5. ความจำขณะทำงาน (Working Memory)

5.1 ความหมาย และความสำคัญของความจำขณะทำงาน

Nelson Cowan (2010) สรุปว่า ศัพท์ คำว่า “Working Memory” ถูกสร้างขึ้นโดย Miller, Galanter, and Pribram เมื่อปี 1960 และได้รับการนำไปประยุกต์ใช้โดย Baddeley and Hitch ในปี 1974 ความจำขณะทำงาน หรือ Working memory เป็น ความสามารถในการเก็บข้อมูลไว้ในใจเป็นระยะเวลาสั้น ๆ เพื่อมุ่งเน้นที่การทำภาระงาน และจดจำในใจว่าจะต้องทำอะไรต่อไป โดยการฝึกฝนความจำขณะทำงาน เราจะมีความสามารถมากขึ้นในการมุ่งเน้นที่ภาระงาน หลีกเลี่ยงสิ่งที่จะทำให้ไขว้เขว วางแผนงานขั้นตอนถัดไป จดจำคำสั่ง และเริ่มการทำงานและปฏิบัติภาระงานได้เสร็จสิ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง ความจำขณะทำงาน หมายถึงความจำซึ่งใช้ในการดึงข้อมูลมาใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ ในขณะที่กำลังทำงาน (Sweatt , 2010) เป็นระบบการจัดเก็บข้อมูลชั่วขณะ การจัดการกับข้อมูล และ นำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในกระบวนการทางพุทธิปัญญา (Cognitive process) ที่มีความซับซ้อนเพื่อสร้างความเข้าใจและให้เหตุผลในการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วย การเลือกรับข้อมูล การนำข้อมูลเข้า การเข้ารหัสข้อมูล การจัดเก็บข้อมูลและการดึงข้อมูลออกมาใช้ (Webster’s New World^{Tm} Medical Dictionary 3rd Edition , 2008) กล่าวได้ว่า เป็นความสามารถในการประมวลผลข้อมูลแบบออนไลน์หรือความสามารถในการคิดในใจหรือเป็นกระบวนการตัดสินใจในทันทีทันใด

เว็บไซท์ www.cognitiveatlas.org ซึ่งจัดทำคำศัพท์ต่างๆ เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญาไว้ (retrieved April 10th, 2009, from http://www.cognitiveatlas.org/) ให้ความหมายของคำศัพท์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับความจำขณะทำงานไว้ดังนี้

ความจำขณะทำงาน เป็นส่วนหนึ่งของ ความจำ(memory)

ความจำ เป็น ความสามารถของสิ่งมีชีวิตในการระลึกถึงบางอย่างได้ หรือเป็นความสามารถของสิ่งมีชีวิตในการใช้เหตุการณ์ที่ผ่านมาในการทำให้ตนกระทำ สิ่งต่างๆในขณะปัจจุบัน

ความจำขณะทำงาน เป็น การธำรงรักษา และทำให้ข้อมูลข่าวสารข้อสนเทศที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายหรือภาระงาน มีความทันสมัย (update) ในรูปแบบที่สามารถต้านทานการแทรกแซงอื่นได้ แต่ความจำลักษณะนี้มีความจุจำกัด

การทำงานของความจำขณะทำงาน ประกอบด้วย การค้นคืนความจำขณะทำงาน (working memory retrieval) การกักเก็บความจำขณะทำงาน (working

memory storage) การปฏิบัติการรักษาให้คงอยู่ (active maintenance) การจัดการการแทรกแซง (interference resolution) และการทำให้ข้อมูลทันสมัย(updating)

การค้นคืนความจำขณะทำงาน เป็น กระบวนการของการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารซึ่งถูกเก็บรักษาไว้ในความจำขณะทำงาน เป็นกระบวนการย่อยซึ่งเข้าถึงเนื้อหาสาระของความจำขณะทำงาน

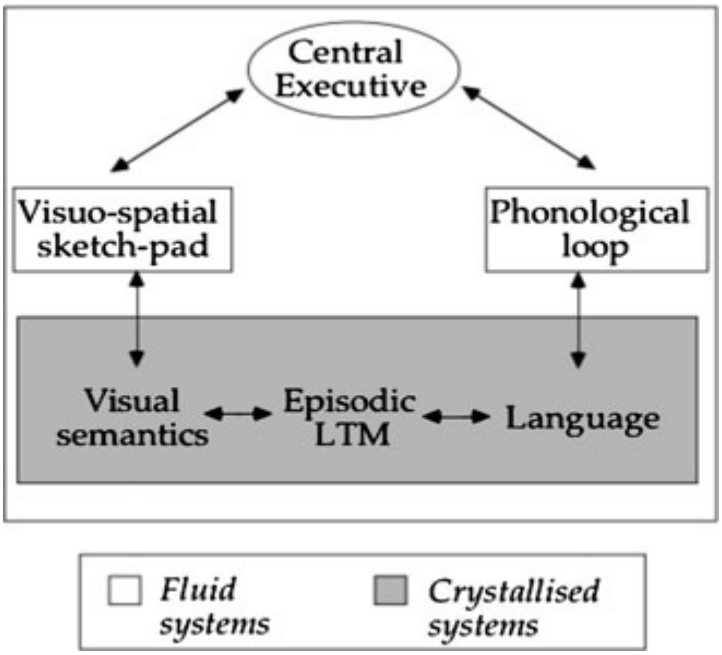
การกักเก็บความจำขณะทำงาน เป็น การธำรงรักษาข้อมูลข่าวสารของความจำที่ทำงาน เป็นองค์ประกอบย่อยของความจำขณะทำงานซึ่งยอมให้เนื้อหาสาระของความจำขณะทำงานถูกสงวนไว้

การปฏิบัติการรักษาให้คงอยู่ เป็น การรักษาข้อมูลข่าวสารของความจำขณะทำงานผ่านแนวทางเชิงรุกหรือการกระทำ(อย่างตั้งใจ)มากกว่าใช้แนวทางเชิงรับ

การจัดการการแทรกแซง เป็น กระบวนการของการเลือกข้อมูลข่าวสารโดยเคารพต่อความสัมพันธ์กับภาระงานที่กำลังดำเนินการอยู่

การทำให้ข้อมูลทันสมัย เป็น การปรับปรุงแก้ไขข้อมูลข่าวสารที่ถูกรักษาไว้ในความจำขณะทำงาน

นักวิชาการที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นผู้ริเริ่มในเรื่องของความจำขณะทำงาน คือ Baddeley ซึ่งเสนอว่าความจำขณะทำงานประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นวงจรเกี่ยวกับเสียงและการได้ยิน(Phonological Loop) , ส่วนที่เกี่ยวกับการมองเห็นภาพและตำแหน่งหรือปริภูมิ(Visuospatial sketchpad) , ส่วนที่เกี่ยวกับการเรียกข้อมูลจากความจำระยะยาว (Episodic Buffer) และส่วนประมวลผลกลาง(Central Executive) (Baddeley ,2010; Sweatt, 2010; Scott, 2006) ดังภาพ 2.21



ภาพ 2.21 โมเดลความจำขณะทำงาน (Baddeley, 2012)

Scott(2006) อธิบายว่า

ส่วนที่เป็นวงจรเกี่ยวกับเสียงและการได้ยิน(Phonological Loop) เป็น ความจำระยะสั้นที่เกี่ยวกับคำพูด (Verbal short – term memory) เป็นการเก็บข้อมูลในระยะสั้นๆ เกี่ยวกับคำ เกิดจากการใช้กระบวนการประมวลข้อมูลทางภาษา(Language Processing) การฝึกซ้ำ (Rehearsal) การแก้ปัญหาเกี่ยวกับคำ (Verbal problem solving) เลขคณิต (Arithmetic) การวัดความจำระยะสั้นเกี่ยวกับคำ สามารถวัดได้โดยการประเมินจากความสามารถในการจำตัวเลข (Digit Span) หรือคำศัพท์ (Verbal Span) และการเพิ่มภาระงาน ผสมผสานระหว่างการจำคำและทำโจทย์ปัญหาเลขคณิต

ส่วนที่เกี่ยวกับการมองเห็นภาพและตำแหน่งหรือปริภูมิ(Visuospatial sketchpad) เป็นความจำด้านการมองเห็นภาพ (Visual images) ทดสอบได้โดยให้เล่าเรื่องเกี่ยวกับภาพที่มองเห็น และการบอกตำแหน่งของวัตถุ (Visuospatial) โดยการทดสอบ spatial span test ซึ่งใช้ทดสอบการจำตำแหน่งของวัตถุโดยให้ผู้ตอบตัดสินถึงความสอดคล้องและรูปแบบที่มีอยู่ของวัตถุ มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการมองเห็นภาพและตำแหน่งของวัตถุในความจำระยะสั้น Nelson et al.. (2006) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนา Visuospatial Working memory คือ Phonological encoding โดยศึกษานักเรียนอายุ 8 ปี โดยใช้กลยุทธ์ทางด้านภาษาในขณะที่นักเรียนทำภาระงานเกี่ยวกับการมองเห็น (Visual memory tasks) เช่นการจำวัตถุ สิ่งของต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของ Visuospatial Working memory อาจไม่มีความสมบูรณ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากปัจจัยอื่นเช่น การเปลี่ยนแปลง

ฐานความรู้ของผู้เรียน(Changes Knowledge base) , การเปลี่ยนแปลงยุทธวิธี (Changes in strategy) การเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับความเร็วในการประมวลข้อมูล (Changes in Processing speed) และการเปลี่ยนแปลงในสมาธิหรือความตั้งใจ (changes in attention focus)

ส่วนที่เกี่ยวกับการเรียกข้อมูลจากความจำระยะยาว (Episodic Buffer) เป็นระบบที่เกิดจากการเรียกกลับคืนข้อมูลจากความจำระยะยาว มาใช้ในความจำระยะสั้น ตัวอย่างเช่นในการเรียนเกี่ยวกับคำหรือเลขคณิต นักเรียนจะต้องดึงข้อมูลที่มีอยู่ในความจำระยะยาวมาใช้

ส่วนประมวลผลกลาง(Central Executive) เป็นระบบที่มีการประสานและบูรณาการทั้ง 3 ส่วนเข้าด้วยกัน การทำงานทั้งหมดอาศัย การประมวลผลกลาง ซึ่งเป็นกระบวนการเชิงความคิดหลักของความจำขณะทำงานซึ่งยอมให้ข้อมูลข่าวสารที่เก็บไว้ในความจำระยะสั้น สามารถถูกจัดกระทำได้ทันที(ตัวอย่างเช่นการคิดเลขคณิตในใจ) ศัพท์คำว่า 'central executive' นี้ใช้เป็นครั้งแรกโดยนักจิตวิทยา Alan Baddeley ในตัวแบบของความจำขณะทำงาน (Model of Working Memory)

Ellis and Nathan (2001) สรุปว่า ความจำขณะทำงานเป็นความสามารถในการระลึกได้หรือรักษาหรือคงข้อสนเทศไว้ชั่วขณะหนึ่งเพื่อดำเนินการประมวลผลต่อไป โดยอธิบายว่า Baddeley ได้เสนอในปี 1992 ว่า กระบวนการนี้มี 2 องค์ประกอบ ได้แก่ การกักเก็บระยะสั้น (short term storage) (โดยทั่วไปเป็นวินาที) และ กระบวนการดำเนินการกับสิ่งที่กักเก็บนั้น (executive processes) ความจำขณะทำงานถูกส่งไปโดยระบบประสาทที่กระจายไปทั่วในสมองมนุษย์ การศึกษาภาพการทำงานของสมองของมนุษย์ บ่งชี้ว่า บริเวณคอร์ทิคอล (cortical) มีส่วนในความจำขณะทำงานทั้งแบบมิติปริภูมิ(spatial) และแบบที่ไม่ใช่มิติปริภูมิ (non - spatial) ได้แก่บริเวณ occipital, temporal, parietal และบริเวณ prefrontal cortical การศึกษาภาพการทำงานของสมองยังชี้ว่า บริเวณเหล่านี้อาจมีส่วนในขั้นตอนที่แตกต่างกันของความจำขณะทำงาน เช่น occipitotemporal cortex มีส่วนในกระบวนการรับรู้ และ prefrontal cortex (PFC) มีส่วนในการรักษาตัวแทนการนำเสนอเชิงรุก (active representation) ตลอดช่วงเวลาที่หน่วงไป(delayed period) เป็นต้น

5.2 พัฒนาการของการศึกษาเรื่องความจำขณะทำงาน

Dehn (2008) อธิบายว่า จุดกำเนิดของแนวคิดเรื่องความจำขณะทำงานสามารถสืบสาวไปไกลได้ถึงต้นยุคของจิตวิทยาสมัยใหม่ กล่าวคือ ในปี 1960 นักปรัชญา John Locke ได้จำแนกคำระหว่าง contemplation กับ memory โดยเสนอว่า contemplation เป็น การนำความคิดเข้าไปในจิต (bringing an idea to mind) ต่อมา William James (1890) ซึ่งน่าจะ

เป็นนักจิตวิทยาชาวอเมริกันคนแรกที่นำเสนอว่าความจำมี 2 ประเภท ที่เขาเรียกว่า ประเภทปฐมภูมิ (primary) และทุติยภูมิ (secondary) James นิยาม ความจำปฐมภูมิว่าเป็นร่องรอยที่แสดงชายขอบของความมีสติในปัจจุบัน(the trailing edge of the conscious present) และนิยาม ความจำทุติยภูมิ ว่าเป็นข้อสนเทศจำนวนมหาศาลที่ถูกเก็บรักษาไว้ตลอดชีวิต(the vast amount of information stored for a lifetime) นักจิตวิทยาปัจจุบันบางคนมองความจำขณะทำงานว่าเป็นความจำปฐมภูมิ และ ความจำระยะยาว(long term memory) คือ ความจำทุติยภูมิ ศัพท์คำว่า ความจำระยะสั้น และความจำระยะยาว(short – and long term memory) อาจมาจาก Thorndike เมื่อประมาณปี 1910 อย่างไรก็ตามในช่วงครึ่งแรกของศตวรรษที่ 20 ความจำถูกมองว่าเป็นตัวแปรทฤษฎีหรือตัวแปรโครงสร้างตัวแปรเดียว(a unified construct) จนปี 1950 นักจิตวิทยาส่วนใหญ่เริ่มตระหนักว่าจำเป็นต้องมีกระบวนการความจำพิเศษบางอย่างที่รับผิดชอบการระลึกถึงข้อสนเทศในช่วงสั้นๆ ในปี 1949 Hebb เสนอว่า สมองถูกแบ่งเป็นระบบการเก็บข้อมูลที่แยกจากกัน ส่วนหนึ่งเป็นความจำชั่วคราว และอีกส่วนหนึ่งเป็นความจำถาวร การแบ่งความจำของ Hebb มีกรณีศึกษาสนับสนุนจากผู้ที่ได้รับบาดเจ็บที่สมอง ที่บางคนมีความสามารถในการระลึกในช่วงเวลาสั้นๆ ได้เหมือนคนปกติ ในขณะที่มีปัญหาเกี่ยวกับความจำระยะยาว ในขณะที่ผู้ป่วยบางคนแสดงภาวการณ์กลับกัน การเริ่มต้นของทฤษฎีประมวลผลข้อมูลช่วงกลางศตวรรษ จุดประกายการสืบค้นอย่างมากมายในเรื่องของความจำขณะทำงาน และตัวแบบหรือโมเดลความจำขณะทำงานหลายโมเดลก็อุบัติขึ้น ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี พร้อมๆกับความสนใจเรื่องจิตวิทยาประสาทวิทยา และ ประสาทวิทยาศาสตร์ ทำให้มีงานวิจัยด้านความจำขณะทำงานที่อิงความรู้เรื่องสมอง(brain-based working memory research) อย่างมากมาตลอดระยะเวลา 15 ปีที่ผ่านมา ข้อเท็จจริงก็คือ มีบทความวิจัยเรื่องความจำขณะทำงานตีพิมพ์ในปี 2006 และ 2007 ปีละมากกว่า 200 บทความ

การสืบค้นเชิงประจักษ์ในเรื่องของความจำขณะทำงานที่ไม่ได้ลดน้อยลงเลย ได้รับอิทธิพลจากทฤษฎีของความจำขณะทำงานที่วิวัฒน์ไปและการโต้แย้งของตัวแบบหรือโมเดลร่วมสมัยหลายโมเดล เริ่มจากการมีฉันทามติว่า ความจำขณะทำงาน หรือความจำระยะสั้นที่เรียกกันตั้งแต่สมัยก่อนจนถึงยุค 1960 มีความจุจำกัด แนวคิดที่แพร่หลายเรื่องความจำกัดของความจำขณะทำงานมาจากบทความของ Miller (1956) ชื่อ The Magical Number Seven, Plus or Minus Two ซึ่งเสนอว่า บุคคลสามารถคงกลุ่มข้อสนเทศไว้ในความจำระยะสั้นได้เพียง 7 กลุ่มเท่านั้น เรื่องความจำกัดของความจำขณะทำงานเป็นประเด็นที่สนใจกันมานับแต่นั้น ความพยายามในการวัดและระบุความจุที่

แตกต่างกันกลายเป็นจุดศูนย์กลางของงานวิจัยด้านความจำขณะทำงาน ความจริงแล้ว ทฤษฎีความจำขณะทำงานหลายทฤษฎีที่เสนอในทศวรรษที่ 1960, 1970,1980, และ 1990 มีความแตกต่างกันหลักๆในเรื่องว่ามองความจุของ ความจำขณะทำงาน อย่างไร

