)

ความสัมพันธ์ระหว่างเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวกับความจำขณะคิด

เชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวมีความสำคัญในชีวิตประจำวัน แต่ละคนจะมีระดับเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวแตกต่างกันไป ปัจจัยหนึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางปัญญาที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหวที่มีความแตกต่างกัน นักวิจัยจำนวนมากพยายามหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบพื้นฐานทางปัญญากับเชาว์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว มีการศึกษาทั้งทางด้านจิตวิทยาที่ศึกษาความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง และการศึกษาทาง

ประสาทวิทยาที่ศึกษาทางกายวิภาคเพื่อดูตำแหน่งและการทำงานของสมอง ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหลมีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงกับความจำขณะคิด และจากข้อค้นพบนี้นำไปสู่การศึกษาความสัมพันธ์ที่เป็นเหตุเป็นผลกันระหว่างชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหลกับความจำขณะคิด



ภาพที่ 4 ภาพจาก MRI แสดงตำแหน่งสมองที่ปรากฏคลื่นธิตา (ซ้าย) และคลื่นแอลฟา (ขวา) ขณะทำกิจกรรม ที่ใช้ความจำขณะคิด (Gevins et al., 1997)

ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง

การศึกษาหลายเรื่องแสดงให้เห็นว่า ความจำขณะคิดมีความสัมพันธ์กับชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล (Conway, Cowan, Bunting, Theriault, & Minkoff, 2002; Chang, 2004; Buehner, Krumm, & Pick, 2005) Conway และคณะใช้โมเดลสมการโครงสร้างศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความจำระยะสั้น ความจำขณะคิด และความเร็วในการส่งข้อมูลในสมองกับชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล โดยศึกษากับนักศึกษาที่จบปริญญาตรีไปแล้ว 1 ปี จำนวน 120 คน ใช้แบบทดสอบโทรเกรสซิฟแมทริชิส และแบบทดสอบชาวปัญญาวัฒนธรรมเสมอภาคของแคทเทิล วัดชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหลส่วนการวัดความจำและความเร็วในการส่งข้อมูลนั้น Conway และคณะได้ชี้ประเด็นไว้ว่าไม่มีเครื่องมือใดที่สามารถวัดในเรื่องนั้นได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ ในการวัดความจำระยะสั้นนั้นใช้การวัดความจำอย่างง่าย (Simple span task) ในขณะที่ความจำขณะคิดนั้นซับซ้อนกว่าความจำระยะสั้น เพราะประกอบด้วยความจำและการควบคุมความสนใจหรือการบริหารจัดการกับข้อมูลที่ได้รับเข้าอย่างต่อเนื่องในช่วงที่ทำกิจกรรมจึงได้ใช้การวัดความจำที่ซับซ้อน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการอ่าน ด้านการดำเนินการ และด้านการนับ ในการประเมินความจำขณะคิด แต่เนื่องจากการวัดความจำขณะคิด มีส่วนของความจำซึ่งเป็นส่วนของความจำระยะสั้นรวมอยู่ด้วย ดังนั้น จึงมีการวัดความจำระยะสั้นผ่านทางความจำขณะคิดด้วย ส่วนการวัดความเร็วในการส่งข้อมูลก็มีส่วนที่ต้องอาศัยความจำขณะคิดด้วย จึงเลือกการวัดความเร็วในการส่งข้อมูลในสมอง ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความจำขณะคิดให้น้อยที่สุด โดยวัดระยะเวลาในการเลือก (Choice reaction) และการจำแนกรูปทรง (Shape classification) ผลการวิเคราะห์หัตถิพล (Path analysis)

แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพล (Path coefficient) ของความจำระยะคิดต่อชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล มีค่าเท่ากับ .60 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลของความจำระยะสั้นและความเร็วในการส่งข้อมูลในสมองที่มีต่อชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหลมีค่าเท่ากับ .18 และ .07 ตามลำดับ ($\chi^2 = 61.40$, $p = .05$, CFI = .94, RMSEA = .07) ผลการวิจัยได้ข้อสรุปว่าความจำระยะคิดมีอิทธิพลต่อชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหลมากที่สุด