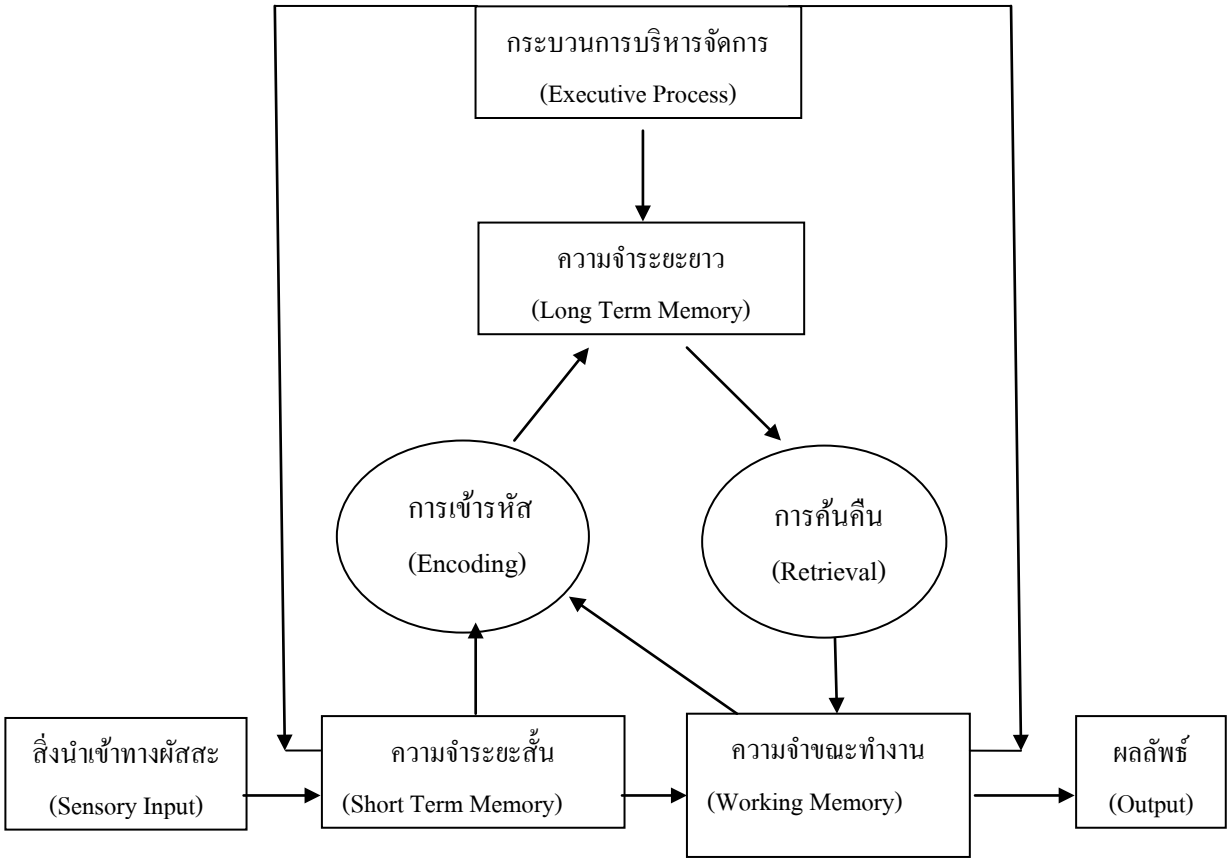
แม้ว่าจะมีเสน่ห์ของตัวแปรเชิงทฤษฎีของความจำขณะทำงาน แต่นักจิตวิทยาพุทธิปัญญาบางคนไม่เห็นความจำเป็นในการแบ่งความจำออกเป็นส่วนๆ พวกเขายังคงพัฒนาทฤษฎีของความจำที่เป็นหนึ่งเดียว(unified memory) ที่มีระบบเก็บหนึ่งระบบ และตัวประมวลผลหนึ่งตัวที่ทำหน้าที่ทั้งระยะสั้นและระยะยาว(Broadbent, 1971) ข้อสนับสนุนของ unified theory ยังคงอยู่(ดูการทบทวนวรรณกรรมจาก Cowan, 2005) แม้มีหลักฐานเชิงทดลองและเชิงจิตวิทยาประสาทวิทยาศาสตร์ที่น่าสนใจ ที่ควรทำให้มีการอภิปรายโต้แย้งมานานแล้ว เพื่อตอบสนองข้อกล่าวอ้างของพวกเขา ค่อนข้างมีการทำให้มั่นใจจากหลักฐานทางจิตวิทยาประสาทวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับความจำประเภทใหญ่ๆ 2 ประเภท

ความก้าวหน้าของจิตวิทยาพุทธิปัญญา จิตวิทยาการศึกษา จิตวิทยาประสาทวิทยาศาสตร์ และอื่นๆที่เกี่ยวข้องนำไปสู่การทวีจำนวนทฤษฎีและตัวแบบของความจำขณะทำงานอย่างมากมายในช่วงครึ่งศตวรรษที่ผ่านมา นักจิตวิทยาพุทธิปัญญาเชิงทดลองนำเสนอตัวแบบหรือโมเดลการประมวลผลของความจำขณะทำงานโมเดลแรก หลังจากนั้น นักจิตวิทยาการศึกษาตรวจสอบบทบาทของความจำขณะทำงานในการเรียนรู้วิชาการปัจจุบัน นักจิตวิทยาประสาทวิทยาศาสตร์ดูเหมือนจะอยู่แนวหน้า เนื่องจากประยุกต์โมเดลความจำขณะทำงานเข้ากับเรื่องความบกพร่องในการทำหน้าที่ของสมองหลายๆเรื่อง เมื่องานวิจัยดำเนินต่อไป โมเดลความจำขณะทำงานเริ่มยากที่จะเข้าใจ มีการแบ่งความจำขณะทำงานเป็นหลายๆองค์ประกอบและหลายกระบวนการ มีความพยายามที่จะประยุกต์งานวิจัยเชิงทดลองในห้องทดลองและงานวิจัยทางประสาทวิทยาศาสตร์เข้ากับโลกของศึกษาศาสตร์ (Berninger & Richards, 2002; Swanson & Berninger, 1995, 1996)

โมเดลประมวลผลข้อสนเทศ(Information Processing Model)

ในยุค 1960 โมเดลเชิงพุทธิปัญญาของการประมวลผลความคิดของมนุษย์ที่รู้จักกันในชื่อ Information Processing Model ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง โดยใช้การเปรียบเทียบกับการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ โมเดลนี้อธิบายการไหลและการประมวลผลของข้อสนเทศจากสิ่งนำเข้าทางผัสสะ(sensory input) ไปยังที่เก็บ และการตอบสนองเชิงพฤติกรรม (ดูภาพ 2.22) ตามโมเดลนี้ ระบบประมวลผลทางพุทธิปัญญาประกอบด้วยชุดของระบบย่อยหลายระบบย่อยในการประมวลผลข้อสนเทศที่แยกจากกันแต่มีการเชื่อมต่อสัมพันธ์กัน โดยมีองค์ประกอบด้านความจำเป็นแกนของระบบ(Gagne,

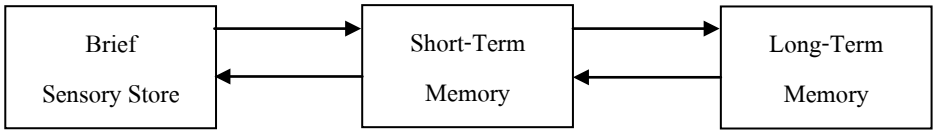
Yekovich, & Yekovich, 1993) การประมวลผลประเภทหลักๆในโมเดลประกอบด้วย การเลือกรับรู้(selective perception), การเข้ารหัส(encoding), การเก็บ(storage), การค้นคืน (retrieval), โครงสร้างการตอบสนอง(response organization), และการควบคุมระบบ (system control) โมเดลเริ่มต้นถูกวิพากษ์ว่านิ่ง(static)มากเกินไปและไม่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ทางวิชาการ แนวคิดปัจจุบันของโมเดลเน้นที่การประมวลผลแบบคู่ขนานและเครือข่ายเซลประสาท ที่สอดคล้องกับความเข้าใจของเราเรื่องการทำหน้าที่ของสมอง จากจุดเริ่มต้นของมัน โมเดลการประมวลผลข้อสนเทศได้ระบุว่าความจำขณะทำงานเป็นองค์ประกอบสำคัญของการประมวลผลข้อสนเทศ ผู้ที่อภิปรายและใช้แนวคิดของความจำขณะทำงาน, ใช้ความจำขณะทำงานในการประเมิน และจัดกระทำ จำต้องตระหนักว่าความจำขณะทำงานเป็นส่วนของวิธีการประมวลผลทางพุทธิปัญญาที่อธิบายการทำหน้าที่ทางความคิด



ภาพ 2.22 ตัวอย่างของโมเดลประมวลผลข้อสนเทศ (Denh, 2008:12)

โมเดล Atkinson-Shiffrin (The Atkinson-Shiffrin Model)

ในจำนวนโมเดลความจำจำนวนมากในช่วงทศวรรษ 1960 และ 1970 Dehn (2008) สรุปว่า โมเดล Atkinson-Shiffrin (Atkinson&Shiffrin, 1968) เป็นโมเดลที่ “ได้รับการยอมรับสูงสุดและอยู่ยืนยงมาถึงทุกวันนี้” (Dehn, 2008 : 12) โมเดล Atkinson-Shiffrin (ดูภาพ 2.23) เป็นส่วนขยายของโมเดลประมวลผลข้อมูลตั้งเดิมที่นำเสนอครั้งแรกโดย Broadbent (1958). Atkinson และShiffrin แบ่งความจำเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆตามการกักเก็บ ได้แก่ 1)ที่เก็บข้อสนเทศจากผัสสะด้านนอก(peripheral sensory stores) หรือตัวกันชน(buffers)ที่แต่ละbuffer รับข้อสนเทศจากประสาทสัมผัสแต่ละอย่าง 2) ที่เก็บความจำระยะสั้น(short-term store) ที่ได้ข้อสนเทศมาจาก sensory buffer stores และ 3) ที่เก็บความจำระยะยาว(long-term store)ที่แลกเปลี่ยนข้อสนเทศทั้งที่เข้ามาและออกไป กับ ที่เก็บความจำระยะสั้น (Hulme & Mackenzie, 1992) มีการสมมติเครื่องมือตัวกรองบางประเภทเพื่อยอมให้เฉพาะเพียงข้อสนเทศจำนวนไม่จำกัดที่แน่นอนจำนวนหนึ่งใน passive sensory store (อยู่ที่นั่นเป็นช่วงเวลาสั้นๆ) เพื่อส่งผ่านไปยัง short-term store ซึ่งเก็บข้อสนเทศจำนวนจำกัด หลังจากระยะเวลาสั้นๆ ข้อสนเทศถูกประมวลผลจากที่เก็บความจำระยะสั้นชั่วคราวไปยังความจำระยะยาวที่มีช่วงเวลายาวนานกว่า Atkinson และ Shiffrin มองความจำระยะสั้นเป็นเหมือนพื้นที่ทำงานสำหรับการเรียนรู้ระยะยาว ถือว่าเป็นคนแรกที่แนะนำเรื่องของ กระบวนการควบคุม(control processes) ในความจำ แนะนำว่ากระบวนการควบคุมเหล่านี้แบ่งความจุอย่างยืดหยุ่นระหว่างการทำหน้าที่กักเก็บกับการทำหน้าที่ประมวลผล



ภาพ 2.23 Atkinson-Shiffrin (1968) modal memory model (Dehn, 2008: 13)

องค์ประกอบแรกของ โมเดลประมวลผลข้อสนเทศความจำของ Atkinson-Shiffrin คือ ความจำผัสสะหรือที่เก็บผัสสะ(sensory memory or storage)ที่รู้จักกันในชื่อของ immediate memory หรือ sensory register ความจำประเภทนี้เกี่ยวพันอย่างใกล้ชิดกับกระบวนการรับรู้ทางการมองเห็นและการได้ยิน การคงความจำช่วงเวลาสั้นๆของข้อสนเทศทางภาพหมายถึง iconic memory ในขณะที่ การคงความจำช่วงเวลาสั้นๆของข้อสนเทศทางเสียงหมายถึง echonic memory (Torgesen, 1996) การกักเก็บความจำ 2 ประเภทหลังนี้เกิดในหน่วยมิลลิวินาที เพียงแค่พอสร้างร่องรอยหรือกระตุ้นรหัสตัวแทน

บางรูปแบบจากความจำระยะยาวเพื่อประมวลผลในความจำระยะสั้นต่อไป เนื้อหาของความจำผัสสะ ได้รับจากสิ่งเร้าภายนอกเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม เนื้อหาของความจำระยะสั้นอาจได้จากภายนอกหรืออาจดัดแปลงจากกระบวนการเริ่มต้นที่อยู่ภายใน

ความจำระยะสั้นเป็นองค์ประกอบส่วนกลางของโมเดล Atkinson และ Shiffrin (Atkinson & Shiffrin,1968) อธิบายว่า ความจำระยะสั้นมีความจุจำกัดมาก ข้อสนเทศในความจำระยะสั้นจะจางหายไปอย่างรวดเร็วเว้นเสียแต่ว่าจะพยายามคงมันไว้โดยการทำซ้ำๆ(การท่องซ้ำหรือทวนซ้ำ) การลืมเกิดขึ้นเมื่อข้อสนเทศหน่วยใหม่เข้าไปแทนที่หน่วยเก่า การเข้ารหัสหรือการถ่ายโยงข้อสนทศไปสู่ที่เก็บความจำระยะยาวขึ้นกับความจำระยะสั้น Atkinson และ Shiffrin เสนอว่าการเรียนรู้ขึ้นกับจำนวนของเวลาที่ข้อสนเทศอยู่อย่างถาวรในที่เก็บชั่วคราว โมเดลนี้สมมติว่าความจำระยะสั้นแสดงบทบาทสำคัญในการค้นคืนจากความจำระยะยาว นอกจากการแบ่งหน้าที่ของความจำ Atkinson และ Shiffrin เชื่อว่าความจำระยะยาวและกระบวนการพุทธิปัญญาอื่นๆเกี่ยวข้องในความสามารถของการทำภาระงานการระลึกสิ่งที่เพิ่งรับรู้ไปตามลำดับ(Hulme & Mackenzie, 1992)

Dehn (2008) อ้างว่างานวิจัยพบว่าโมเดลของ Atkinson และ Shiffrin ซึ่งถูกเรียกว่า modal model นั้นเป็นการมองความจำที่ง่ายเกินไป และเน้นที่โครงสร้างมากเกินไปในขณะที่ละเลยเรื่องกระบวนการ ตัวอย่างเช่น มีข้อสนับสนุนเพียงเล็กน้อยที่พบในเรื่องการทำนายที่ว่าโอกาสของการเรียนรู้ข้อสนเทศเป็นฟังก์ชั่นของระยะเวลาที่ข้อสนเทศคงอยู่ในที่เก็บความจำระยะสั้น การทดลองที่กลุ่มตัวอย่างใช้การท่องจำเพื่อคงรายการในความจำระยะสั้นล้มเหลวในการทำนายความสัมพันธ์นี้(Baddeley, 1996a)

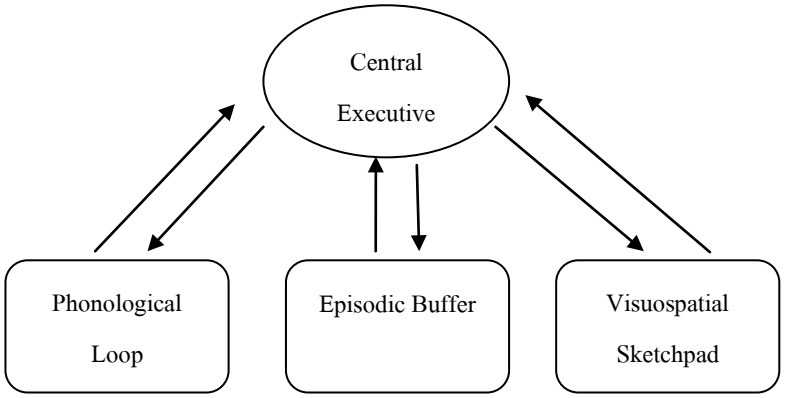
โมเดล ระดับของการประมวลผล (Level-of-Processing Model)

ในทศวรรษ 1970 เมื่อนักจิตวิทยาพุทธิปัญญาสนใจเรื่องกระบวนการของความจำมากกว่าโครงสร้าง มีข้อเสนอว่าระดับของการประมวลผลมีผลต่อช่วงเวลาของการเป็นตัวแทนของความจำ(memory representation) โดยกระบวนการที่ลึกกว่าและมีการประมวลผลและการเข้ารหัสมากกว่าจะนำไปสู่การเรียนรู้ระยะยาวกว่า(Craig and Lockhart, 1972) การเข้ารหัสแบบตื้นๆ เช่นการตัดสินเรื่องความคล้ายคลึงทางเสียง ถูกคิดว่ามีผลในการระลึกได้น้อยกว่า ในขณะที่การเข้ารหัสที่ลึกกว่า เช่นการตัดสินทางภาษาให้การระลึกได้ที่ดีกว่า ดังนั้น การประมวลผลยิ่งลึก การเรียนรู้ยิ่งดี แม้ว่า โมเดลนี้เน้นที่การประมวลผลมากกว่าโครงสร้าง แต่มันยังคงมีความแตกต่างระหว่างความจำระยะสั้นและระยะยาว แม้ว่าโมเดลจะดูน่าสนใจ แต่ทฤษฎีระดับของการประมวลผลนี้มีปัญหา

จำนวนหนึ่งและเมื่อตรวจสอบอย่างละเอียด ทฤษฎีนี้ไม่สามารถได้รับการยอมรับ (Baddeley, 1986,Logie, 1996) การวิจัยที่อาศัยโมเดลนี้ได้ผลไม่คงเส้นคงวา เช่น (1) แม้จะเข้ารหัสแบบผิวเผิน(เช่นการท่องจำ) ก็สามารถสร้างร่องรอยความจำที่คงทนได้นาน (2) วิธีที่ดีที่สุดของการเข้ารหัส ขึ้นกับวัสดุและตัวชี้แนะในการค้นคืน (3) การจำได้อาจขึ้นกับวิธีการ(mode) ของการประมวลผล (ภาษาดีกว่าภาพ) และ (4)การประมวลผลแบบตื้นไม่จำเป็นต้องใช้เวลาน้อยกว่าแบบลึก ข้อสรุปคือ โมเดลการประมวลผลแบบคู่ขนานอธิบายการทำหน้าที่ของความจำได้ดีกว่าโมเดลการประมวลผลแบบเรียงตามลำดับอย่างง่ายๆ เช่น มุมมองของ modal และ Level-of-Processing

โมเดล ของ Baddeley (Baddeley's Model)

ในปี 1974 มีทฤษฎีของความจำระยะสั้น ซึ่งอาจถือเป็นจุดเริ่มต้นของการผุดบังเกิดของการสืบค้นเชิงประจักษ์จำนวนมาก จากโมเดลแรกๆที่ง่ายจนเกินไป Baddeley and Hitch(1974) นำเสนอโมเดลที่ก้าวหน้าขึ้น เป็นโมเดลความจำระยะสั้นที่มีหลายองค์ประกอบ ซึ่งบางองค์ประกอบให้บริการการกักเก็บเชิงรับ(passive storage buffers) ในขณะที่องค์ประกอบส่วนอื่นไปประมวลผลข้อสนเทศ นักจิตวิทยาชาวอังกฤษทั้งสองท่านนี้พัฒนาแนวคิดเรื่อง ความจำขณะทำงาน ภายใน ความจำระยะสั้น เขานิยามความจำขณะทำงานว่า เป็น "ระบบสำหรับเก็บและจัดการข้อสนเทศชั่วคราวระหว่างทำภาระงานทางพุทธิปัญญา เช่น ความเข้าใจ การเรียนรู้ และ การให้เหตุผล"(Baddeley, 1986 : 34) ตามที่เสนอในครั้งแรก โมเดลของ Baddeley และ Hitch ประกอบด้วยแง่มุมหรือ ระบบ 3 ระบบของความจำขณะทำงาน ได้แก่ a phonological loop, a visuospatial sketchpad, และ a central executive ซึ่งควบคุมระบบย่อย 2 ระบบข้างต้น ที่เรียกว่า ระบบทาส(slave system)โมเดลนี้เป็นโมเดลลำดับขั้น กล่าวคือ central executive อยู่ระดับบนสุด เป็นองค์ประกอบที่ไม่ขึ้นกับเนื้อหา(domain-free)ที่ควบคุมระบบย่อยทุกระบบ Baddeley มอง central executive ว่าเป็นแก่นสาระสำคัญของความจำขณะทำงาน เขามักอ้างอิงถึงระบบอีก 2 ระบบว่าเป็นองค์ประกอบของความจำระยะสั้น ปัจจุบัน Baddeley(2000) เพิ่มเติมระบบย่อยอีกหนึ่งระบบ คือ the episodic buffer (ภาพ 2.24) ตลอด 3 ทศวรรษที่ผ่านมา มีงานวิจัยจำนวนมากที่สืบค้นเกี่ยวกับโมเดลของ Baddeley โดยภาพรวม ผลการศึกษาเชิงประจักษ์สนับสนุนการแบ่งความจำขณะทำงาน ออกเป็นที่เก็บความจำระยะสั้นตามวิธีการรับข้อมูล(modality-based short-term stores) และศูนย์ควบคุมการประมวลผลซึ่งไม่ขึ้นกับวิธีรับข้อมูล(a modality-free processing center) ที่ซึ่งงานของความจำขณะทำงาน ถูกทำขึ้น



ภาพ 2.24 Baddelley's (2006) working memory model

The Phonological Loop

เดิมทีหมายถึงวงจรทางภาษาที่มีความหมาย(the articulatory loop) ที่มีความจุจำกัด เป็นที่เก็บข้อสนเทศทางวาจาที่อิงคำพูด(speech-based store of verbal information)(Baddeley, 1986,2003a; Baddeley, Garthercole, & Papagno, 1998) Baddeley แบ่งวงรอบ(loop)ออกเป็น 2 องค์ประกอบย่อยคือที่เก็บสิ่งนำเข้าเชิงรับชั่วคราวทางเสียง (a temporary, passive phonological input store) กับการประมวลผลท่องซ้ำในใจ(a subvocal, articulatory rehearsal process) การพูดนำเสนอข้อสนเทศทางวาจาที่ได้รับโดยตรง ทันที และเข้าถึง Phonological Loop โดยอัตโนมัติ ซึ่งมันถูกเก็บไว้เป็นช่วงเวลาสั้นๆในรูปแบบทางเสียง (Hitch, 1990; Logie, 1996) The Phonological Loop เปรียบได้กับเทปบันทึกเสียงที่วนรอบความยาวจำเพาะค่าหนึ่ง คำหรือหน่วยเสียงอื่นๆถูกบันทึกเรียงตามลำดับที่รับรู้ และจะสูญหายไปอย่างรวดเร็วหรือถูกบันทึกทับโดยหน่วยเสียงใหม่ยกเว้นจะท่องซ้ำหรือบันทึกซ้ำบนเทป

The Phonological Loop มีหน้าที่พิเศษและมีความจำกัดเกี่ยวกับประเภทของข้อสนเทศที่มันเก็บ The Phonological Loop แปลงสิ่งเร้าที่รับรู้ไปเป็นรหัสทางการออกเสียง(phonological) ที่รวมทั้ง เสียง(acoustic), จังหวะ (temporal) และคุณสมบัติที่ต่อเนื่องกันของสิ่งเร้าเชิงวาจา(sequential properties of the verbal stimuli(Gilliam & van Kleeck, 1996) แล้วรหัสทางการออกเสียงจะถูกจับคู่กับรหัสที่มีอยู่ (เช่นหน่วยพื้นฐานของเสียง – phonemes และคำ-words) ที่เก็บไว้ในความจำระยะยาว และเชื่อมต่อไปยังตัวแทนความคิดที่มีความหมาย(meaning representations) การประมวลผลระดับสูงของข้อสนเทศทางวาจา เช่น การเอาคำ

มารวมกันเพื่อสร้างแนวความคิด ใช้การทำหน้าที่ของความจำขณะทำงานที่ซับซ้อนที่ถูกดำเนินการโดย central executive

ช่วงความจำระยะสั้นทางวาจา และการท่องซ้ำออกเสียงชัดเจนมีความหมาย (Verbal Short-Term Memory Span and Articulatory Rehearsal)

The Phonological Loop จะคงข้อสนเทศไว้เพียง 2 วินาทีหรือน้อยกว่านั้น เว้นเสียแต่ว่าจะมีการกระทำเพื่อรักษาข้อสนเทศรหัสการออกเสียง(phonological information) (Baddeley, 1986; Hulme & Mackenzie, 1992) จำนวนรายการทางวาจา(verbal items) ที่สอดคล้องกับ phonological “tape” loop ขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการออกเสียง(articulate)มัน ปรากฏการณ์นี้อธิบายทำไมการระลึกถึงคำสั้นๆ พยางค์เดียวจึงง่ายกว่าหรือทำได้ดีกว่าคำยาวๆ เนื่องจากคำที่ยาวกว่าใช้เวลาออกเสียงนานกว่าและดังนั้นจึงใช้พื้นที่ใน phonological tape loop มากกว่า ผู้ใหญ่สามารถระลึกถึงคำพยางค์เดียว 5 คำเรียงกันได้ถูกต้องถึง 90% แต่จะลดลงเหลือเพียง 50 % เมื่อใช้จำนวนคำเท่ากันที่แต่ละคำมี 5 พยางค์(Baddeley, 2003a) ดังนั้นสมรรถนะหรือความจุของ phonological loop สามารถกล่าวได้ว่า คำที่อยู่ใน loop = ความยาวของ loop x อัตราเร็วของคำพูด (Hulme & Mackenzie, 1992) งานวิจัยพบว่า ความยาวของ phonological tape loop อยู่ที่ประมาณ 2 วินาที ไม่เกี่ยวกับอายุ กลุ่มตัวอย่างสามารถระลึกถึงคำจำนวนมากเท่าที่เขาสามารถออกเสียงชัดเจน (articulate) ได้ในเวลานั้น(Baddeley, 1986; Hulme & Mackenzie, 1992) ตัวอย่างเช่น ถ้าอัตราเร็วของคำพูดของบุคคลเป็น 2 คำต่อวินาที ช่วงความจำ (memory span)ของเขาจะอยู่ที่ประมาณ 4 คำ จำนวนคำที่ระลึกได้ไม่ใช่ฟังก์ชั่นของจำนวนรายการที่ถูกนำเสนอใน 2 วินาที หากแต่เป็นจำนวนคำที่บุคคลสามารถออกเสียงได้ใน 2 วินาที การใช้ประโยชน์จากเรื่องนี้คือ การระลึกถึงข้อสนเทศทางวาจาใดๆในความจำระยะสั้นที่นอกเหนือไปจาก 2 วินาที ขึ้นอยู่กับการทำซ้ำหรือการท่องจำ และจำนวนของข้อสนเทศที่สามารถทำซ้ำถูกบังคับหรือถูกจำกัด(constrained) โดย loop 2 วินาทีนั้นด้วยเช่นกัน คิดกันว่าอัตราการทำซ้ำทางเสียงเท่ากับอัตราของคำพูดที่พูดออกมา ความสัมพันธ์เช่นนี้อธิบายผลการศึกษาที่พบว่า ช่วงความจำระยะสั้นทางวาจาแปรเปลี่ยนไปขึ้นกับความยาวของรายการที่ให้จำ และ ที่ว่า ช่วงความจำมีความสัมพันธ์ทางบวกกับอัตราเร็วของคำพูด บุคคลที่มีอัตราการออกเสียงเร็วกว่าสามารถรักษารายการได้จำนวนมากกว่าบุคคลที่ออกเสียงคำได้น้อยกว่า (Hulme & Mackenzie, 1992)

Dehn อธิบายโดยอ้างงานของ Miller เมื่อปี 1956 ว่า ในผู้ใหญ่ ช่วงความจำด้านเสียงโดยปกติ ถูกสมมติว่าอยู่ประมาณ 7 หน่วย ปกติเราวัดช่วงกว้างจากภาระงานเช่น digit หรือ word span และมักถูกอ้างอิงว่า เป็น verbal short-term memory span หรือ verbal working memory span การพบว่า memory span มีความสัมพันธ์สูงกับเวลาที่ใช้ในการออกเสียงคำที่เป็นสิ่งเร้า แสดงว่า ความจำขณะทำงานไม่ได้จำเป็นต้องจำกัดอยู่แต่ 7 บวกหรือลบ 2 หน่วยข้อสนเทศ ดังที่เคยเชื่อกันมา ถ้าเป็นคำสั้นๆ 2-3 คำ บุคคลสามารถทำซ้ำชุดที่สมบูรณ์ได้โดยใช้เวลาที่น้อยกว่าเวลาที่ใช้สำหรับร่องรอยความจำเพื่อทำลาย ดังนั้น จะขยายเวลาการรักษาชุดนั้นไปโดยไม่มีกำหนดตายตัว การระลึกถึงคำเป็นชุดเรียงลำดับทันทีทันใดจะลดลง เมื่อส่วนประกอบของคำยาวขึ้น(Baddeley, 1990) ปรากฏการณ์นี้รู้จักกันในชื่อ ผลเนื่องจากความยาวของคำ(word length effect) ถูกใช้อ้างเป็นเหตุผลสำหรับการใช้เวลาที่มากกว่าในการทำซ้ำหรือท่องซ้ำรายการที่ใช้ช่วงเวลาการออกเสียงนานกว่า (Gathercole & Martin, 1996) ลักษณะข้อชี้ขาดคือ ช่วงเวลาการพูดของคำ ไม่ใช้จำนวนพยางค์ เมื่อการออกเสียงของชุดคำนั้นเกินกว่าเวลาของการทำลายหรือหายไป ข้อผิดพลาดจะเริ่มเกิดขึ้น ดังนั้น verbal memory span ควรจะเป็นจำนวนของคำที่สามารถถูกออกเสียงได้ในเวลาประมาณ 2 วินาที (Baddeley, 1990) มากกว่าจะคิดถึงมันในลักษณะของจำนวนเฉพาะจำนวนหนึ่งของคำที่พูดออกมา ภาระงานดั้งเดิม digit span เป็นสาระของกฎข้อนี้ กล่าวอย่างเร็วๆ the digit span ของเด็กที่พูดภาษา Welch (Ellis & Hennelley, 1980) มีค่าน้อยกว่าเด็กที่พูดภาษาอังกฤษเนื่องจากตัวเลขในภาษา Welch ใช้เวลาในการออกเสียงมากกว่าตัวเลขภาษาอังกฤษ ผลเนื่องจากความยาวของคำ ถูกใช้ในการสังเกตระหว่างการอ่าน ซึ่งอัตราการอ่านช้าลงเมื่อคำยาวขึ้น เช่นเดียวกับการระลึกได้(Gathercole & Baddeley,1993) การป้องกันการท่องจำขจัดผลเนื่องจากความยาวของคำนี้ ถ้าบุคคลไม่ได้ใช้การท่องซ้ำ คำยาวของคำก็ไม่เกี่ยวข้อง

แม้ว่ามีหลักฐานแน่นหนาว่าความยาวคำและความเร็วของการออกเสียงท่องซ้ำเป็นตัวกำหนด ช่วงความจำระยะสั้นทางวาจา(verbal short-term memory span) อิทธิพลอย่างอื่นก็มีผลต่อสมรรถนะด้วย ไม่ต้องสงสัยว่าผลบางอย่างเกิดขึ้นเนื่องจากคำยาวๆใช้เวลาการนำเสนอและระลึกได้นานกว่า นำไปสู่การลืมมากกว่าเนื่องจากเวลาที่ผ่านไปทั้งหมดเกินกว่าช่วงความทรงจำ(retention interval) (Baddeley, 2003a) อิทธิพลอื่นคือความรู้เดิม ข้อสนเทศทางเสียงที่มีความหมาย

อาจกระตุ้นโครงสร้างความจำระยะยาวที่เกี่ยวข้องได้ ซึ่งอาจช่วยเอื้อต่อการระลึกในความจำระยะสั้นได้ในกรณีที่ไม่มีการท่องซ้ำหรือทวนซ้ำ นี่เป็นเหตุผลว่าทำไมผู้ใหญ่โดยเฉลี่ยมีช่วงความจำคำที่มีความหมายยาวกว่าคำที่ไม่เป็นคำหรือไม่มีความหมายและช่วงความจำคำต่อคำจะได้ถึง 15 คำถ้าเอามาเรียงเป็น 1 ประโยค ระดับของการรวมกลุ่ม(chunking) ซึ่งเป็นการจัดกลุ่มรายการให้เป็นหน่วยที่ใหญ่ขึ้น ก็มีผลต่อช่วงความจำด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น เลข “5” และ “8” สามารถรวมกลุ่มเป็น “58”

ถึงแม้ว่าจะเป็นเช่นนั้นก็ตาม การท่องซ้ำดูเหมือนมีผลต่อช่วงความจำทางวาจาอย่างมาก เมื่อใดก็ตามที่บุคคลถูกป้องกันจากการท่องซ้ำรายการทางวาจาความสามารถจะลดลงอย่างชัดเจน(Baddeley, 1990) ภาระงานที่ใช้แทรกแซงเพื่อป้องกันการท่องซ้ำแบบประเพณีนิยมคือการให้ผู้ถูกทดสอบพูดบางอย่างไปพร้อมกัน (เช่น “the, the, the,…”) การป้องกันการท่องซ้ำทำให้นักวิจัยและผู้ทำการทดสอบวัดความสามารถของ phonological loop ที่แท้จริงได้ ผลกระทบของการขัดขวางการท่องซ้ำให้หลักฐานสนับสนุนความสำคัญของการท่องซ้ำหรือทวนซ้ำต่อความคงทนของข้อสนเทศในความจำระยะสั้น และ ให้หลักฐานสนับสนุนการแบ่ง phonological loop ออกเป็นส่วนที่เก็บข้อสนเทศเชิงรับ และ ส่วนที่ทำหน้าที่ท่องซ้ำ

การศึกษาจำนวนมากสืบค้นช่วงความจำด้านภาษาและพบว่ามันเป็นปรากฏการณ์ที่แกร่ง(robust)อย่างไม่น่าเชื่อ โดยมีความสัมพันธ์เชิงทำนายสูงต่อการทำหน้าที่เชิงพุทธิปัญญา การเรียนรู้ทางวิชาการ และภาระงานประจำวัน ตัวอย่างเช่น phonological loop แสดงบทบาทสำคัญในการประมวลผลทางภาษา การอ่านออกเขียนได้(literacy) และการเรียนรู้ มีสมมติฐานว่า phonological loop อาจค่อยๆวิวัฒน์เพื่อเอื้อต่อการได้ภาษา ดังนั้น บุคคลที่มีช่วง phonological loop ยาวจะเก่งศัพท์และเรียนรู้ภาษาเก่งกว่าคนที่มีช่วง phonological loop สั้น (Baddeley, 2003a)

กล่าวโดยสรุป phonological short-term memory span เป็นจุดเชื่อมต่อการทำหน้าที่จุดแรกของอัตราเร็วของการเสื่อม (decay) และอัตราเร็วของการท่องซ้ำ อัตราเร็วการออกเสียงคำพูดเป็นตัวกำหนดว่าข้อสนเทศจะสามารถถูกทำซ้ำได้มากเพียงใดก่อนที่จะสูญหายไป การท่องซ้ำๆสามารถขยายช่วงข้อสนเทศที่จะถูกระลึกถึงได้ เมื่อบุคคลถูกป้องกันไม่ให้ท่องซ้ำหรือทวนซ้ำข้อสนเทศโดยการแทรกแซงภาระงานอื่นเข้ามา เช่นให้พูดซ้ำคำที่ไม่มีความหมาย สมรรถนะความจำ

ระยะสั้นของเขาจะลดลงอย่างน่าทึ่ง เช่นเดียวกับจำนวนข้อสนเทศที่ไปเก็บในระยะยาว(Henry, 2001) ช่วงความจำด้านภาษาของเราส่วนใหญ่ถูกจำกัดด้วยความสามารถในการท่องซ้ำสิ่งเร้าทางวาจาทั้งหมดอย่างรวดเร็วเพียงพอที่จะหลีกเลี่ยงการสูญเสียรายการหนึ่งหรือรายการไปที่เกิดเนื่องจากการ decay (Baddeley, 2006) ดังนั้น ความจุหรือความสามารถของ phonological loop จะไม่เป็นจริงเต็มที่ถ้าปราศจากการประยุกต์ใช้ยุทธศาสตร์ของการท่องซ้ำที่ชัดเจน

Phonological Similarity Effects

ตัวแปรอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการปฏิบัติงานของ phonological loop โดยเฉพาะเรื่องความยาวของการระลึกเป็นชุด คือ ความคล้ายคลึงของเสียงหรือหน่วยเสียง บุคคลที่มีความสามารถทางเสียงเป็นปกติ พบว่ามันยากกว่าที่จะจำรายการของคำที่มีเสียงคล้ายกัน เช่น man , map, และ mat ปรากฏการณ์ส่วนใหญ่เป็นผลจากความสับสนที่เกิดในที่เก็บสิ่งนำเข้าเชิงรับด้านเสียงและการระบุผิดพลาดระหว่างการท่องซ้ำและการค้นคืนถัดมา(Hulme & Mackenzie, 1992) การสูญหายของข้อสนเทศใดๆ เนื่องจาก decay นำไปสู่ความสับสนระหว่างรายการที่คล้ายคลึงกันทางเสียง ความคล้ายคลึงของเสียงมีผลต่อการระลึกได้ ในการศึกษาของ Baddeley (1986) คำที่ไม่คล้ายกัน ถูกระลึกได้ถูกต้องร้อยละ 82.1 ของเวลา ในขณะที่คำที่มีเสียงคล้ายกันถูกระลึกได้ถูกต้องเพียงร้อยละ 9.6 ของเวลา ผลของความคล้ายคลึงทางเสียงสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของ Baddeley ที่ว่าการเข้ารหัสความจำระยะสั้นสำหรับข้อสนเทศทางวาจา (verbal information) เป็นเรื่องที่ใช้การออกเสียงและการแยกแยะส่วนประกอบเสียงเป็นฐาน(phonologically based)(Logie, 1996)ในขณะที่การเข้ารหัสความจำระยะยาวขึ้นอยู่กับความหมายมากกว่า ตัวอย่างเช่น เสียงที่คล้ายกันไม่มีผลต่อการต้นคืนระยะยาว บ่งชี้ว่า มันเป็นพื้นฐานสำหรับการเข้ารหัสในทันที ไม่ใช่พื้นฐานสำหรับการเข้ารหัสระยะยาว (McElree, 1998) หลักฐานจำนวนมากเกี่ยวกับผลของความคล้ายของเสียงมาจากงานที่ศึกษาว่าการพูดที่มี background ที่ไม่ได้ตั้งใจ (unattended background speech) หรือมีเสียงรบกวน มีผลต่อช่วงความจำระยะสั้นทางวาจาอย่างไร การพูดไปพร้อมกันแต่พูดเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องใน background สามารถมีผลร้ายต่อการคงความจำคำ โดยเฉพาะเมื่อคำที่ให้ระลึกนั้น มีเสียงคล้ายคลึงกับคำอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง(Gathercole & Baddeley, 1993)