การศึกษาของ Fry and Hale (1996 อ้างถึงใน Chang, 2004) ที่ศึกษาในกลุ่มตัวอย่างอายุ 7-19 ปี โดยใช้กิจกรรมทดสอบความเร็วในการส่งข้อมูลในสมอง ความจำระยะคิด และชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหลทางคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์อิทธิพลของความเร็วในการส่งข้อมูลในสมอง และความจำระยะคิดที่มีต่อชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล พบว่า 1 ใน 3 ของผู้ถูกทดสอบมีการเพิ่มของชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหลผ่านการเพิ่มของความเร็วในการส่งข้อมูลในสมอง และความจำระยะคิด แต่ประมาณ 3 ใน 4 ของผู้ถูกทดสอบมีการเพิ่มของความจำระยะคิดผ่านการเพิ่มของความเร็วในการส่งข้อมูลในสมอง Fry and Hale จึงได้เสนอโมเดลลำดับขั้นการพัฒนาของชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล (Development cascade model) แต่จากการศึกษาของ Change (2004) เพื่อทดสอบโมเดลลำดับขั้นการพัฒนาชาวปัญญา ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการส่งข้อมูลในสมอง ความจำระยะคิดกับชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล โดยศึกษากับนักเรียนจำนวน 243 คน เพศหญิงและเพศชาย อายุระหว่าง 10-18 ปี วัดชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหลโดยใช้แบบทดสอบโปรแกรมศัพท์แมทริซิส และแบบทดสอบชาวปัญญาวัฒนธรรมเสมอภาคของแคเทเทล ส่วนกิจกรรมที่วัดความจำระยะคิด มี 2 กิจกรรม ได้แก่ ความจำด้านการคำนวณ และความจำด้านภาพและรูปทรงเรขาคณิต ซึ่งเป็นการวัดองค์ประกอบทั้งในด้านการจำและการบริหารจัดการกับข้อมูล ส่วนความเร็วในการส่งข้อมูลในสมองนั้นใช้ 3 กิจกรรม ได้แก่ การคัดลอกตัวเลข การเปรียบเทียบตัวอักษร และการเปรียบเทียบสัญลักษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โมเดลสมการโครงสร้างวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันและการวิเคราะห์การถดถอยลำดับขั้น ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความจำระยะคิดมีอิทธิพลต่อชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล มีค่าสัมประสิทธิ์การทำนายเท่ากับ 0.78 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนความเร็วในการส่งข้อมูลในสมองไม่มีอิทธิพลต่อชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล ค่าสัมประสิทธิ์การทำนายเท่ากับ 0.32 ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิจัยจึงไม่สอดคล้องกับโมเดลของ Fry and Hale ในแง่ของลำดับขั้นการพัฒนาของชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล แต่ผลการวิจัยนี้ยืนยันได้ว่าความสามารถในการจำระยะคิดมีอิทธิพลต่อชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหลมากกว่าความเร็วในการส่งข้อมูลในสมอง

Buehner, Krumm, and Pick (2005) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสนใจ ความจำระยะคิดกับชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล งานวิจัยนี้ใช้คำว่าความสามารถในการใช้เหตุผล (Reasoning ability) ในความหมายตรงกับชาวปัญญาเชิงเลื่อนไหล สำหรับโมเดลที่ใช้นั้นเป็นโมเดลหลายด้านของความจำระยะคิด (Multi faces of working memory) ที่เสนอโดย Oberauer เมื่อปี ค.ศ. 2000 ความจำระยะคิดประกอบด้วย การเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาใหม่ในช่วงเวลาที่ข้อมูลยังไม่ถูกนำออกมา (Storage in context of processing) การสร้างความสัมพันธ์และบูรณาการความสัมพันธ์ไปสู่โครงสร้าง (Coordination) และการเลือกสนใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง และจัดสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป (Supervision) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยจำนวน 135 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (75.8%) ช่วงอายุ 18 - 31 ปี วัดความสามารถในการใช้เหตุผลโดยใช้แบบทดสอบโครงสร้างชาวปัญญา (Intelligence Structure Test 2000-R) ซึ่งได้