หลักฐานอื่นนอกจากนี้คือความจำทางวาจาระยะสั้นขึ้นกับการเข้ารหัสทางเสียงที่มาจากข้อเท็จจริงว่า orthographic (-ภาพที่เป็นตัวแทนความคิดของคำ) ที่คล้ายกันมีอิทธิพลน้อยมากต่อความคงทนในการจำคำ

ผลของความคล้ายกันของเสียงอาจเป็นแง่มุมเดียวของผลการแทรกแซงที่กว้างกว่าที่เกิดขึ้นเมื่อใดก็ตามที่มีความคล้ายกันระหว่างเนื้อหาที่ถูกเก็บไว้และเนื้อหาที่กำลังถูกปฏิบัติการ ตัวอย่างเช่น การระลึกถึงตัวเลขมีเนื้อหาน้อยกว่าเมื่อผู้ถูกทดสอบต้องคำนวณพีชคณิตในขณะที่พยายามจะคงความจำเกี่ยวกับชุดของตัวเลขชุดหนึ่งไว้ ในขณะที่การประมวลผลความหมายของประโยคหนึ่งระหว่างที่ทำ digit span เป็นสาเหตุที่มีการแทรกแซงน้อยกว่า (Conlin & Gathercole, 2006) เมื่อใดที่การแทรกแซงมีการรบกวนอย่างแน่นอนนั้นยังไม่เป็นเรื่องที่ชัดเจน มีตัวบ่งชี้ว่าการแทรกแซงที่เป็นอันตรายเกิดขึ้นระหว่างการค้นคืนเมื่อมันยากที่จะจำแนกระหว่างรายการที่มีเสียงคล้ายกัน(Conlin & Gathercole, 2006)

Recency and Primacy Effects

ผลที่เรียกว่า primacy effect และ recency effect ทั้งสองลักษณะมองไปที่การจำข้อสนเทศของผู้คน ผล primacy effect หมายความว่าผู้คนจำสิ่งแรกที่พวกเขาอ่านหรือดู ส่วน recency effect หมายความว่าผู้คนจำ สิ่งสุดท้าย หรือสิ่งล่าสุด ที่พวกเขาอ่านหรือดู Recency effect มักถูกอ้างว่าเป็นหลักฐานของการมีอยู่ของที่เก็บทางเสียงชั่วคราว (Baddeley, 1990) Recency หนึ่งในการค้นพบที่ยืนยงในงานวิจัยด้านความจำ เป็นแนวโน้มที่จะระลึกถึงรายการที่ได้รับการนำเสนอทางวาจาล่าสุดได้ดีกว่ารายการก่อนหน้านั้น โดยเฉพาะรายการที่อยู่ช่วงกลางๆ ปรากฏการณ์ที่เป็น recency-based ดูเหมือนมีผลมาจากระยะห่างหรือการเขียนลายละเอียดของตัวชี้แนะตัวก่อนๆมากเกินไป รายการปัจจุบันถูกจำได้เพราะมันยังคงอยู่ที่เก็บทางเสียง ณ เวลาที่มีการระลึกถึงนั้น ซึ่งมันถูกระลึกถึงได้โดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องใช้การทวนซ้ำที่จำเป็นหรือไม่มีเวลาพอที่จะทวนซ้ำ ข้อเท็จจริงที่ว่าไม่มีการทวนซ้ำหรือมีการทวนซ้ำน้อยได้รับการยืนยันจากผลการค้นพบว่าการค้นคืนรายการระยะยาวต่อมาที่จุดสิ้นสุดรายการทำได้ยากกว่ารายการแรกๆหรือกลางๆ (Cowan, 2005) ชี้ว่ารายการแรกๆถูกทวนซ้ำและถูกเข้ารหัสเข้าไปในที่เก็บความจำระยะยาว การขาดการทวนซ้ำของรายการท้ายๆจำกัดการเข้ารหัสรายการ

ดังกล่าวไปยังความจำระยะยาว เป็นผลที่นำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนทางวิชาการได้ ผลที่เรียกว่า recency effect ชี้ว่ารายการสุดท้ายหรือกลุ่มสุดท้ายยังคงตื่นตัวยังคงอยู่ในภาวะ active awareness หรือยังคงเป็นจุดเน้นของความใส่ใจหรือความตั้งใจอยู่(still the focus of attention) การแทรกแซงแบบมีบทบาทร่วม ซึ่งแทรกแซงจากการเรียนรู้ข้อสนเทศที่คล้ายกันมาก่อน ไม่มีผลกระทบต่อการระลึกได้ทันที ชี้ว่าไม่มีกระบวนการค้นคืนที่จำเป็นสำหรับรายการที่ยังคงอยู่ในภาวะ active awareness (McElree, 1998) เว้นเสียแต่ว่ามันจะสูญหายหรือถูกลืมไปแล้วจุงจำเป็นต้องไปค้นคืนมาจากความจำระยะยาว ส่วน Primacy ซึ่งเป็นการระลึกถึงรายการแรกๆได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรายการตอนกลางๆ เป็นความมั่นคงของความจำอีกประเภทหนึ่ง ผลนี้แข็งแกร่งเมื่อมีการท่องซ้ำในใจ ส่วนใหญ่เป็นเพราะมีโอกาสที่จะทวนซ้ำรายการเหล่านี้มากกว่ารายการต่อๆมา

The Visuospatial Sketchpad

The Visuospatial Sketchpad รับผิดชอบการเก็บความจำระยะสั้นของข้อสนเทศทางภาพและปริภูมิ(spatial) เช่นความจำวัตถุและตำแหน่งของมัน (บางคนแปล visuospatial เป็นภาษาไทยว่า มิติปริภูมิ) The Visuospatial Sketchpad แสดงบทบาทสำคัญในการสร้างภาพความคิด(mental images)(Baddeley, 2006) เหมือนกับ phonological loop มันประกอบด้วยที่เก็บชั่วคราวเชิงรับ และกระบวนการท่องซ้ำหรือทวนซ้ำเชิงรุก การสลาย (decay) ในที่เก็บ visuospatial ชั่วคราวดูเหมือนจะเร็วพอๆกับ phonological decay คือเกิดในช่วงของวินาที อัตราการลืมดูเหมือนเป็นฟังก์ชั่นของความซับซ้อนของสิ่งเร้าและของช่วงระยะเวลาที่ดูสิ่งเร้า ความสดของร่องรอยทางภาพเป็นผลจากการเคลื่อนไหวของนัยน์ตา การจัดกระทำภาพ หรือบางประเภทของตัวช่วยความจำทางภาพ (visual mnemonic)(Baddeley, 1986) The Sketchpad ดูเหมือนออกแบบมาเพื่อรักษาสิ่งเร้าที่เป็น spatial หรือ pattern ซึ่งอธิบายว่าทำไมมันจึงเชื่อมโยงกับการควบคุมและผลของการเคลื่อนไหวทางกายภาพ(Logie, 1996) The Visuospatial Sketchpad อาจให้บริการหน้าที่ที่สำคัญระหว่างการอ่าน เพราะมันเข้ารหัสทางภาพของตัวอักษรและคำในขณะที่รักษากรอบของการอ้างอิงทาง visuospatial ที่ยอมให้ผู้อ่านย้อนกลับ(backtrack)และรักษาตำแหน่งของตนในเอกสาร(Baddeley, 1986)

ที่เก็บความจำ visuospatial ระยะสั้น การทวนซ้ำ และการประมวลผล ดูเหมือนขึ้นกับองค์ประกอบอื่นของความจำขณะทำงาน แม้ว่า phonological loop จะถูกออกแบบสำหรับการประมวลผลตามลำดับ(sequential processing) และ visuospatial sketchpad จะเหมาะสมดีกว่ากับการประมวลผลแบบองค์รวม (holistic processing) คนปกติส่วนใหญ่จะเข้ารหัสซ้ำทางวาจากับสิ่งเร้านำเข้าทาง visuospatial ของตน นอกจากนั้น หลักฐานปัจจุบัน พบว่า การเก็บข้อสนเทศทาง visuospatial ขึ้นกับ องค์ประกอบ central executive มากกว่าการเก็บข้อสนเทศทางเสียง (Gathercole & Pickering, 2000b)

Visuospatial Storage

แม้ว่าจะมีคำอธิบายในระยะแรกๆว่า ที่เก็บ Visuospatial Sketchpad เป็นองค์ประกอบย่อยที่เป็นหนึ่งเดียว(unified subcomponent) แต่ต่อมามีการแบ่งออกเป็น 2 องค์ประกอบย่อยลงไปอีก เป็นที่เก็บด้านภาพ (visual) และที่เก็บด้านปริภูมิ (spatial)(Baddeley, 2006; Pickering et al., 2001; Van Der Sluis, Van Der Leij, & De Jong, 2005) องค์ประกอบย่อยทางภาพรับผิดชอบการเก็บข้อสนเทศทางภาพที่เป็นข้อสนเทศที่อยู่นิ่ง (static) (เช่น รูปร่าง และ สี ของวัตถุ) และ องค์ประกอบย่อยทางปริภูมิเก็บข้อสนเทศทางปริภูมิ (เช่น ข้อสนเทศเกี่ยวกับตำแหน่งและทิศทาง) องค์ประกอบย่อยทางภาพ ซึ่งเรียกว่า visual cache เป็นระบบเชิงรับ (passive system) ที่เก็บข้อสนเทศทางภาพในรูปแบบของตัวแทนความคิดที่เป็นภาพ(visual representations) ในทางตรงกันข้าม องค์ประกอบย่อยทางปริภูมิ หรือที่เรียกว่า inner scribe เป็นระบบทวนซ้ำทางปริภูมิเชิงรุก (active spatial rehearsal system) ที่เก็บรักษาตำแหน่งและการเคลื่อนที่แบบเรียงตามลำดับ (sequential locations and movements) Olive(2004) พบว่า องค์ประกอบย่อยทางปริภูมิจำเป็นต้องใช้การท่องซ้ำเพื่อทำให้ข้อสนเทศที่เป็นพลวัตรนั้นทันสมัย(update) อย่างต่อเนื่อง พอๆกับ การสลาย(decay) ของข้อสนเทศใน visual cache ที่เก็บความจำทางภาพระยะสั้นมีความจุจำกัด โดยทั่วไปประมาณ 3 หรือ 4 อย่างนะยะเวลาเป็นวินาที เนื่องจากข้อจำกัดนี้ บุคคลอาจไม่ได้สังเกตเมื่อวัตถุในชุดนั้นเคลื่อนที่ไป เปลี่ยนสี หรือหายไป แน่นอนว่าในโลกแห่งความเป็นจริง วัตถุและคุณลักษณะของมันคงอยู่ตลอดเวลาทำให้ความคงทนของรายละเอียดทางภาพและการทวนซ้ำเป็นเรื่องที่ไม่จำเป็น(Baddeley, 1996)

แผนแบบที่ซับซ้อน(complex patterns) ไม่คงทนได้ดีเท่าแผนแบบอย่างง่าย(simple patterns)(Kemps,1999) ความซับซ้อนหมายถึงจำนวนความหลากหลายในสิ่งเร้า ตัวอย่างเช่น กล่องที่ถูกนำเสนอในตารางเมตริกซ์ จะง่ายที่จะจำหรือระลึกถึงมากกว่าการนำเสนอแบบสุ่ม และภาพที่ไม่สมมาตรจะระลึกถึงได้ยากกว่าภาพที่สมมาตร ข้อค้นพบนี้ชี้ว่า ข้อสนเทศทางมิติปริภูมิที่มีการจัดโครงสร้างไว้(structured visuospatial information) ใช้พื้นที่ที่เก็บระยะสั้นความจุน้อยกว่าข้อสนเทศที่ไม่ได้จัดโครงสร้าง(unstructured) (Kemps) อย่างไรก็ตาม การจำหรือระลึกถึงภาพที่มีการจัดโครงสร้างไว้ได้ดี อาจได้รับความเกื้อหนุนจากการเปลี่ยนข้อสนเทศทางมิติปริภูมิเป็นข้อสนเทศทางวาจา ซึ่งจะเกิดได้ดีถ้ารู้จักภาพนั้นได้(images are recognizable) ข้อเท็จจริงที่ว่าช่วงความจำทางมิติปริภูมิจะดีกว่าถ้าเป็นภาพที่มีการจัดโครงสร้างไว้แนะนำเราว่าตัวแทนความคิดในความจำระยะยาวของวัสดุที่มีการจัดโครงสร้างไว้จะช่วยอื้อต่อความจำระยะสั้นด้านมิติปริภูมิ เหมือนกับตัวแทนความคิดทางเสียงระยะยาว(long-term phonological representations)ที่ช่วยเรื่องช่วงความจำทางเสียง(phonological memory span)

Rehearsal and Recoding of Visuospatial Information

แม้ว่าจะมีงานวิจัยทาง phonological loop และ visual imagery จำนวนมาก แต่งานวิจัยเรื่องของ vsuospatial sketchpad ตรงๆ มีน้อย ทำให้ความรู้ในเรื่องของการทำหน้าที่ในแง่มุมนี้ของความจำขณะทำงานยังมีน้อย โดยเฉพาะรูปแบบของการทวนซ้ำทางมิติปริภูมิ อย่างไรก็ตาม การทวนซ้ำด้านนี้บางรูปแบบดูเหมือนจำเป็นสำหรับการคงอยู่ในความจำระยะยาวของข้อสนเทศทางมิติปริภูมิ หลักฐานเรื่องการทวนซ้ำทางมิติปริภูมิได้มาจากการศึกษาที่แสดงถึงการเข้าร่วมในกิจกรรมมิติปริภูมิพร้อมกันจะขัดขวางการเก็บข้อสนเทศมิติปริภูมิระยะสั้น (Henry, 2001) อย่างไรก็ตาม มีหลักฐานที่บ่งชี้เช่นกันว่า การรักษาข้อสนเทศมิติปริภูมิระยะสั้นขึ้นกับสิ่งที่มากกว่ากระบวนการทวนซ้ำทางมิติปริภูมิ แม้ว่า visuospatial sketchpad สามารถดำเนินการได้โดยอิสระจาก phonological loop (Kemps,1999) การเก็บข้อสนเทศมิติปริภูมิและการทวนซ้ำดูเหมือนขึ้นกับการทำ phonological loop และ การทวนซ้ำโดยการออกเสียง

ข้อสนเทศทางมิติปริภูมิไม่สามารถเข้าถึงที่เก็บทางเสียงได้โดยอัตโนมัติ การเข้าถึงเกิดผ่านกระบวนการ ที่รอบคอบของการถอดรหัสข้อสนเทศทางมิติปริภูมิเข้าสู่ข้อสนเทศทางวาจา ซึ่งเกิดจากบุคคลออกเสียงชื่อของวัตถุและตำแหน่งที่ต้องจำ(Richardson, 1996a) ไม่ใช่ว่าสิ่งนำเข้าทางมิติปริภูมิทั้งหมดจะเปลี่ยนรูปได้ง่ายๆ บุคคลต้องสามารถออกเสียงข้อสนเทศเพื่อทำให้การแปลงรูปเกิดขึ้น แผนแบบที่นำเสนอทางภาพที่ยากที่จะออกชื่อได้ต้องถูกเข้ารหัสทางภาพ ความล้มเหลวที่จะสร้างตัวแทนความคิดทางเสียงของวัสดุที่เป็นทางภาพอาจป้องกันการท่องซ้ำและมีผลต่อการคงทน ในขณะที่การเปลี่ยนข้อสนเทศทางภาพให้เป็นข้อสนเทศทางเสียงมักมีผลให้ระลึกถึงได้ดีกว่า ข้อสนเทศทางภาพบางอย่างมักสูญหายไปในกระบวนการ(Baddeley, 2003b) กระบวนการแปลงภาพ-เสียง ดูเหมือนเป็นหนึ่งในหน้าที่ขององค์ประกอบการทวนซ้ำทางเสียง(Gathercole & Baddeley, 1993)

โดยไม่คำนึงถึงประสิทธิผลของการแปลงรูปข้อสนเทศ ปกติบุคคลไม่ถอดรหัสสิ่งที่นำเสนอทางภาพให้เป็นรูปแบบที่อิงคำพูด(speech-based) จนกว่าจะอายุประมาณ 10 ปี เด็กๆที่อายุราว 5 ปี มีข้อจำกัดกับการเก็บและการทวนซ้ำรูปแบบทางภาพบางรูปแบบสำหรับวัสดุที่นำเสนอทางภาพ การระลึกถึงถูกทำให้ลดน้อยลงโดยความคล้ายคลึงทางภาพ (ทำนองเดียวกับผลของความคล้ายคลึงทางเสียงใน phonological loop) แต่ไม่ใช่การแทรกแซงทางวาจา ในขณะที่เด็กที่อายุมากกว่าแสดงผลในทางตรงกันข้าม(Hitch, 1990) เด็กที่อายุน้อยกว่าไม่สามารถใช้การทวนซ้ำทางวาจาในการเก็บชื่อของวัสดุทางภาพอาจเป็นเพราะการแปลงรูปอยู่นอกเหนือจากความสามารถของกระบวนการความจำขณะทำงานของพวกเขา เมื่อความสามารถทั่วไปเพิ่มขึ้น เด็กๆ จะเชื่อมั่นในเรื่องการถอดรหัสจากคำเป็นเสียงมากขึ้น ที่ตามมาก็คือ เมื่ออายุ 10 ปี กระบวนการทวนซ้ำทางมิติปริภูมิอาจมากกว่าการทวนซ้ำทางวาจาเล็กน้อย(Hulme & Mackenzie, 1992) แม้ว่ามีหลักฐานว่าเด็กที่อายุมากกว่า 10 ปียังคงใช้ที่เก็บทางมิติปริภูมิบางส่วนต่อไป แนวโน้มที่ผู้ใหญ่ใช้การทวนซ้ำทางวาจาสำหรับวัสดุที่นำเสนอทางภาพแสดงได้จากความคงทนที่ลดลงเมื่อมีการแทรกแซงทางเสียง(Hitch)

การจินตนาการภาพในใจ (Visual Imagery)

การสร้าง การจัดกระทำ และการรักษา visual imagery เกี่ยวข้องกับ visuospatial sketchpad ด้วย(Gathercole & Baddeley, 1993) งานวิจัยเมื่อเร็วๆนี้(De Beni, Pazzaglia, Meneghetti, & Mondoloni, 2007) ให้การสนับสนุนข้อกล่าวอ้างที่ว่า ความจำขณะทำงานด้านมิติปริภูมิเกี่ยวข้องใน mental imaginery และในการสร้างโมเดลความคิดทางปริภูมิ การรักษาและการจัดกระทำภาพในใจ ต้องใช้ทรัพยากรความจำขณะทำงานสูง อาจจะมากกว่าความจุของตัว visuospatial sketchpad ดังนั้น central executive ของความจำขณะทำงานต้องมาเกี่ยวข้องเมื่อใดก็ตามที่มีการสร้าง visual images ในใจและจัดกระทำอย่างมีสติ(Pearson, Logie, & Gilhooly, 1999) The phonological loop อาจให้ยืมความช่วยเหลือบางอย่างระหว่างกระบวนการประมวลผลภาพโดยการติดป้ายชื่อให้กับรูปร่างที่เกี่ยวข้อง ความจริงแล้ว การสร้างภาพใหม่ระหว่างการระลึกถึงมันอาจขึ้นอยู่กับตัวแทนความคิดทางวาจาอย่างมาก(Pearson et al.) การประสานกันของระบบย่อยทางวาจากับทางด้านภาพ และการควบคุมการจัดกระทำภาพ ถือเป็น central executive ดังนั้น การจัดกระทำข้อสนเทศทางปริภูมิ เช่น ภาพ พบว่า เกี่ยวข้องกับทุกแง่มุมของระบบความจำขณะทำงานและใช้แหล่งทรัพยากรหลายแหล่งเช่นกัน

The Central Executive

เป็นสิ่งที่หลายคนบอกว่าเป็น แกนหลักของความจำขณะทำงาน (Baddeley, 2003b; Torgesen,1996) รับผิดชอบการควบคุมระบบย่อยอีก 3 ระบบ และกำหนดและประสานงานกระบวนการประมวลผลทางพุทธิปัญญาทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในความสามารถของความจำขณะทำงาน เช่น การจัดสรรความจุความตั้งใจที่มีอยู่จำกัด การควบคุมการไหลข้าวของข้อสนเทศผ่านความจำขณะทำงาน The Central Executive จะเข้ามาเกี่ยวข้องทุกครั้งที่ข้อสนเทศถูกแปลงรูป หรือถูกจัดกระทำ เช่น ในระหว่างการคิดเลขในใจ central executive ถูกเปรียบเทียบกับคณะกรรมการบริหารที่ควบคุมความตั้งใจ การเลือกยุทธศาสตร์ และ การบูรณาการข้อสนเทศ จากแหล่งที่แตกต่างกันหลายแหล่ง มันไม่ขึ้นกับช่องทางประสาทสัมผัสหรือเนื้อหา(modality or domain free) ทำตัวคล้ายกับตัวเชื่อมต่อ(a link) ระหว่างระบบย่อยๆที่ขึ้นกับการประมวลผลทางเสียงหรือทางภาพ ดังที่อธิบายโดย Baddeley(1986,1996b) central executive ซึ่งอาจไม่มีความสามารถในการ

เก็บความจำเอง กระตุ้นความจุของความจำขณะทำงานที่มีจำกัด โดยภาพรวมทั้งหมด นอกจากบทบาทที่สำคัญของมัน หน้าที่ของ central executive คือองค์ประกอบของ ความจำขณะทำงาน ที่เข้าใจกันน้อยที่สุด การขาดโครงสร้างที่ชัดเจนเป็นความท้าทายในการวัดและหน้าที่ที่หลากหลายของ central executive (Richardson, 1996a) อย่างไรก็ตาม มีฉันทามติระหว่างนักทฤษฎีเกี่ยวกับบทบาทหลักของการประมวลผล executive processing ใน ความจำขณะทำงาน ส่วนใหญ่เห็นด้วยว่า ความแตกต่างระหว่างบุคคลในด้านความจำขณะทำงาน ถูกกำหนดจากกระบวนการ central executive process

โดยทั่วไป central executive เข้ามาเกี่ยวข้องเมื่อใดก็ตามที่บุคคลต้องเก็บและประมวลผลข้อสนเทศพร้อมกัน (Tronsky, 2005) ภาระงานที่มีการแทรกแซงหรือภาระงานประมวลผลภาระงานที่สองในขณะที่เรียกร้องให้คงข้อสนเทศไว้จำเป็นต้องใช้ central executive เช่น central executive รับผิดชอบการจัดการสถานการณ์ที่เป็นภาระงานคู่(dual-task) ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยการประมวลผลข้อสนเทศขณะที่พยายามจะคงข้อสนเทศที่เหมือนหรือที่แตกต่างกัน ขณะที่นักวิจัยทดลองมักวาดภาพฉากนี้ว่าเป็นเอกลักษณ์(unique) มันเป็นปกติในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ทางวิชาการ ความต้องการที่เพิ่มเข้ามาของการประสานงาน 2 ภาระงาน อาจทำให้ความสามารถช้าลงและกดดันในการประมวลผลและภาระงานความจำ เช่นกัน เมื่อภาระความจำระยะสั้นเพิ่มขึ้น ความต้องการที่มีต่อ executive อาจเพิ่มขึ้น โดยภาพรวม บทบาทแรกของ central executive คือการประสานข้อสนเทศจากแหล่งที่ต่างกันจำนวนหนึ่งและจัดการความสามารถนั้นในภาระงานที่แยกงานแต่ต้องทำพร้อมกัน(Baddeley, 1996b) central executive จะถูกเรียกให้แสดงเมื่อหน้าที่การควบคุมเป็นเรื่องจำเป็น เช่นเมื่อบุคคลกำลังพยายามเอาตัวรอดในภาระงานทางพุทธิปัญญาหลายๆ อย่าง หรือในภาระงานที่ต้องประมวลผลคู่กัน (Savage, Cornish, Manly, & Hollis, 2006)

central executive มีแหล่งทรัพยากรที่จำกัด สำหรับจัดเก็บและประมวลผล (Gathercole & Baddeley, 1993) ทำให้จำเป็นเพื่อรักษาที่เก็บความจำระยะสั้นที่เฉพาะเจาะจงกับวิธีรับข้อสนเทศ(modality-specific) และเพื่อการรวมเข้ากับโครงสร้างความจำระยะยาวที่สามารถช่วยเรื่องการเก็บและการค้นคืน จนถึงปัจจุบัน การทำการค้นหาความจำระยะยาวและการรวบรวมเหตุการณ์ใหม่เป็นหน้าที่หลักของ central executive ที่สันนิษฐานไว้ อย่างไรก็ตาม หน้าที่ความ

รับผิดชอบดูเหมือนจะไม่สอดคล้องกับการขาดที่เก็บ ปัจจุบันจึงมีการเพิ่มเรื่อง episodic buffer ให้เป็นที่สำหรับเก็บผลผลิตของ central executive ไว้ชั่วคราว และเป็นที่ให้ตัวแทนความคิดระยะยาวมาทำงานได้ ข้อจำกัดของกระบวนการของ central executive หมายความว่า ยิ่งมีการแข่งขันเพื่อใช้แหล่งทรัพยากรมากเพียงใด ประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เพาะให้สมบูรณ์ก็ลดลงมากเพียงนั้น

Central Executive Core Functions

เป็นเวลาหลายปีที่ Baddeley (1980, 1996b, 2003b, 2006) ได้บรรยายหน้าที่หลักหลายประการของ central executive กล่าวคือ (1) การเลือกตั้งใจ (selective attention) ซึ่งเป็นความสามารถที่จะเน้นความตั้งใจ (focus attention) ไปที่ข้อสนเทศที่เกี่ยวข้องโดยไม่สนใจกับผลของข้อสนเทศที่ไม่เกี่ยวข้องที่เข้ามาขัดขวาง (2) switching ซึ่งเป็นความสามารถในการประสานกิจกรรมทางพุทธิปัญญาหลายอย่างพร้อมๆ กัน เช่นการแบ่งเวลาระหว่างการทำภาระงานคู่ (3) การเลือกและปฏิบัติการตามแผนและยุทธศาสตร์ที่ยืดหยุ่น (4) ความสามารถในการจัดสรรทรัพยากรให้กับส่วนอื่นๆของระบบความจำขณะทำงาน และ (5) ความวามารถในการค้นคืน(retrieve) ถือไว้(hold) และจัดการ(manipulate)ชั่วคราวกับ ข้อสนเทศ จากความจำระยะยาว Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, and Howerer (2000) ได้ตรวจสอบโครงสร้างของ Baddeley และระบุหน้าที่สำคัญ 3 อย่างของ central executive คือการยับยั้งชั่งใจ(inhibition), การสลับสับเปลี่ยน(switching), และ การทำให้ทันสมัย(updating) การยับยั้งชั่งใจ หรือ inhibition บางทีอาจเป็นหน้าที่มีสำคัญที่สุดของ central executive เป็นความสามารถที่จะตั้งใจหรือใส่ใจกับสิ่งเร้าหนึ่งในขณะที่ตัดหรือกดผลที่มารบกวนขัดขวางที่เกิดขึ้นโดยอัตโนมัติหรือข้อสนเทศที่ค้นคืนมาที่ไม่เกี่ยวข้องกับภาระงานที่ทำในขณะนั้น inhibition ยังปฏิเสธข้อสนเทศก่อนหน้าที่มีการกระทำ(activated) แต่ตอนนี้ไม่เกี่ยวข้องอีกต่อไปแล้วและกดการตอบสนองที่ไม่ถูกต้องด้วย ส่วน การสลับสับเปลี่ยน ที่เรียกว่า switching หรือ shifting หมายถึงความสามารถในการเปลี่ยนระหว่าง ภาระงาน ชุด หรือ การกระทำ ที่แตกต่างกัน เช่น สลับแผนการค้นคืน สำหรับ การทำให้ทันสมัย หรือ updating นั้นคล้ายกับ inhibition เป็นความสามารถในการควบคุมและทำให้ข้อสนเทศในความจำขณะทำงานนั้นทันสมัย เช่น

เมื่อพยายามที่จะคงคำสุดท้ายของแต่ละประโยคที่ถูกนำเสนอไว้ updating เป็นกระบวนการคงที่ของการทบทวนเมื่อมีข้อสนเทศที่ใหม่กว่าเกี่ยวข้องมากกว่า มาแทนที่ข้อสนเทศเดิมที่ไม่เกี่ยวข้องอีกต่อไปแล้ว (Swanson, Howard, & Saez, 2006) โดยทั่วไป หน้าที่หลักของ central executive ดูเหมือนจะเป็นความสามารถในการประสานระหว่างภาระงานที่แยกกัน 2 อย่าง (เช่น เก็บ กับ ประมวลผลข้อสนเทศ) ; สลับสับเปลี่ยนระหว่างภาระงาน เช่นค้นคืน และ เข้ารหัส ; ตั้งใจเลือกข้อสนเทศที่เฉพาะเจาะจงในขณะที่ยับยั้งชั่งใจไม่ใส่ใจกับข้อสนเทศที่ไม่เกี่ยวข้อง; และค้นคืนและกระทำกับข้อสนเทศจากความจำระยะยาว

Control of Attention

Baddeley(1986) อธิบายว่า central executive ไม่เพียงควบคุมความจำขณะทำงาน หากยังเป็นระบบช่วยเหลือด้านความตั้งใจที่รับผิดชอบในการควบคุม จัดระเบียบ และจัดกระทำกระบวนการทางพุทธิปัญญาที่ซับซ้อนหลายๆกระบวนการ ซึ่งส่วนมากเกี่ยวข้องกับความจำขณะทำงาน หน้าที่การจัดระเบียบขององค์ประกอบ central executive ของ Baddeley คล้ายกับใน Supervisory Attentional System(SAS) ที่นำเสนอโดย Norman and Shallice(1980) The SAS model เสนอว่าการกระทำถูกควบคุมได้ 2 ทาง การกระทำกิจกรรมที่เป็นอัตโนมัติถูกแนะนำโดย schemas ซึ่งถูก triggered จากตัวชี้แนะแวดล้อม เช่น คนขับรถเหยียบเบรกเมื่อไฟแดงปรากฏขึ้น(schema เป็นเครือข่ายความจำสำหรับมโนทัศน์หรือกระบวนการหนึ่งๆที่ถูกจัดโครงสร้างไว้) อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ่งเร้าใหม่หรือกิจกรรมใหม่เข้ามาเกี่ยวข้อง ระดับของ SAS ที่สูงกว่าจะแทรกแซงพฤติกรรมการควบคุมอย่างมีสติ ที่ระดับนี้ SAS ถูกมองว่าเป็นกลไกการควบคุมอย่างมีสติที่เน้นความตั้งใจไปที่ตัวแทนความจำที่เกี่ยวข้องมากที่สุดและยับยั้งการกระทำของ schema ต่างๆที่ไม่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงป้องกันการแทรกแซง ทั้ง SAS และ central executive model สอดคล้องกันในเรื่องของ การแข่งขันที่ว่าข้อเรียกร้องความต้องการของการประมวลผลจะลดลงในภาระงานที่กลายเป็นภาระงานปกติและอัตโนมัติขึ้น (Gathercole & Baddeley, 1993) แม้ว่า central executive จะมีความหมายถึงตัวประมวลผลความตั้งใจ(attentional

processor) แต่มันก็ไม่ได้ถูกตีความว่าสามารถแลกเปลี่ยนกับโครงสร้างของความตั้งใจได้

Automaticity

การประมวลผล central executive เป็นเรื่องจำเป็นเมื่อใดก็ตามที่มีการรบกวนหรือมีความล้มเหลวในกระบวนการประมวลผลอัตโนมัติ central executive ใช้ประโยชน์จากพัฒนาการของทักษะความเป็นอัตโนมัติ(ความสามารถที่จะทำภาระงานให้เสร็จสมบูรณ์โดยไม่ต้องใช้ความพยายามทางปัญญาอย่างมีสติ) เช่น การพูดและอ่านอย่างคล่องแคล่ว เนื่องจากการเป็นข้าวของทักษะเหล่านี้ต้องใช้การกำกับของ central executiveน้อย ดังนั้น จึงยอมให้ central executive ตั้งใจทำการประมวลผลในระดับสูงกว่า เช่น การให้เหตุผล อะไรที่ต้องใช้ central executive ขึ้นกับระดับของความเป็นอัตโนมัติของระเบียบและยุทธวิธีของความจำขณะทำงาน เช่น การท่องซ้ำ และการจัดกลุ่ม ตัวอย่างเช่น ผู้ใหญ่ใช้ทรัพยากร central executive 2-3 แหล่งในการกลับตัวเลข เนื่องจากมันเป็นกระบวนการประมวลผลที่เป็นอัตโนมัติสำหรับพวกเขา ในขณะที่เด็กๆจำเป็นต้องใช้ central executive ช่วยเหลือมากกว่าสำหรับงานที่ท้าทายแบบเดียวกันนี้ หน้าที่ที่เป็นอัตโนมัติของ phonological loop และ visuospatial sketchpad ให้ความสามารถที่มากกว่าสำหรับ central executive ที่จะดึงออกมา

Long-Term Memory Encoding and Retrieval

เรื่องสำคัญคือต้องตระหนักว่า central executive ไม่ได้อุทิศตัวเพื่อการจัดการความจำระยะสั้นและความจำขณะทำงานเท่านั้น แต่มันเกี่ยวข้องกับความจำระยะยาวด้วย เพื่อเพิ่มยุทธศาสตร์การนำไปใช้และหน้าที่การจัดการอื่นๆ central executive เกี่ยวข้องกับการกระทำที่ต้องใช้ความพยายาม การค้นคืน และการจัดการตัวแทนความคิดของความจำระยะยาว ปฏิสัมพันธ์แรกของมันกับความจำระยะยาวประกอบด้วยการกระทำและการค้นคืนข้อสนเทศจากแหล่งที่เก็บความจำระยะยาว ตัดสินใจว่าข้อสนเทศใดที่เกี่ยวข้อง และสร้างความเชื่อมโยงระหว่างรายการ โดยเฉพาะข้อสนเทศใหม่และความรู้เดิมที่มีอยู่ นอกจากการค้นคืนแล้ว central executive ยังรับผิดชอบเรื่องความพยายาม การเข้ารหัสข้อสนเทศใหม่อย่างมีสติ โดยเฉพาะข้อสนเทศทางภาษา เข้าในความจำ

ระยะยาว เมื่อทฤษฎีวิวัฒน์ไป Baddeley (1996b) ให้ความสำคัญกับบทบาทของ central executive ในการกระทำเป็นตัวแทนความคิดของความจำระยะยาวชั่วคราว มุมมองที่ขยายขึ้นของความจำขณะทำงานอาจนำไปสู่การเพิ่มเติมองค์ประกอบ episodic working memory เมื่อเร็วๆนี้

The Episodic Buffer

เพื่ออธิบายอิทธิพลของความจำระยะยาวที่มีต่อเนื้อหาของความจำขณะทำงาน Baddeley (2000,2006) เพิ่มเติมองค์ประกอบย่อยที่ 4 คือ the episodic buffer ในโมเดลของเขา episodic buffer เป็นองค์ประกอบที่มีความจุจำกัด