มีการศึกษาแล้วว่าเป็นแบบทดสอบที่ตรงกับทฤษฎีการวัดและการใช้เหตุผล แบบทดสอบนี้ประกอบด้วย 9 แบบทดสอบย่อย เป็นการวัดเหตุผลทางด้านภาษา ตัวเลข และภาพ ส่วนการวัดความจำขณะคิดในส่วนขององค์ประกอบการเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาใหม่ในช่วงเวลาที่ข้อมูลยังไม่ถูกนำออกมา ใช้กิจกรรมที่วัด 2 รูปแบบไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งมีทั้ง คำ ตัวเลข และรูปทรงเรขาคณิตในตำแหน่งต่าง ๆ ส่วนองค์ประกอบการสร้างความสัมพันธ์ และบูรณาการความสัมพันธ์ไปสู่โครงสร้าง ใช้กิจกรรมทางปัญญา (Mental task) ทั้งแบบภาษาและรูปภาพ องค์ประกอบด้านการเลือกสนใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่งและจัดสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป ใช้กิจกรรมสลับปรับเปลี่ยน (Switch task) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันและวิเคราะห์การถดถอยพบว่า ความตั้งใจไม่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการใช้เหตุผล ขณะที่ความจำขณะคิดโดยเฉพาะด้านการเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาใหม่ในช่วงเวลาที่ข้อมูลยังไม่ถูกนำออกมา เป็นตัวทำนายความสามารถในการใช้เหตุผลที่ดีที่สุด

Kane, Hambrick, and Conway (2005) ได้ทำการสังเคราะห์งานวิจัยที่วัดโครงสร้างของความจำขณะคิด และเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลโดยใช้ตัวแปรแฝง ศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเด็กและวัยรุ่นอย่างน้อย 100 คน พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหล มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .72 แสดงให้เห็นว่าเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลกับความจำขณะคิดในด้านโครงสร้างมีความสัมพันธ์กันสูง นักวิจัยจำนวนมากตั้งข้อสังเกตว่า องค์ประกอบใดของความจำขณะคิดที่สามารถทำนายความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลได้ดีที่สุด ซึ่งก็มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษาองค์ประกอบของความจำขณะคิดที่มีอิทธิพลต่อเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหล (Colom, Rubio, Shih, & Santacreu, 2006; Tillman, Nyberg, & Bohlin, 2008 ; Colom, Abad, Quiroga, Shih, & Flores-Menzoda, 2008) แต่ผลการวิจัยยังไม่คงที่ ได้ข้อสรุปที่แตกต่างกัน

Colom, Rubio, Shih, and Santacreu (2006) ศึกษาองค์ประกอบของความจำขณะคิดที่เป็นตัวทำนายเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหล โดยศึกษากับนักศึกษาจำนวน 229 คน ประมาณ 2 ใน 3 เป็นเพศชาย อายุเฉลี่ย 28.2 ปี วัดเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลโดยใช้แบบทดสอบ TRASI ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่ออกแบบมาเพื่อวัดการใช้เหตุผลและการวิเคราะห์ ทุกข้อจะประกอบ ด้วยภาพ โดยให้ผู้ถูกทดสอบตีความแต่ละภาพ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างภาพที่กำหนดให้ แล้วนำความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้เป็นกฎเกณฑ์นำไปใช้กับภาพอื่น ๆ โดยเลือกภาพที่ถูกต้อง 1 ภาพจาก 4 ภาพ ส่วนองค์ประกอบด้านความจำของความจำขณะคิด ใช้กิจกรรม 2 รูปแบบไปพร้อม ๆ กัน กิจกรรมที่วัดองค์ประกอบด้านการบริหารจัดการกับข้อมูลที่รับเข้ามาอย่างต่อเนื่องขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมอง วัดโดยกิจกรรมหอคอยของฮานอย (Tower of Hanoi Task) ผู้ถูกทดสอบทำกิจกรรมเพื่อทดสอบทั้งหมดทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหล มีค่าเท่ากับ .20 ความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับองค์ประกอบด้านการบริหารจัดการกับข้อมูลที่รับเข้ามาอย่างต่อเนื่องขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมองมีค่าเท่ากับ -.20 และเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลกับองค์ประกอบด้านการบริหารจัดการกับข้อมูลที่รับเข้ามาอย่างต่อเนื่องขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมองมีค่าเท่ากับ -.33 ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์การถดถอยหาส่วนเหลือของความจำขณะคิดที่ไม่สามารถทำนายได้ด้วยองค์ประกอบด้านการบริหารจัดการกับข้อมูลที่รับเข้ามาอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมอง แล้วนำส่วนเหลือของความจำขณะคิดมาหาความสัมพันธ์กับเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหล พบว่าส่วนเหลือ

ความจำขณะคิด (ตัดส่วนองค์ประกอบด้านการบริหารจัดการกับข้อมูลที่ได้รับเข้ามาอย่างต่อเนื่องขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมองออก) มีความสัมพันธ์กับเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = .14, p < .05$) Colom และคณะ จึงสรุปว่าองค์ประกอบทั้งสองด้านมีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ให้ข้อสรุปในลักษณะเดียวกัน Tillman และคณะ (Tillman et al., 2008) ศึกษาองค์ประกอบของความจำขณะคิดที่มีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล ในเด็กอายุ 6 -13 ปี จำนวน 196 คน โดย 55 % เป็นเพศชาย องค์ประกอบด้านหน้าที่ตามแนวคิดของ Baddeley ประกอบด้วย ความจำชั่วคราวและการบริหารจัดการกับข้อมูล และโมเดลหลายองค์ประกอบของ Baddeley ด้านโครงสร้างประกอบด้วย ภาษาและการมองภาพมิติสัมพันธ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงวัดองค์ประกอบ 4 ด้าน ได้แก่ ความจำด้านภาษา ความจำภาพและมิติสัมพันธ์ การบริหารจัดการข้อมูลด้านภาษา และการบริหารจัดการข้อมูลด้านภาพและมิติสัมพันธ์ การวัดเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหลใช้แบบทดสอบโทรเกรสซิฟแมทริซของราเวน การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ส่วนเหลือของแต่ละองค์ประกอบความจำขณะคิด วัดองค์ประกอบด้านการบริหารจัดการกับข้อมูล และวิเคราะห์การถดถอยลำดับขั้น เพื่อศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบด้านความจำและการบริหารจัดการข้อมูลที่ได้รับเข้ามาอย่างต่อเนื่องขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมองที่มีผลต่อเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ความจำและการบริหารจัดการข้อมูลด้านภาษาและการมองภาพมิติสัมพันธ์ มีความสัมพันธ์กับเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล สรุปได้ว่าทั้ง 2 องค์ประกอบของความจำขณะคิด มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล

Colom, Abad, Quiroga, et al. (2008) ศึกษาองค์ประกอบของความจำขณะคิดที่ส่งผลต่อเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล ได้ข้อสรุปที่แตกต่างจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา งานวิจัยนี้ใช้แนวคิดองค์ประกอบด้านหน้าที่ของ Baddeley โดยในองค์ประกอบด้านความจำนั้นใช้การวัดความจำระยะสั้น ซึ่งเป็นการจำข้อมูลอย่างเดียวก ส่วนของการบริหารจัดการกับข้อมูลที่ได้รับเข้ามาใหม่อย่างต่อเนื่องขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมอง แบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบย่อยได้แก่ การยับยั้งการตอบสนองที่เกิดขึ้นอัตโนมัติ (Inhibition) การปรับเปลี่ยนความสนใจไปในการรับรู้ข้อมูลที่เปลี่ยนไปขณะทำกิจกรรมนั้น ๆ อยู่ (Shifting) และการรับข้อมูลใหม่อย่างต่อเนื่อง (Updating) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษามหาวิทยาลัย จำนวน 289 คน โดย 80 % เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 20.3 ปี วัดความจำระยะสั้นโดยใช้แบบทดสอบความจำอย่างง่าย วัดความจำขณะคิดโดยใช้แบบทดสอบความจำที่ซับซ้อน ส่วนการบริหารจัดการกับข้อมูลที่ได้รับเข้ามาอย่างต่อเนื่องขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้สมอง Colom และคณะใช้กิจกรรมพื้นความจำย้อนหลัง 2 ระดับ (2 - Back task) เพื่อประเมินองค์ประกอบย่อยด้านการรับข้อมูลใหม่อย่างต่อเนื่อง ส่วนองค์ประกอบย่อยด้านการยับยั้งการตอบสนองที่เกิดขึ้นอัตโนมัติและการปรับเปลี่ยนความสนใจไปในการรับรู้ข้อมูลที่เปลี่ยนไปขณะทำกิจกรรมนั้น ๆ อยู่ ใช้การวัดการควบคุมความสนใจ (Attention control) และเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล วัดโดยใช้แบบทดสอบโทรเกรสซิฟแมทริซของราเวน จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแต่ละองค์ประกอบย่อยของความจำขณะคิด พบว่าการควบคุมความสนใจไม่มีความสัมพันธ์กับความจำขณะคิด ดังนั้นจึงไม่นำองค์ประกอบย่อยการควบคุมความสนใจมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับเขาวัวปัญญาเชิงเลื่อนไหล ส่วนผลการวิเคราะห์