การเพิ่ม episodic buffer เนื่องมาจากความบกพร่องบางประการของโมเดลเริ่มต้น(Cowan, 2005) โดยเฉพาะ episodic buffer สามารถนับเป็นแหล่งเก็บชั่วคราวของข้อสนเทศจำนวนมากที่ดูเหมือนอยู่นอกเหนือจากระบบเก็บข้อสนเทศของ phonological และ visuospatial โดยปราศจากความเชื่อถือต่อที่เก็บใน executive component หรือการค้นคืนโดยตรงจากความจำระยะยาว (Baddeley, 2003) มันถูกเพิ่มเข้ามาในโมเดลของ Baddeley (Baddeley, 2006) หลังจากงานวิจัย(Hulme & Mackenzie, 1992; Logie, 1996) พบว่า ช่วงของความจำระยะสั้น (short-term memory span) ขึ้นกับข้อสนเทศจากความจำระยะยาว episodic buffer เป็นการตอบสนองต่อโมเดลอื่นๆของความจำขณะทำงานที่อ้างว่า ความจำขณะทำงาน เป็นมากกว่าบริเวณที่ทำงานของความจำระยะยาวนิดหน่อย อย่างไรก็ตาม Baddeley ปฏิเสธข้อสังเกตที่ว่า episodic buffer เป็นการสะท้อนตัวแทนความคิดความจำระยะยาวที่ทำงานอยู่อย่างง่ายๆ ตามมุมมองของ Baddeley แล้ว episodic buffer เป็นหน้าที่ที่เติมเต็มการเก็บความจำระยะยาวที่แยกออกมา episodic buffer เน้นความจริง ความจำขณะทำงานประมวลผลความรู้ มโนทัศน์เชิงนามธรรม ซึ่งใช้มากกว่ารหัสทางเสียงและทางภาพแบบง่ายๆที่พบในโมเดลที่มี buffer ของความจำระยะสั้นแค่ 2 อย่าง(Cowan, Saults, & Morey, 2006) มันไม่ใช่ว่าองค์ประกอบย่อย episodic แนะนำหน้าที่ใหม่ในโมเดลความจำขณะทำงานของ Baddeley หน้าที่ที่ตอนนี้ถูกมอบให้ episodic buffer นั้นรวมอยู่ใน central executive เสมอ นี่เป็นเหตุผลว่าทำไม Baddeley(2006) จึงถือว่า episodic buffer เป็นส่วนของ central executive

episodic buffer มีความสำคัญต่อการเรียนรู้ เพราะมันใช้รหัสหลายช่องทาง(multimodal codes) เพื่อบูรณาการตัวแทนความคิดจากองค์ประกอบของความจำขณะทำงานและความจำตะยะยาวเข้าเป็นตัวแทนความคิดเดียว

องค์ประกอบ episodic รวมรหัสภาพและคำพูดและเชื่อมมันเข้ากับตัวแทนความคิดพหุมิติ(multi-dimentional representations) ในความจำระยะยาว episodic buffer อาจรับผิดชอบต่อการเชื่อม episodes หรือหน่วยข้อสนเทศที่แยกๆกันอยู่ให้รวมเป็นกลุ่มก้อน และมันอาจบูรณาการส่วนย่อยๆให้เป็นโครงสร้างใหม่ การเปลี่ยนแปลงในการแสดงตัวแทนในความจำระยะยาวเกิดขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากการแสดงออก(exposures) ซ้ำๆหลายครั้งสำหรับข้อสนเทศเดียวกัน ในทางตรงกันข้าม episodic working memory สามารถนำเสนอข้อสนเทศสำหรับการเรียนรู้และการประมวลผลทันทีได้อย่างรวดเร็ว(Brown & Hulme, 1996)

การวิเคราะห์องค์ประกอบสนับสนุนโมเดลของ Baddeley

การสืบค้นเรื่องโมเดลความจำขณะทำงานหลายเรื่องได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเพื่อตรวจสอบความตรงของตัวแปรโครงสร้างนี้ ผลการวิจัยโดยทั่วไปสนับสนุน โมเดลความจำขณะทำงานหลายองค์ประกอบของ Baddeley ที่มี 2 หรือ 3 องค์ประกอบที่กล่าวแล้ว บางงานวิจัย(เช่น Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999) ได้ค้นพบองค์ประกอบใหญ่ 2 องค์ประกอบที่แบ่งภาระงานเป็นความจำระยะสั้นและความจำขณะทำงาน ในขณะที่การวิเคราะห์องค์ประกอบอื่นๆได้ชี้ว่ามี 3 องค์ประกอบคล้ายกับโมเดล 3 องค์ประกอบดั้งเดิมของ Baddeley(1986) บางงานวิจัย (Swanson&Berninger,1996) รายงานว่า Verbal และ Spatial working memory อยู่คนละองค์ประกอบ ความพยายามที่จะแยกหน้าที่ความจำเป็นส่วนๆไม่ประสบความสำเร็จ ดังเช่น Oberauer, Sub, Schulze, Wilhelm, and Wittman(2000) พยายามที่จะระบุองค์ประกอบความจำระยะสั้นด้านจำนวนตัวเลข โดยปกติ องค์ประกอบที่ระบุมีความสัมพันธ์ภายในทางบวกสูง ความสัมพันธ์ระหว่างกันสูงนี้ แม้ว่าจะเปลี่ยนไปบ้างจากพัฒนาการ สนับสนุนความตรงเชิงทฤษฎีหรือเชิงโครงสร้างของความจำขณะทำงานว่าเป็นแหล่งทรัพยากรพุทธิปัญญาทั่วไปแหล่งเดียว(one general cognitive resource) (Oberauer et al.,2000)

การตีพิมพ์ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงานที่อิงโมเดลของ Baddeley หลักฐานความตรงเชิงจิตเมตริกแบบดั้งเดิมเป็นเรื่องที่ใช้ไดในปัจจุบัน การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบสำรวจและแบบยืนยันแสดงโครงสร้างองค์ประกอบที่สนับสนุนโมเดล 3 องค์ประกอบของ Baddeley(Pickering & Gathercole, 2001b) ปัจจุบัน Alloway, Gathercole, and Pickering(2006) ศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบยืนยันเรียบร้อยแล้วที่ทำให้เกิดโมเดล 3 องค์ประกอบ ที่ องค์ประกอบการเก็บ verbal และ visuospatial

แยกกัน แต่สัมพันธ์กันกับองค์ประกอบ executive ที่เป็นตัวแทนของความแปรปรวนร่วมกันระหว่างการประมวลผล short-term verbal และ visuo-spatial

การสนับสนุน(contributions) จาก Daneman and Carpenter

Daneman and Carpenter(1980) ได้รับการยอมรับว่าเป็นผู้ขยายโครงสร้างของความจำขณะทำงาน โดยเฉพาะในกระบวนการภาษาศาสตร์ระดับสูงและในการพัฒนาการวัดการทำหน้าที่ที่ซับซ้อนของความจำขณะทำงานโดยตรง Daneman และ Carpenter สังเกตว่าภาระงานประเภท simple span เช่น digit span นั้น มีความสัมพันธ์กับภาระงานที่ต้องใช้พุทธิปัญญาเช่นความเข้าใจในการอ่าน ต่ำ สหสัมพันธ์ที่มีค่าน้อยนี้นำเขาไปสู่ข้อสรุปว่า วิธีการวัดความจำที่มีอยู่(ประมาณ 1980) ไม่ได้แตะต้องกระบวนการประมวลผลที่เป็นแก่นหลักของความจำขณะทำงาน ที่ตามมาก็คือ เขาได้สร้างเครื่องมือที่รู้จักกันในชื่อ reading span ที่ต้องการการประมวลผลและการเก็บข้อสนเทศไปพร้อมๆกัน เครื่องมือวัดแบบใหม่นี้มีความสัมพันธ์กับภาระงานทางพุทธิปัญญาที่ซับซ้อน เช่น ความเข้าใจในการอ่าน สูง(ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง .49 ถึง .59) และได้กลายเป็นกระแสหลักของการวัดความจำขณะทำงาน

Daneman and Carpenter(1980) เน้นที่มิติการประมวลผลของความจำขณะทำงาน เขาอ้างว่าสิ่งที่ปรากฏว่าเป็นความจุความจำที่น้อยกว่า อาจเป็นผลมาจากการประมวลผที่ไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งลดความสามารถของแหล่งทรัพยากรที่ใช้เพื่อความคงทนของข้อสนเทศ พวกเขายืนยันว่า การกระทำทางความคิดที่ซับซ้อนใช้ประโยชน์จากแหล่งทรัพยากรความจำขณะทำงานและทำให้การประมวลผลทางความคิดมีประสิทธิภาพมากกว่า และมีแหล่งทรัพยากรสำหรับการเก็บความจำระยะสั้นมากกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพของการประมวลผลแปรเปลี่ยนไปตามภาระงาน ความจุของความจำขณะทำงานจึงแปรเปลี่ยนไป ขึ้นกับภาระงานในขณะนั้น จากมุมมองนี้ แต่ละบุคคลไม่ได้มีความจุแตกต่างกัน หากแต่เป็นที่ประสิทธิภาพของการประมวลผลแตกต่างกัน หมายความว่า ความสามารถในการเก็บและการประมวลผลมีค่าคงที่ อายุสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงใน memory span ซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ความสามารถของความจำขณะทำงานถูกระบุโดยความต้องการของภาระงานและประสิทธิภาพในการประมวลผลของแต่ละบุคคล

แม้โมเดลนี้จะมองว่า ความจำขณะทำงาน ประกอบด้วยทั้งหน้าที่ในการเก็บและการประมวลผล(Just & Carpenter, 1992) แต่โมเดลนี้ลดความจำเป็นของแหล่งที่เก็บเฉพาะข้อสนเทศที่เฉพาะเจาะจงตามช่องทางการรับสัมผัส(modality specific storage

buffers) สำหรับ Daneman and Carpenter(1980) ความจำขณะทำงาน สอดคล้องกับ central executive ในทฤษฎีของ Baddeley จากมุมมองของพวกเขา ความสามารถในภาระงาน complex span ขึ้นกับประสิทธิภาพของการประมวลผล central executive ข้อกล่าวอ้างที่โต้แย้งกันโดย Bayliss, Jarrold, Baddeley,and Gunn(2003) ผู้ซึ่งพบว่าความแตกต่างในความจุความจำเป็นตัวกำหนดที่สำคัญของสมรรถนะใน complex span

Kane and Engle's Executive Attention Model

Kane, Engle และคนอื่นๆ(Engle 1996, 2002; Kane et al.,2001) วาดภาพความจำขณะทำงานว่าเป็น executive attention function ที่แตกต่างจากความจำระยะสั้น Kane และ Engle สร้างกรณีที่ความจุความจำขณะทำงานไม่ใช่เรื่องของ short-term span หากแต่เป็นเรื่องความสามารถที่จะควบคุมความตั้งใจเพื่อจะรักษาข้อสนเทศให้อยู่ในภาวะ active สามารถค้นคืนได้อย่างรวดเร็ว พวกเขานิยาม executive attention ว่าหมายถึง ความตั้งใจที่ควบคุมไว้(controlled attention) ในลักษณะของ "an executive control capacity, that is, an ability to effectively maintain stimulus, goal, or context information in an active, easily accessible state in the face of interference, to effectively inhibit goal-irrelavant stimuli or responses or both"(Kane et al.,20001,p180) Executive attention ไม่เพียงแต่ยอมให้มีการเปลี่ยน (switching) ระหว่างภาระงานที่เป็นคู่แข่งกัน แต่ยังรักษาข้อสนเทศที่ต้องการโดยการกด(suppressing) และยับยั้ง(inhibiting) ข้อสนเทศที่ไม่เกี่ยวข้องหรือไม่ต้องการ ดังนั้น ความจุของความจำขณะทำงานเป็นฟังก์ชั่นของกระบวนการ executive ที่สามารถเน้น attention ได้ดีเพียงใด ต่อ วัสดุและเป้าหมายที่เกี่ยวข้อง ไม่ใช่ต่อความยาวของช่วงเวลาหรือมีความจุของความจำระยะสั้นมากเพียงใด

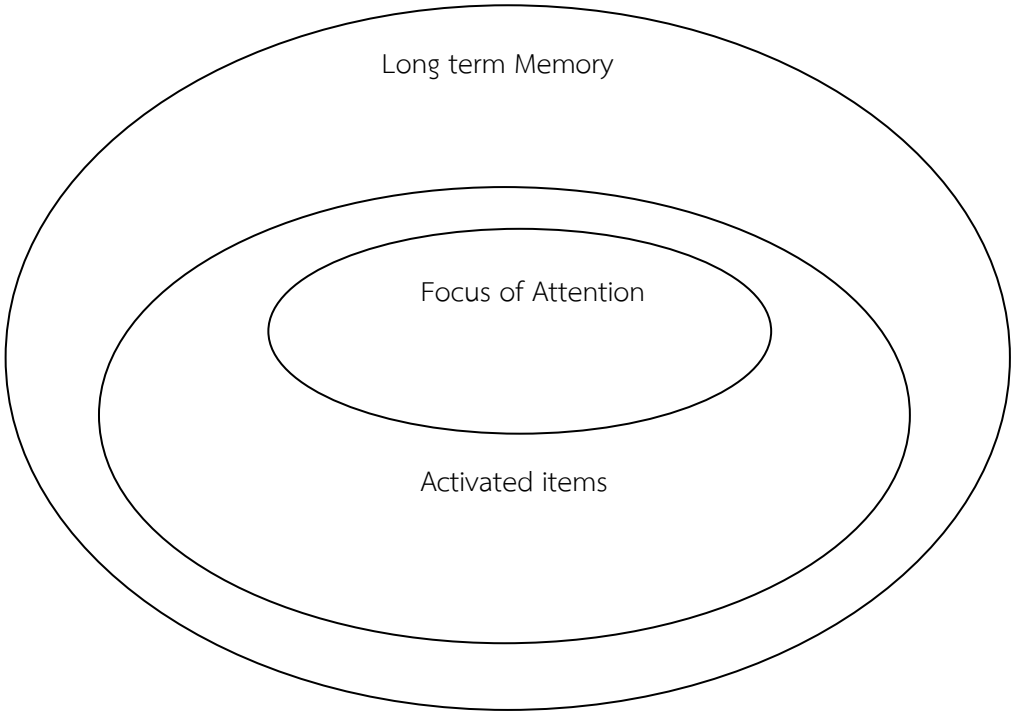
หลักฐานสำหรับโมเดลนี้มาจากงานวิจัยว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีช่วงความจำมากแสดงการควบคุมความตั้งใจได้ดีกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีช่วงความจำต่ำ โดยเฉพาะในภาวะปกติ คนที่มีช่วงความจำสูง are more adept at resisting inference than low span subjects(Kane et al.,2001) ความสามารถของพวกเขาในการยับยั้งการแทรกแซงทำให้พวกเขา retain และประมวลผลข้อมูลได้มากกว่า การแทรกแซงส่วนใหญ่เป็นการสร้างจากภายใน มักมีสาเหตุมาจากการเชื่อมโยงข้อสนเทศปัจจุบันกับข้อสนเทศเดิมซึ่งไม่เกี่ยวข้องอีกต่อไปแล้ว คนที่มีช่วง(span)ความจำขณะทำงานต่ำ ไม่สามารถแบ่งปันความตั้งใจให้กับการแทรกแซงที่กำลังขัดขวางอยู่ได้ (Kane & Engle, 2000) ดังนั้น บุคคลที่มีช่วงความจำขณะทำงานสูงอาจไม่จำเป็นต้องมีความจุของที่เก็บความจำระยะสั้นมากกว่าคนที่มีช่วงความจำขณะทำงานต่ำ ช่วงของความจำขณะทำงานถูกจำกัดโดย executive capacity เพื่อควบคุม attention และการแทรกแซงที่มาขัดขวาง (Hester & Garavan, 2005)

Kane and Engle(2000) เน้นบทบาทของความจำขณะทำงานในการค้นคืนและรักษาข้อสนเทศจากความจำระยะยาวอย่าง actively. ความจำขณะทำงานรับผิดชอบเรื่อง cue-dependent, ค้นหาแบบ focused ที่มีโอกาสสูงที่จะนำไปสู่การระลึกได้ (recall) อย่างถูกต้อง การใช้ตัวชี้แนะที่จุดเริ่มต้นของระยะการค้นคืนเพื่อจำกัดจำนวนการค้นหาไปที่เป้าหมายที่เหมือนมากที่สุด นอกจากนี้ กระบวนการ cue-dependent นำไปใช้ในการค้นคืนข้อสนเทศที่เพิ่งสูญหายไปจากที่เก็บความจำระยะสั้น เนื่องจากการเคลื่อนไปของความตั้งใจ ช่วงเวลานานขึ้น หรือ มี ตัวลวง ข้อสนเทศเหล่านี้มักเปลี่ยนไปสู่กลุ่มความจำที่ทำงานอยู่ในปัจจุบัน(recently activated pool of memory items) ที่พบในความจำระยะยาว การใช้ตัวชี้แนะที่ประสบความสำเร็จ นำข้อสนเทศที่สูญหายไปนี้เข้าสู่ความจำขณะทำงาน ตัวชี้แนะยอมให้ความจำขณะทำงานค้นคืนข้อสนเทศที่ถูกต้องในขณะที่มีการแทรกแซง ตามความคิดของ Kane and Engle (2000) คนที่มีความจุความจำขณะทำงานต่ำมีความยากลำบากในการเลือกและใช้ตัวชี้แนะที่ถูกต้องในการแนะแนวทางให้กระบวนการค้นหาในความจำระยะยาว เป็นผลให้มีตัวแทนที่ไม่เกี่ยวข้องจำนวนมากถูกค้นคืนและล้มเหลวอย่างสิ้นเชิงในการค้นคืนข้อสนเทศประเภท the sought-after ดังนั้นความแตกต่างของความจุความจำขณะทำงานของบุคคลอาจมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างของความสามารถในการ engage in a controlled, strategic search ของความจำระยะยาว ไม่ใช่แค่แตกต่างในเรื่อง controlling attention(Unswotth & Engle, 2007)

ในการถอดความทฤษฎีของ Kane and Engle เร็วๆนี้(Unswotth & Engle, 2007) ความจำขณะทำงานถูกมองว่าเป็นชุดย่อยชุดหนึ่งของหน่วยความจำจำนวนหนึ่งที่กำลังถูกกระตุ้นให้ทำงานอยู่อย่างขันแข็ง(a subset of activated memory units) บางหน่วย active สูงมากและสามารถถูกพิจารณาในองค์ประกอบของความจุที่จำกัดของความจำระยะสั้น ในขณะที่หน่วยอื่นๆ อยู่ในกลุ่มใหญ่กว่าที่สามารถถูกเก็บรักษาไว้เป็นช่วงเวลาที่ยาวกว่า

Cowan's Embedded-Process Model

Cowan(2005) เป็นนักจิตวิทยาชาวอเมริกันอีกคนหนึ่งที่ขยายแนวคิดเรื่องโครงสร้างของความจำขณะทำงานอย่างมาก เปลี่ยนมุมมองของความจุขณะทำงานและเชื่อมต่อความจำขณะทำงานเข้ากับความจำระยะยาวอย่างใกล้ชิด Cowan(1993, 1995, 1999, 2001,2005) ได้เพิ่มความก้าวหน้าให้กับทฤษฎีความจำขณะทำงาน เน้นที่จุดอ่อนของโมเดลของ Baddeley และตอบสนองต่อข้อค้นพบในปัจจุบัน โมเดลของเขา(2005) เน้นที่ focus of attention, level of activation, และ expertise ว่าเป็นคุณลักษณะสำคัญของความจำขณะทำงาน