ความสัมพันธ์ระหว่างเซาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลกับความจำ ความจำขณะคิดและการรับข้อมูลใหม่อย่างต่อเนื่อง มีค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักรองค์ประกอบเท่ากับ .56, .69 และ .86 ตามลำดับ แต่เมื่อสกัดส่วนของความจำออกจากความจำขณะคิดและการรับข้อมูลใหม่อย่างต่อเนื่อง ค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักรองค์ประกอบระหว่าง เซาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลกับความจำขณะคิด การรับข้อมูลใหม่อย่างต่อเนื่อง และความจำมีค่าเท่ากับ .24, .40 และ .73 ตามลำดับ ผู้วิจัยจึงสรุปว่า องค์ประกอบย่อยด้านการจำหรือการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาจำค่านั้นเป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องอย่างมากกับความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับเซาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหล โดยที่การบริหารจัดการข้อมูลเกี่ยวข้องเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ข้อค้นพบที่ได้จากงานวิจัยการศึกษาความสัมพันธ์ทางโครงสร้างซึ่งใช้แบบวัดทางจิตวิทยาเป็นการวัดทางอ้อม ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาแตกต่างกันไปตามแนวคิด เครื่องมือที่วัดและสถิติที่ใช้วิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเซาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลและความจำขณะคิดมีความสัมพันธ์กันเชิงโครงสร้าง แม้ว่าจะยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดว่าองค์ประกอบด้านใดของความจำขณะคิดที่เป็นตัวทำนายเซาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลได้ดีที่สุด

ความสัมพันธ์ทางกายวิภาค

นักวิจัยที่ศึกษาทางด้านประสาทวิทยาได้นำเทคนิคที่ทันสมัยศึกษาดำแหน่งและการทำงานของสมองขณะที่สมองเกิดกระบวนการทางปัญญาต่าง ๆ งานวิจัยที่ศึกษาดำแหน่งของสมองที่มีการทำงานขณะทำกิจกรรมที่ใช้ความจำขณะคิด และกิจกรรมทางเซาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลได้แสดงให้เห็นว่า เปลือกสมองบริเวณพรีฟรอนทัล (Prefrontal cortex) และคอร์โซลเทอรัล พรีฟรอนทัล (Dorsolateral prefrontal cortex: DLPFC) มีบทบาทสำคัญต่อเซาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลและความจำขณะคิด (Duncan & Owen, 2000; Bunge, Klingberg, Jacobsen, & Gabriell, 2000; Osaka, Osaka, Kondo, Morishita, Fukuyama, & Shibasaki, 2004; Gray, Chabris, & Braver, 2003)

Duncan, and Owen (2000) ใช้เทคนิค PET scan ศึกษาตำแหน่งสมองขณะทำกิจกรรมที่ใช้เซาว์ปัญญาโดยแบ่งกิจกรรมที่ให้ทำเป็น 2 แบบ ได้แก่ กิจกรรมที่ต้องใช้ความสามารถทางเซาว์ปัญญาสูง ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้เหตุผลในการแก้ปัญหา มีทั้งแบบภาษาและมิติสัมพันธ์ กับกิจกรรมที่ใช้ความสามารถทางเซาว์ปัญญาดำ เป็นกิจกรรมที่แก้ปัญหาง่าย ๆ โดยให้ผู้ถูกทดสอบอยู่ในเครื่องตรวจสอบขณะที่ทำการทดสอบทางคอมพิวเตอร์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ขณะที่ทำกิจกรรมที่ต้องใช้ความสามารถทางเซาว์ปัญญาสูงจะมีการทำงานของสมองบริเวณพรีฟรอนทัลมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับทำกิจกรรมที่ใช้ความสามารถทางเซาว์ปัญญาดำ จากการศึกษาตำแหน่งของสมองขณะทำกิจกรรมที่ใช้ความจำขณะคิดของ Bunge และคณะ (Bunge, et al., 2000) ก็พบว่าสมองส่วนพรีฟรอนทัลและพาไรเอทัล มีการทำงานขณะทำกิจกรรมที่ใช้ความจำขณะคิด โดยทำการศึกษาองค์ประกอบด้านการบริหารจัดการกับข้อมูลที่รับเข้ามาอย่างต่อเนื่องตลอดที่ทำการกิจกรรมที่ใช้สมอง ศึกษาในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 8 คน เพศชาย 4 คนและเพศหญิง 4 คน อายุระหว่าง 18- 28 ปี โดยให้ผู้ถูกทดสอบทำกิจกรรม 3 กิจกรรมที่แตกต่างกัน ได้แก่ กิจกรรมการอ่าน กิจกรรมการจำ และกิจกรรมการอ่านพร้อมกับการจำ ใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ fMRI ตรวจสอบตำแหน่งของสมองขณะทำกิจกรรมแต่ละกิจกรรม ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 กิจกรรมกระตุ้นการทำงานของสมองส่วนต่าง ๆ ดังนี้ บริเวณพรีฟรอนทัลทาง

ด้านซ้าย (Left prefrontal) ตรงกลางของสมองส่วนขมับ (Middle temporal gyrus) และซิงกูเลตด้านหน้าทั้งสองข้างของสมอง (Bilateral anterior cingulate gyrus) กิจกรรมการอ่านพร้อมกับการจำกระตุ้นการทำงานของสมองส่วนพรีฟรอนทัลและพาไรเอทัลมากกว่ากิจกรรมการอ่านหรือกิจกรรมการจำอย่างเดียว เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Osaka, Osaka, Kondo, et al. (2004) ที่ให้ผู้ถูกทดสอบซึ่งมีอายุ 20-29 ปี จำนวน 20 คน ทำกิจกรรมที่ต้องใช้ความจำขณะคิด โดยผู้ถูกทดสอบทำแบบทดสอบการจำพร้อมกับการอ่านในขณะเดียวกันก็ใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยคลื่นแม่เหล็กแบบ fMRI ตรวจดูตำแหน่งสมองขณะที่ทำกิจกรรม แบ่งผู้ถูกทดสอบตามระดับที่ทำแบบทดสอบได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีคะแนนสูง (4-5 คะแนน) กับกลุ่มที่มีคะแนนต่ำ (2-3 คะแนน) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าบริเวณสมองส่วนพรีฟรอนทัลจะมีการทำงานมากในกลุ่มที่มีคะแนนการทดสอบความจำขณะคิดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีคะแนนต่ำ

Gray, Chabris, and Braver (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชาว์ปัญญาเชิงเลือนไหลกับความจำขณะคิด โดยศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ใหญ่จำนวน 8 คน ผู้ถูกทดสอบทำแบบทดสอบโพเกรสซีฟแมทริชซิสของราเวน เพื่อวัดระดับเชาว์ปัญญาเชิงเลือนไหลก่อน หลังจากนั้นใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยคลื่นแม่เหล็กแบบ fMRI วัดการทำงานของสมองขณะที่ทำกิจกรรมที่ใช้ความจำขณะคิด กิจกรรมที่ทำเป็นกิจกรรมฟื้นความจำย้อนหลัง (n-back) ผู้ถูกทดสอบต้องตรวจสอบว่าสิ่งที่เห็นในปัจจุบันตรงกับสิ่งกระตุ้นที่เห็นผ่านไปแล้ว การย้อนหลังมีตั้งแต่ 1 ถึง 3 ลำดับ ผลการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงการทำงานของสมองบริเวณ DLPFC กับระดับเชาว์ปัญญาเชิงเลือนไหล

จะเห็นได้ว่าการศึกษาโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์มาช่วยในการศึกษาทางปัญญานั้น จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาค่อนข้างน้อย เป็นด้วยข้อจำกัดในด้านค่าใช้จ่าย ดังนั้นผลการวิจัยอาจมีปัญหาด้านความสามารถในการอ้างอิงไปยังประชากรทั่วไป อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ศึกษาการทำงานของสมองพบว่าให้ผลในทำนองเดียวกัน

ความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล

จากพื้นฐานความสัมพันธ์ในเชิงโครงสร้างและกายวิภาค ประกอบกับความจำขณะคิดเป็นองค์ประกอบทางปัญญาพื้นฐานของเชาว์ปัญญาเชิงเลือนไหลที่สามารถพัฒนาได้ นักวิจัยหลายคนได้ศึกษาความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล ด้วยการเพิ่มความสามารถในการจำขณะคิดที่ส่งผลต่อการเพิ่มของเชาว์ปัญญาที่เลือนไหล (Jacaggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008) โดยศึกษากับนักศึกษาจำนวน 67 คน อายุเฉลี่ย 25.6 ปี ผู้วิจัยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มควบคุมซึ่งไม่ได้รับการฝึกอะไรเลย กับกลุ่มทดลองที่ได้รับการฝึกความจำขณะคิดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นชื่อว่า การฟื้นความจำย้อนหลังพร้อมกันทั้งคู่ (Dual n-back) กลุ่มทดลองได้รับการฝึกโดยฟังเสียงอ่านตัวอักษรจากหูฟัง แล้วให้ฟื้นความจำว่าตัวอักษรที่ได้ยินปัจจุบันตรงกับที่ได้ยินผ่านมาก่อนหรือไม่ ในขณะเดียวกันที่ได้ยินเสียงอ่านนั้นผู้ถูกทดลองก็ต้องพิจารณาภาพสี่เหลี่ยมที่ปรากฏในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตารางเมทริก 3x3 ที่ปรากฏทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ให้ผู้ถูกทดลองฟื้นความจำว่าตำแหน่งที่เห็นปัจจุบันตรงกับตำแหน่งที่ผ่านมาก่อนหรือไม่ การย้อนกลับไปที่ลำดับนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการตอบของผู้ถูกทดสอบ ถ้า

ตอบถูกจำนวนการย้อนก็จะเพิ่มทีละ 1 ลำดับ แต่ถ้าตอบผิดก็จะลดลงทีละ 1 ลำดับ กลุ่มทดลองจะได้รับการฝึกเหมือนกันทุกวัน วันละ 25 นาที เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 5 วันต่อสัปดาห์ รวม 5 สัปดาห์ ซึ่งในกลุ่มทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อยตามช่วงระยะเวลาการฝึก 4 ช่วง (8, 12, 17, และ 19 วัน) ทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมทำแบบทดสอบเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลก่อนและหลังการฝึกในแต่ละช่วง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลเพิ่มขึ้น 22% และการเพิ่มของคะแนนเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลนี้สัมพันธ์กับระยะเวลาการฝึก กลุ่มทดลองที่ฝึก 8 และ 12 วัน มีการเพิ่มของเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลเพียงเล็กน้อย ในขณะที่กลุ่มที่ฝึก 17 และ 19 วัน มีคะแนนเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลเพิ่มขึ้น 40 % จากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มความสามารถของความจำขณะคิดโดยการฝึกสมองอย่างต่อเนื่องมีผลต่อการเพิ่มระดับเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลได้ เนื่องจากเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลเป็นความสามารถในการแก้ปัญหาใหม่ ๆ โดยอาศัยการให้เหตุผลเชิงวิเคราะห์ (Analytic reasoning) เป็นพื้นฐาน ไม่ขึ้นกับประสบการณ์ที่ผ่านมา สมองบริเวณ Prefrontal cortex เป็นบริเวณที่เกี่ยวข้องกับความสามารถทางด้านนี้ และการศึกษาทางประสาทวิทยาที่แสดงให้เห็นว่า บริเวณ Prefrontal cortex นี้เกี่ยวข้องกับความจำขณะคิดเช่นกัน ผู้วิจัยใช้การฝึกความจำขณะคิดเพื่อเพิ่มความสามารถทางเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหล และแบบทดสอบเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลที่ใช้ในการทดสอบก็ไม่ใช่ในลักษณะเดียวกับโปรแกรมที่ใช้ฝึกความจำขณะคิด ผู้วิจัยจึงสรุปว่าการเพิ่มความจำขณะคิดสามารถส่งผ่าน (Transfer) ไปยังความสามารถทางเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลได้

สรุป

เชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลมีความสัมพันธ์กับความจำขณะคิด จากงานวิจัยที่ศึกษาทางจิตวิทยาทำให้ทราบว่าความสามารถทางปัญญาทั้งสองมีความสัมพันธ์กันสูง ถึงแม้จะมีข้อสรุปเกี่ยวกับองค์ประกอบของความจำขณะคิดที่ยังไม่แน่นอน ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการใช้เครื่องมือในการวัดความสามารถทางปัญญาที่แตกต่างกันไปในแต่ละงานวิจัย อย่างไรก็ตามการศึกษาโดยใช้เครื่องมือและเทคนิคที่ทันสมัยทางวิทยาศาสตร์ทำให้ทราบว่าทั้งเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลและความจำขณะคิดมีการกระตุ้นการทำงานของสมองบริเวณพรีฟรอนทัล และพาริเอทัล เหมือนกัน จึงเป็นพื้นฐานนำมาสู่การศึกษาการพัฒนาเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลด้วยการเพิ่มความสามารถในการจำขณะคิด ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลสามารถเพิ่มขึ้นได้ แม้ว่าจะยังไม่สามารถอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงหรือเหตุผลที่การฝึกสมองเพื่อเพิ่มความสามารถในการจำขณะคิดนั้นส่งผลต่อการเพิ่มระดับเชาว์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลได้อย่างไร แต่ด้วยเทคนิควิธีการศึกษาสมองด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงในขณะนี้อาจนำมาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการฝึกสมองและทำให้สามารถอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในสมองได้

เอกสารอ้างอิง

- Baddeley, A., Eysenck, M. W., & Anderson, M., (2009). *Working memory*. In Edition, Memory, New York: Psychology press.
- Buehner, M., Krumm, S., & Pick, M. (2005). *Reasoning = working memory $\neq$ attention*. *Intelligence*, 33, 251-272.
- Bunge, S. A., Klingberg, T., Jacobsen, R. B., & Gabriell, J. D. E. (2000). A resource model of the neural basis of executive working memory . Proceeding of the National Academic of Sciences of the United States of America, 97(7), 3573-3578.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities, their structure, growth, and action*. Boston: Houghton Mifflin.
- Chang, L. (2004). The development of fluid intelligence: Evidence for the role of working memory but not processing speed. *Acta Psychologia Sinica*, 36(4), 464-475.
- Colom, R. A., F. J., Quiroga, Ma.A., Shih, P.C., & Flores-Menzoda, C. (2008). Working memory and intelligence are highly related constructs, but why ?. *Intelligence*, 36, 584-606.
- Colom, R., Rubio, V. J., Shih, P. C., & Santacreu, J. (2006). Fluid intelligence, working memory and executive functioning, *Psicothema*, 18(4), 816-821.
- Conway, A.R., Cowan, N., Bunting, M. F., Therriault, D. J., & Minkoff, S.R.B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, 163-183.
- Conway, A. R., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in cognitive Science*, 7 (12), 547-552.
- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Hodlmoser, K., Sauseng, P., & Gruber, W. (2005). Intelligence related upper alpha desynchronization in a semantic memory task. *Brain Res. Bull*, 66, 171-177.
- Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*, 23, 475-483.
- Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L., & Yu, D.,(1997), High resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: Effect of task difficulty, type of processing and practice. *Cerebral Cortex*, 7, 374-385.
- Gray, J.R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nat Neurosci*, 6, 316-322.

- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceeding of the National Academic of Sciences of the United States of America*, 105, 1-5.
- Jung, R. E., & Haier, R. J. (2007). The parieto- frontal integration theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence. *Behavioral and Brain Science* (in press).
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., & Conway, A. R. (2005). Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: Comment on Ackerman, Beier and Boyle. *Psychological Bulletin*, 131(1), 66-71.
- Liu, T., Shi, J., Zhao, D., & Yang, J. (2008). The relationship between EEG band power, cognitive processing and intelligence in school-age children. *Psychology Science Quarterly*, 50(2), 259-268.
- McArdle, J. J., Ferrer –Caja, F., Hamagami, F., & Woodcock, R. W. (2002). Comparative longitudinal structural analysis of growth and decline of multiple intellectual abilities over the lifespan. *Dev. Psychol.* 38, 113-142.
- Neubauer, A. C., Grabner, R. H., Freudenthaler, H., & Beckmann, J. F. (2004). Intelligence and individual differences in becoming neurally efficient. *Acta psychologia*, 116, 55-74.
- Osaka, N., Osaka, M., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2004). The neural basis of executive function in working memory: an fMRI study based on individual differences. *NeuroImage* 21, 623-631.
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, H. H. (2000). *Raven manual: Section 3. Standard Progressive Matrices*. Oxford: Oxford Psychologists Press Ltd
- Schweizer, K. (2005). An overview of research into the cognitive basis of intelligence. *Individual difference*, 26 (1), 43-51.
- Tillman, C. M., Nyberg, L., & Bohlin, G. (2008). Working memory components and intelligence in children. *Intelligence*, 36, 394-402.
- Yuan, K., Steedle, J., Shavelson, R., Alonzo, A., & Oppezzo, M. (2006). Working memory, fluid intelligence, and science learning. *Education Research Review*, 83-98.