ภาพ 2.25 Cowan's (2005) embedded process model

ดังที่นำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Anderson(1983) การปฏิบัติ(activation) เป็นแหล่งทรัพยากรจำกัดที่แผ่ไปทั่วทุกมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องโดยอัตโนมัติ เมื่อจำนวนของ activation มาถึงขีดตำกัดวิกฤติ รายการที่เคลื่อนเข้ามาที่ activated pool และกลายเป็นการง่ายที่จะเข้าถึงรายการที่ activated สูงสองสามรายการที่เป็นจุดเน้นของความตั้งใจจะถูกฝังเข้าในแอ่งความจำปฏิบัติการ(activated memory pool) ระบบทำหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจาก activated แต่ยับยั้ง(inhibition) รายการที่ไม่เกี่ยวข้อง

จุดเน้นของความตั้งใจหรือ focus of attention ทาแทนที่ที่เก็บความจำหลายแหล่งที่แยกจากกัน และ central executive ของโมเดลของ Baddeley โดย Cowan ชี้ว่า จุดเน้นความตั้งใจที่จำกัด จำกัดความคงทนและการประมวลผลของความจำขณะทำงาน ไม่ใช่ความสามารถในการ storage ปกติ focus of attention จะทำได้เพียง 3-5 กลุ่มข้อมูลที่ activated ในเวลาหนึ่ง ขึ้นกับความซับซ้อนของภาระงาน ในขณะที่ความกว้างของแอ่ง activated memory ไม่ได้มีข้อจำกัดแคบๆเช่นนั้น ความสามารถหรือความพร้อมในการเข้าถึงแอ่งของ activated long term memory fดูเหมือนรับผิดชอบต่อความสามารถของเราในการจัดการกับข้อสนเทศ มากกว่าจะบ่งชี้โดยการวัดจาก Working memory span การ

ประมวลผลข้อสนเทศอย่างมีสติขึ้นกับความสามารในการเปลี่ยน(shift) และจำกัด (restrict) ความตั้งใจเฉพาะข้อสนเทศที่จำเป็นเท่านั้น ตัวอย่างเช่น การถอดรหัสทางภาษา ต้องใช้ activating และ focusing ที่ schema ที่เกี่ยวข้อง การศึกษาความเร็วในการค้นคืน (เช่นงานของ McElree, 1998) สนับสนุนโมเดลของ Cowan โดยการค้นพบว่า รายการที่คาดหวังว่าจะอยู่ใน focus of attention จะถูกค้นคืนได้เร็วกว่ารายการที่เพิ่ง activated ไป แต่ไม่ได้อยู่ใน focus of attention นอกจากนี้ ความสามารถของ focus of attention อาจวัดได้จากจำนวนรายการที่สามารถเข้าถึงได้ทันที รายการที่ activated ที่อยู่นอก focus of attention ต้องการเวลาในการเข้าถึงมากกว่า เพราะขั้นตอนการค้นคืนเป็นเรื่องจำเป็น (Verhaeghen,Cerella,& Basak,2004)

ในส่วนของปฏิสัมพันธ์กับความจำระยะยาว ความจำขณะทำงานสร้างความเชื่อมโยงระหว่างรายการที่ activated ในความจำระยะยาว กับ ข้อสนเทศใหม่ที่กำลังประมวลผลอยู่ Cowan(2005) แนะนำว่า ระดับของ activatation ที่สูง เกี่ยวข้องกับ เนื้อหาของความจำขณะทำงานขณะนั้น

Oberauer's Facet Theory

อีกมุมมองหนึ่งที่เน้นที่แง่มุมของการบริหารจัดการ(executive)ของความจำขณะทำงาน คือ facet model ที่เสนอโดย Oberauer et al.(2000, 2003) Oberauer แบ่งความจำขณะทำงานเป็น 2 มิติใหญ่ๆ มิติแรกเป็นด้านเนื้อหาสาระซึ่งมี 2 องค์ประกอบ และอีกมิติหนึ่งเป็นมิติด้านการทำหน้าที่ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการทั่วไป 3 กระบวนการ ตามแนวทางของโมเดลของ Baddeley มิติด้านเนื้อหามี 2 องค์ประกอบ (1) คำพูดภาษาและตัวเลข(verbal and numerical) และ (2) รูปภาพและปริภูมิ(figural and apatial) องค์ประกอบด้านการทำหน้าที่ 3 ด้าน ได้แก่ storage ในบริบทของการประมวลผล การ coordination และ supervision โดย storage ในบริบทของการประมวลผล หมายถึง การ storage และ processing พร้อมๆกันซึ่งเป็นหน้าที่หลักของความจำขณะทำงาน ส่วน coordination เป็นความสามารถในการสร้างความสัมพันธ์ใหม่ระหว่างองค์ประกอบย่อยๆ และบูรณาการความสัมพันธ์เข้าเป็นโครงสร้าง ในขณะที่ supervision ประกอบด้วยการกำกับกระบวนการประมวลผลที่กำลังดำเนินการอยู่ เลือกกระทำตัวแทนความคิดที่เกี่ยวข้อง และกดสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องหรือสิ่งที่เป็นตัวรบกวน ในส่วนของความพยายามจำแนกระหว่างความจำระยะสั้นและความจำขณะทำงาน Oberauer et al.(2003) นิยามการประมวลผลความจำขณะทำงาน ในลักษณะของการแปลงข้อสนเทศหรือกระทำ

ข้อสนเทศใหม่ นิยามที่แคบเข้าของความจำขณะทำงาน ไม่ได้รวมความจำระยะสั้นและการทำหน้าที่ของมัน เช่น การท่องซ้ำ และการจัดกลุ่มรายการ

ในขณะที่ Baddeley และคนอื่นๆมีสมมติฐานเรื่อง executive function ที่แตกต่างกันหลายประการ มีเพียงนักวิจัยบางคน เช่น Oberauer ที่พยายามระบุหน้าที่เฉพาะ งานวิจัยที่ทำโดย Buchner, Mangels< Krumm, and Ziegler (2005) และ Oberauer et al.(2003) สนับสนุนโมเดลของ Oberauer โดยการระบุองค์ประกอบการทำหน้าที่ 3 องค์ประกอบที่เสนอโดย Oberauer เขายืนยันว่าหลักฐานสำหรับโมเดลของเขาชี้ไปที่โครงสร้างที่มีการจัดลำดับของข้อสนเทศในความจำขณะทำงาน คำอธิบายที่ว่าทำไมเราจึงมีความสามารถทั้งกักเก็บและประมวลผลข้อสนเทศในเวลาเดียวกัน คือ เราสามารถคงเนื้อหาที่ไม่จำเป็นใน background โดยไม่ต้องมีการแทรกแซงเนื้อหาเหล่านั้นกับส่วนที่กำลังทำงานของความจำขณะทำงาน เขาจำแนกระหว่างเนื้อหาที่เป็น passive และ active กับเนื้อหาที่เข้าถึงได้โดยตรงเพื่อการประมวลผลต่อไป การคงรายการไว้มากเกินไปในภาวะที่กำลังทำงานจะทำให้ความเร็วของปฏิบัติการความจำขณะทำงานทีค่าลดลง

Neuropsychology Evidence

หลักฐานทางประสาทจิตวิทยาสนับสนุน multicomponent working memory models ที่เสนอครั้งแรกโดย Baddeley แน่นอนว่า โมเดลความจำพยายามเป็นตัวแทนความคิดของคุณลักษณะการทำหน้าที่มากกว่าคุณลักษณะทางโครงสร้าง ดังนั้น การแบ่งความจำขณะทำงานในเชิงทฤษฎีเป็นหน้าที่การทำงานใหญ่ๆ ไม่ได้หมายความว่า มีสมองเฉพาะส่วนที่ตอบสนองต่อกระบวนการของความจำขณะทำงานที่แตกต่างกัน การศึกษาภาพถ่ายสมองเมื่อเร็วๆนี้ พบว่า มี activation ของบริเวณสมองที่ต่างกันในขณะทำภาระงานความจำขณะทำงานที่ต่างกัน เช่นงานของ Hedden and Yon's (2006) พบว่า verbal, visuospatial, และ executive working memory ต่างเกี่ยวข้องกับบริเวณสมองที่ต่างกัน การวิจัยอื่น(เช่น Prabhakaran et al.,2000) พบเช่นกันว่ามีวงจรประสาทแยกกันสำหรับองค์ประกอบย่อยทาง verbal และ visuospatial นอกจากนี้ มีกรณีศึกษาผู้ป่วยหลายรายที่ได้รับบาดเจ็บทางสมองที่สร้างความเป็นอิสระในกลไกสมองตามองค์ประกอบตั้งต้นของ Baddeley งานวิจัยสนับสนุนข้อสรุปเกี่ยวกับ neuroanatomy ของความจำขณะทำงานดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 บริเวณสมองที่มีรายงานว่าถูกกระตุ้นขณะมีกระบวนการของความจำขณะทำงาน

Working Memory Process	**Hemisphere**	**Cortical Areas**
Phonological	Left	
Storage	Left	Posterior parietal Inferior parietal Brodmann's area 40 Supramarginal gyrus
Rehearsal	Left	Broca's area Anterior temporal frontal
Visuospatial	Right	Premotor cortex Occipital Inferior frontal
Visual	Right	Occipital
Spatial	Right	Parietal
Episodic	Left/Right	Left Hippocampus
Executive	Bilateral	Dorsolateral prefrontal Anterior cingulated

บริเวณต่างๆในสมองอาจถูกกระตุ้นพร้อมกันได้ ขึ้นกับลักษณะของภาระงานความจำขณะทำงาน รวมทั้งตำแหน่งใน frontal, parietal, และ temporal lobes งานวิจัยหลายเรื่องที่ทบทวนโดย Cowan(2005) แสดงการทำงานพร้อมกัน(coactivation) ของระบบ frontal และ posterior ระหว่าง working memory storage และ processing ในขณะที่ frontal lobes อาจจัดสรรทรัพยากร บริเวณ parietal areas เกี่ยวข้องกับการประมวลผลต่อไป และบริเวณที่ประมวลผลการรับรู้(perceptual processing areas) เกี่ยวข้องกับ retention of modality-specific information(Cowan, 2005) Cowan(1995) แนะนำว่า frontal lobes รักษาระบบประสาทที่เหมาะสมในส่วนต่างๆของสมองเพื่อจะรักษาความเป็นตัวแทนของสิ่งเร้า งานวิจัยเหล่านี้แสดงว่า prefrontal cortex ขยาย posterior activation, รวมทั้ง activation ของบริเวณที่กักเก็บความจำระยะยาว หลักฐานนี้ชี้ว่ากระบวนการประมวลผลของความจำขณะทำงานไม่ได้ตีวงจำกัดอยู่ที่ frontal lobes แต่ยังสนับสนุนความเชื่อที่ว่าความจำระยะยาวและความจำขณะทำงานมีปฏิสัมพันธ์กันสูง

จากมุมมองของประสาทวิทยา ความสามารถอาจเป็นดัชนีว่ามีสมองกี่บริเวณใน frontal lobes ที่สามารถเกี่ยวข้องพร้อมกันในกระบวนการประมวลผลความจำขณะทำงาน

นอกจาก activation ที่แผ่กว้างระหว่างการทำภาระงานความจำขณะทำงาน ภาพถ่ายสมองขณะทำภาระงานความจำระยะสั้น(ภาระงาน storage เท่านั้น) แสดง brain activation ในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาสาระของภาระงาน เช่น verbal short term storage เกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ของสมองซีกซ้าย ในขณะที่ visuospatial เกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ของสมองซีกขวา การทำงานที่ Posterior เกี่ยวข้องกับเนื้อหาสาระหรือ materials บริเวณเฉพาะใน parietal และ temporal เกี่ยวข้องกับ verbal หรือ spatial working memory ตัวอย่างเช่น right hemisphere premotor cortex ถูกกระตุ้นเมื่อใช้ visuospatial material(Smith & Jonides, 1997) ดังนั้น บริเวณที่ต่างกันที่ถูกกระตุ้นสะท้อนถึงการแยกเชิงประสาทของการกักเก็บข้อสนเทศทางภาษาหรือทางวาจา(verbal) และทางปริภูมิ(visuospatial) พอๆกับการแยกเชิงประสาทของกระบวนการ executive ออกจากระบบย่อยอีก 2 ระบบนั้น

ในระดับที่น้อยกว่า บริเวณ prefrontal เกี่ยวข้องกับความคงทน(retention) และการประมวลผล visuospatial และ verbal material บริเวณ left prefrontal(Broca's area) ถูกกระตุ้นเมื่อมีการประมวลผลด้าน verbal ตรงกันข้าม บริเวณ right prefrontal จะประมวลผลข้อสนเทศทั้ง verbal และ visuospatial (Prabhakaran et al.,2000) อย่างไรก็ตาม การกระตุ้นที่ prefrontal cortex มักเกิดเมื่อมีการประมวลผลทั้ง verbal และ visuospatial ดังนั้น กิจกรรมความจำขณะทำงานที่ซับซ้อน(ภาระงาน storage รวมกับ processing) ไม่เพียงแสดงการทำงานที่เฉพาะเจาะจงต่อเนื้อหาสาระ(content-specific activation) แต่กระตุ้นที่บริเวณ dorsolateral prefrontal cortex และ anterior cingulated (Fiez, 1996; Jonides et al., 1998) บริเวณ 2 ส่วนท้ายนี้เป็นบริเวณของ executive, attention, fluid reasoning และ general intelligence (Kane & Engle, 2002)

Phonological Loop Evidence

มีหลักฐานทางประสาทจิตวิทยา (Baddeley,1986,1996a) ชัดเจนสำหรับ phonological loop ภาพถ่ายสมองชี้ว่า phonological loop และกระบวนการท่องซ้ำ (rehearsal) ดำเนินการที่ระดับลึกบริเวณส่วนกลาง Baddeley(2003b) อ้างว่ากิจกรรม phonological loop เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นในสมองซีกซ้าย โดย พื้นที่ Brodmann 40 เกี่ยวข้องกับ phonological storage และพื้นที่ Broca เกี่ยวข้องกับการท่องในใจ(subvocal rehearsal) Gathercole et al.,(2004) อธิบายแตกต่างออกไป คือ phonological storage ถูกรับผิดชอบโดยวงจรประสาทในบริเวณสมองซีกซ้าย ช่วง inferior parietal areas และการ

ท่องซ้ำเกี่ยวข้องกับบริเวณ anterior temporal frontal areas. Baldo and Dronkers(2006) รายงานว่า supramarginal gyrus มีส่วนใน phonological store ในขณะที่ Broca's area มีส่วนใน articulatory rehearsal. นอกจากต่างบริเวณกันแล้ว ยังมีหลักฐานทางประสาทวิทยาสนับสนุนการแบ่ง phonological loop เป็น 2 องค์ประกอบ คือ a passive storage component และ a rehearsal component

Visuospatial Sketchpad Evidence

การศึกษาภาพถ่ายสมองบ่งชี้ว่า ความจำขณะทำงานด้านมิติปริภูมิส่วนใหญ่แล้ว (แต่ไม่ทั้งหมด) อยู่ในสมองซีกขวา(Baddeley,2003b) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณ occipital และ inferior frontal areas. การศึกษาภาพถ่ายสมองยังชี้อย่างหนักแน่นว่ามีระบบประสาทที่แยกจากกันในการดูแลองค์ประกอบย่อยของ visuospatial storage และ rehearsal(Smith and Jonides, 1997) มีหลักฐานว่า visuospatial sketchpad สามารถแบ่งได้เป็นองค์ประกอบด้าน visual และ spatial โดยองค์ประกอบด้าน visual อยู่ใน occipital lobes ในขณะที่องค์ประกอบด้าน spatial อยู่ใน parietal มากกว่า

Central Executive Evidence and the Role of the Prefrontal Cortex

คิดกันว่า หน้าที่การทำงานของกระบวนการหลักความจำขณะทำงานที่เรียกว่า executive processes อยู่ใน prefrontal cortex(Engle, Kane, & Tuholski, 1999) การวิจัยทางประสาทจิตวิทยาปัจจุบันเน้นที่บทบาทของ frontal lobes ในการควบคุมความจำขณะทำงาน (ดู Kane & Engle, 2002) ซึ่งพบว่า the dorsolateral prefrontal cortex รับผิดชอบการขัดขวางการแทรกแซงภาระงานการประมวลผลที่สองในขณะที่พยายามคงข้อสนเทศที่เป็น focus of attention ไว้ สังเกตพบการกระตุ้นที่ dorsolateral prefrontal เมื่อจำเป็นต้อง updating, shifting, และ refreshing เช่นเมื่อเข้าสู่ความสามารถในการทำภาระงานคู่(dual-task performance) (D' Esposito et al., 1995) ยิ่งกว่านั้น บริเวณ prefrontal ดูเหมือนมีบทบาทพิเศษในการบูรณาการข้อสนเทศประเภทต่างๆของความจำขณะทำงาน เช่น เมื่อคงทั้งข้อสนเทศแบบ verbal และ visualspatial ของสิ่งเร้า โดยเมื่อความต้องการความจำขณะทำงานเพิ่มขึ้น มีการกระตุ้นที่ prefrontal cortex มากขึ้น (Prabhakaran et al.,2000)

นอกจากข้อค้นพบนี้ การทำแผนที่สมอง(brain-mapping) ของ executive working memory จะยังคงเป็นที่ท้าทายต่อไป เนื่องจาก executive function ไม่สามารถทำได้โดยใช้เครือข่ายสมองเพียงเครือข่ายเดียว(Linden, 2007) นอกจากนี้ prefrontal cortex เป็นบริเวณสมองที่ structurally and functionally heterogenous. การศึกษาภาพถ่ายสมองเปิดเผยให้เห็นความหลากหลายระหว่างบุคคลในการกระจายของบริเวณที่ถูกกระตุ้นระหว่างการทำ

ภาระงาน executive working memory โดยไม่มีบริเวณ prefrontal บริเวณเฉพาะใดที่เด่นกว่า(D' Esposito et al., 1995) บางทีความหลากหลายนี้สะท้อนถึงการใช้ยุทธศาสตร์ที่ต่างกันในการทำภาระงาน executive processing Central executive ต่อ หรือมันอาจเกิดจากความแตกต่างในความต้องการของภาระงานที่มีต่อแต่ละบุคคล เช่นกัน prefrontal cortex ไม่ใช่พียงส่วนเดียวของสมองที่เกี่ยวข้องในการทำหน้าที่ของ executive working memory(Baddekey, 1996b)

หลังจากขยายการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับบทบาทของ prefrontal cortex ในด้านความจุความจำขณะทำงาน(working memory capacity). Kane and Engle(2002) สรุปว่า (1) มีหลักฐานยืนยันบทบาทของ dorsolateral prefrontal cortex(dPFC) ใน executive working memory (2) ความแตกต่างระหว่างบุคคลปกติใน working memory capacity ถูกคั่นกลาง(mediated) โดยความแตกต่างระหว่างบุคคลใน dPFC (3) dPFC เป็นโครงสร้างที่จำเป็นแต่ยังไม่เพียงพอสำหรับการทำหน้าที่ความจำขณะทำงาน -นั่นคือโครงสร้างประสาทอื่นๆก็จำเป็นด้วย (4) บทบาทหลักของ dPFC คือการรักษาข้อสนเทศเชิงรุก(active) ไว้ในขณะที่มีการปรากฏของตัวแทรกแซงเข้ามา โดยการระงับ หรือ กำจัดตัวลวงและข้อสนเทศที่ไม่เกี่ยวข้อง (5) หลักฐานทางประสาทสรีรวิทยาสนับสนุนมุมมองตามลำดับขั้นของความจำขณะทำงาน ที่มีระบบความจำขณะทำงานแยกจากกันในบริเวณ posterior ที่เชื่อมเครือข่ายกับ dPFC และ (6) ความจุความจำขณะทำงานทำนายภาระงานอื่นที่เรียกร้องหรือต้องการ executive attention

นอกจากนี้ ยังมีการค้นพบด้วยว่าบริเวณ prefrontal เดียวกันทำงานทั้งในขณะทำภาระงานความจำขณะทำงานและความจำระยะยาว (Ranganath, Johnson, & D' Esposito, 2003) นำไปสู่การสนับสนุนข้ออ้างที่ว่า กระบวนการ executive เดียวกันที่อยู่ในบริเวณ prefrontal สนับสนุนทั้งความสามารถในการทำภาระงาน ความจำขณะทำงานและภาระงาน ความจำระยะยาว ข้อค้นพบนี้ไม่ได้ปฏิเสธเรื่องมีระบบที่แตกต่างกันของความจำขณะทำงานและความจำระยะยาว หากแต่ ชี้ว่า กระบวนการขององค์ประกอบ executive เดียวกันถูกคัดเลือกในระหว่างกิจกรรมความจำที่มีเป้าหมายต่างกัน

Episodic Buffer Evidence

นอกจากหลักฐานทางประสาทวิทยาสำหรับองค์ประกอบด้าน phonological, visuospatial, และ executive ตามทฤษฎีของ Baddeley แล้ว ยังมีหลักฐานสนับสนุน episodic working memory ด้วย โดย Prabhakaran et al. (2000) พบหลักฐานของ buffer ที่อนุญาตสำหรับความคงทนชั่วคราวของข้อสนเทศที่ถูกบูรณาการแล้ว Rudner. Fransson, Ingvar, Nyberg, and Ronnberg (2007) รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายสมองที่สนับสนุนการมีอยู่

ของกระบวนการ episodic buffer processing. นอกจากการเข้าร่วมของสมองซีกซ้าย บริเวณ posterior –รวมทั้ง the right middle temporal lobe – มาเกี่ยวข้องในระหว่าง กระบวนการประมวลผล episodic สอดคล้องกับการแยก episodic buffer จาก การประมวลผล executive working memory processing เพียงบทบาทรองที่ถูกแสดงโดย บริเวณที่รู้จักกันว่าแสดงความสามารถในการทำหน้าที่ executive functions

ข้อค้นพบเพิ่มเติม

Dehn (2008) สรุปข้อค้นพบเพิ่มเติมว่า การสืบค้นทางประสาทจิตวิทยาจำนวนมากอาศัยพื้นฐานของกรอบแนวคิดความจำขณะทำงานของ Baddeley ที่ตามมาคือการศึกษาภาพถ่ายสมองของความจำขณะทำงานได้ให้หลักฐานขั้นต้นสำหรับโมเดลอื่นๆ นอกจากของ Baddeley ตัวอย่างเช่น โมเดลของ Cowan ได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยที่พบความแตกต่างที่เป็นไปได้ระหว่า focus of attention กับบริเวณของ direct access (Rypma & D' Esposito, 1999) ความจำขณะทำงานยังขึ้นกับสมดุลของสารสื่อประสาทในสมอง โดปามินเป็นสารสื่อประสาทที่สำคัญที่รู้กันว่ากำกับควบคุมกิจกรรมของเซลที่เกี่ยวข้องกับความจำขณะทำงาน(Goldman-Rakic, 1992) ความบกพร่องของโดปามีนใน prefrontal cortex สามารถทำให้สมรรถนะความจำขณะทำงานเสียไป

An Integrated Model of Working Memory

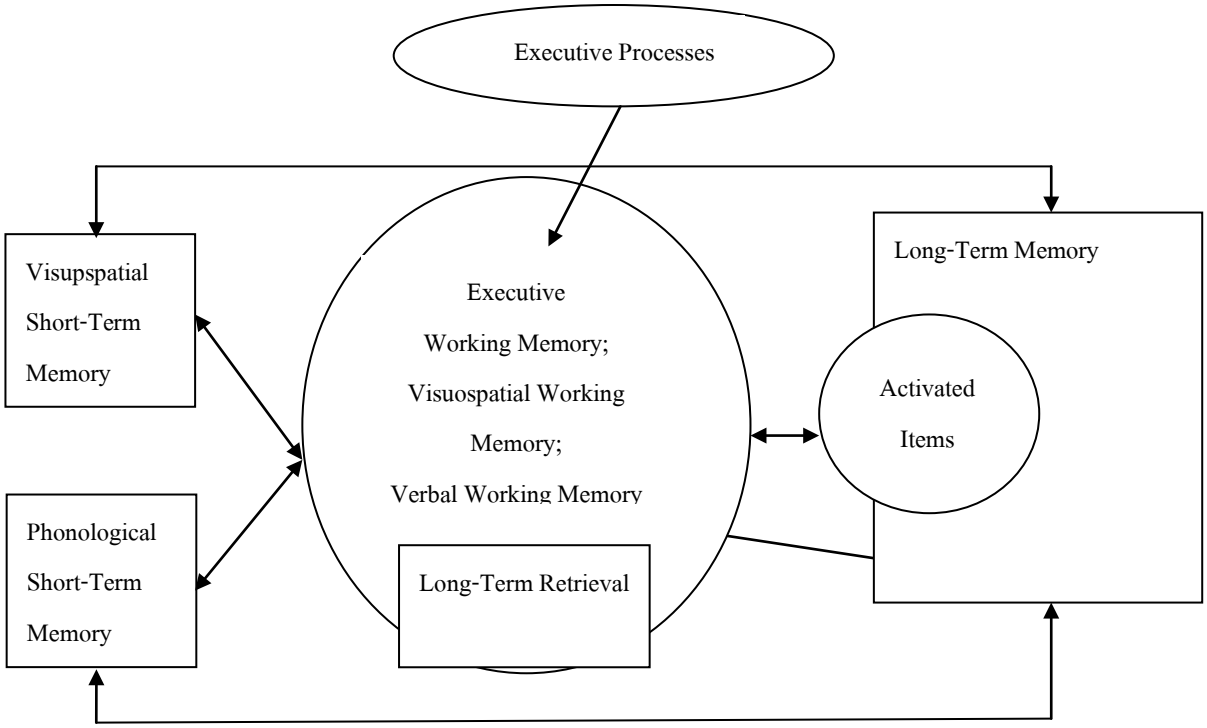
หลังจากทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับโมเดลความจำขณะทำงานทั้งหมด Dane (2008) สรุปว่า ปัจจุบันยังไม่มีโมเดลความจำขณะทำงานโมเดลใดที่ให้ภาพที่สมบูรณ์โดยเฉพาะที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนรู้ทางวิชาการได้ ความไม่สมบูรณ์นี้ไม่เพียงแต่ท้าทายเรื่องการวัดความจำขณะทำงาน แต่ยังให้ทิศทางที่ไม่ชัดเจนสำหรับการแทรกแซง (intervention)ด้วย ในมุมมองของ Dane สิ่งที่สนใจหลักๆในโมเดลความจำขณะทำงานปัจจุบันได้แก่ (1) ไม่มีขอบเขตที่ชัดเจนระหว่างความจำขณะทำงานและความจำระยะสั้น นักวิจัยส่วนใหญ่ใช้แทนที่กัน แสดงว่าความจำระยะสั้นและความจำขณะทำงานเทียบเท่ากัน (2) โมเดลความจำขณะทำงานที่เน้นที่ปฏิสัมพันธ์กับความจำระยะสั้นไม่ได้ให้กรอบความคิดที่สมบูรณ์ของความจำขณะทำงานกับความจำระยะยาว ส่วนใหญ่ละเลยอิทธิพลของความจำระยะยาวที่มีต่อความจุและความสามารถของความจำขณะทำงาน (3) นักวิจัยปัจจุบันที่เน้นปฏิสัมพันธ์ของความจำขณะทำงานกับความจำระยะยาวมีแนวโน้มที่จะละเลยบทบาทของความจำขณะทำงานในความจำระยะสั้น ยิ่งไปกว่านั้น ในขณะที่โมเดลเหล่านี้ explicate activation and retrieval, มันมัก remiss ในการอธิบายว่าความจำขณะ

ทำงานเข้ารหัสข้อสนเทศเข้าไปในความจำระยะยาวได้อย่างไร (4) Episodic buffer ของ Baddeley เน้นการเพิ่มที่ความจำ episodic ในขณะที่ละเลยการอธิบายว่าความจำขณะทำงานปรับเปลี่ยนโครงสร้างความคิดหรือ schemas ใน ความจำประเภท semantic memory อย่างไร (5) นอกเหนือจาก reliance ของความจำขณะทำงานต่อการเก็บความจำระยะสั้นและความจำระยะยาวแล้ว ยังมีความไม่เห็นพ้องกันระหว่างรูปแบบและextent ของความจุความจำชั่วคราวของตัวความจำขณะทำงานเอง (6) นักจิตวิทยาบางคนขยายแนวคิดเรื่องความจำขณะทำงานไปจนทำให้มันเกือบไม่มีความหมาย พวกเขาเทียบความจำขณะทำงานใกล้ๆกับการประมวลผลทางปัญญาในภาวะที่มีสติเกือบทั้งหมด ทั้ง executive processing, การให้เหตุผล, ความตั้งใจ, การประมวลผลทางภาษา,และจนถึงสติปัญญาทั่วไป นิยามที่กว้างมากของความจำขณะทำงานดังเช่น " mental workspace" และ "processing while trying to retain information" ไม่ได้ช่วยอะไรมากในการทำให้โครงสร้างเชิงทฤษฎีชัดเจนขึ้น (7) นักทฤษฎีบางคนจำแนกหน้าที่ของความจำขณะทำงานทั้งหมดเป็น executive functions และ vaguely อ้างถึง actual nonexecutive processes conducted โดยความจำขณะทำงาน มีความจำเป็นต้องแยกระหว่าง ความจำขณะทำงาน และ executive functioning, พอๆกับต้องจำกัด (delineate) การปฏิบัติการ nonexecutive operations working memory performs และ (8) สำหรับโมเดลที่เน้นความจำกัดของความจำระยะสั้นและความจำขณะทำงาน ค่าประมาณความจุของระบบการเก็บข้อสนเทศมีขนาดเล็กมากเกินกว่าที่จะรับผิดชอบสำหรับการเรียนรู้ที่ซับซ้อนทุกประเภท ความเข้าใจ และ สมรรถนะทางปัญญาซึ่งข้อสนเทศส่วนมากถูกประมวลผลและค้นคืน

โครงสร้างของโมเดลความจำขณะทำงานแบบบูรณาการ

Dane (2008) นำเสนอโมเดลความจำขณะทำงานแบบบูรณาการ โดยกล่าวว่าทฤษฎีดั้งเดิมส่วนมากพัฒนาโมเดลของความจำที่วางความจำระยะสั้นไว้ในความจำขณะทำงาน(Baddeley, 2003b; Danerman & Carpenter, 1980) ในขณะที่โมเดลที่ตีพิมพ์ในปัจจุบันได้รวมหน้าที่การทำงานของความจำระยะยาวและการเป็นตัวแทนความคิด (representation) ไว้ในความจำขณะทำงานด้วย(Cowan, 2005) หรือได้วางตำแหน่งของความจำขณะทำงานไว้ในความจำระยะยาว (Ericsson & Kintsch, 1995) ในโมเดลบูรณาการของความจำขณะทำงานที่เสนอโดย Dane นี้ (ภาพ 2.26)ความจำระยะสั้น ความจำขณะทำงาน และ ความจำระยะยาว แตกต่างกัน และต่างเป็นประเภทของความจำที่เป็น

อิสระต่อกัน ความจำขณะทำงานซึ่งมักเป็นตัวประสาน(interface) ระหว่างระบบการเก็บความจำ 2 ระบบ ทำงานทั้งกับหน่วยที่คงอยู่ชั่วคราวในความจำระยะสั้นและกับหน่วยถาวรจากความจำระยะยาวที่ถูกกระตุ้นให้ทำงาน(activated) ที่เวลาใดเวลาหนึ่ง จุดเน้นของความจำระยะยาวอาจเป็นวัสดุจากที่เก็บความจำระยะสั้น หรือองค์ประกอบต่างๆจากที่เก็บความจำระยะยาว หรือการรวมกันของทั้งสองอย่าง ความจำระยะสั้นสามารถเข้ารหัสข้อสนเทศโดยอัตโนมัติเข้าไปในความจำระยะยาวโดยไม่ต้องมีการช่วยเหลือจากความจำขณะทำงาน และ ความจำระยะยาวก็สามารถ activate และค้นคืนข้อสนเทศได้โดยอัตโนมัติ การเก็บข้อสนเทศทั้งในความจำระยะสั้นและความจำระยะยาว เป็นเรื่องเชิงรับ(passive) ซึ่งข้อสนเทศส่วนใหญ่ถูกเข้ารหัสหรือถูกค้นคืนโดยตรงโดยไม่ต้องมีกระบวนการจัดการอย่างมีสติใดๆ



ภาพ 2.26 Integrated model of working memory ของ Dehn (2008)

เนื่องจากทั้งความจำระยะสั้นและความจำระยะยาวสามารถทำงานได้โดยอิสระและเป็นอัตโนมัติ ไม่ต้องถูกพิจารณาว่าเป็นระบบย่อยของความจำขณะทำงาน ยิ่งกว่านั้นที่ภาวะที่มาก่อน ความจำขณะทำงาน **ทำงาน** กับวัสดุที่อยู่ในที่เก็บทั้ง 2 ส่วน การทำงานนี้ประกอบด้วยการจัดการอย่างมีความพยายามเต็มที่บางประเภทที่ออกแบบเพื่อการใช้ประโยชน์ข้อสนเทศที่เกี่ยวข้องอย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าหน้าที่บางอย่างของความจำ

ขณะทำงานสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นการจัดการ(managerial)หรือเป็นผู้แนะนำหรือเป็นพี่เลี้ยง(supervising) แต่มันเป็นการนำไปสู่ความเข้าใจผิดว่า ความจำระยะสั้นหรือระยะยาวเป็นระบบที่เป็นองค์ประกอบกัน (subsidiary systems) เราไม่ควรมองความจำขณะทำงานว่าเป็นระบบย่อยของทั้งความจำระยะสั้นหรือความจำระยะยาว ลองเปรียบเทียบหน้าที่ของ executive functions ที่ จัดการและแนะนำการทำหน้าที่ทางปัญญาทุกอย่างอย่างสม่ำเสมอ แต่เราไม่ได้ถือว่า การประมวลผลทางปัญญาทุกอย่างเหล่านั้นเป็นระบบย่อยของ executive processing ความคิดที่ว่าระบบย่อยความจำ 3 ระบบแยกจากกัน ได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยที่พบขนาดความสัมพันธ์เพียงเล็กน้อยระหว่างความจุของ short-term auditory memory กับ ความจุของ Working memory central executive(Pennington et al., 1996; Swanson, 1994) ยิ่งกว่านั้น มีฉันทามติในระหว่างนักจิตวิทยาว่า ความจำระยะสั้น ความจำขณะทำงาน และ ความจำระยะยาว เป็นระบบความจำที่แยกกัน โชคร้ายที่เครื่องมือวัดปัจจุบันมักไม่ได้ทำให้แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังเช่นความจำ 2 ประเภทหรือมากกว่าที่มักถูกวัดโดยใช้ภาระงานเดียวกัน

ภายในโมเดลบูรณาการนี้ ความจำขณะทำงานเชื่อมโยงใกล้ชิดกับความจำระยะยาวมากกว่าความจำระยะสั้น สอดคล้องกับโมเดลความจำขณะทำงานในปัจจุบันหลายโมเดล โมเดลก่อนๆเป็นการทำงาน(activation) การค้นคืน(retrieval) การบำรุงรักษา(maintenance) การเข้ารหัส(encoding) และการปรับโครงสร้างใหม่(restructuring) ของข้อสนเทศจากที่เก็บความจำระยะยาว จากมุมมองนี้ ความจำขณะทำงานมีปฏิสัมพันธ์กับความจำระยะสั้นต่อไป แต่แหล่งทรัพยากรส่วนใหญ่ของมันอุทิศให้กับความจำระยะยาว บางทีนี่เป็นเหตุผลว่าทำไมข้อสนเทศจึงสูญหายไปง่ายจากที่เก็บความจำระยะสั้น และทำไมการเก็บความจำระยะสั้นจึงยุ่งยากเมื่อมีความต้องการหรือการเรียกร้องการใช้ประโยชน์ของตัวแทนความคิดระยะยาวจำนวนมากๆมาใช้ในความจำขณะทำงาน ที่สำคัญกว่านั้น คือ การเชื่อมต่ออย่างใกล้ชิดกับความจำระยะยาว อธิบายว่า ทำไมเราจึงแสดงความจุของความจำขณะทำงานในโลกแห่งความเป็นจริงมากกว่าที่ควรถูกรับผิดชอบโดยเครื่องมือวัดความจำขณะทำงานที่เป็นเครื่องมือวัดความจำระยะสั้นอย่างเช่น digit span การบอกว่า ความจำขณะทำงานมีปฏิสัมพันธ์และขึ้นกับความจำระยะยาวเป็นการประมาณความจุของความจำขณะทำงานว่าไม่ได้ขึ้นกับการวัดความจำระยะสั้นอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น Anderson(1993) พบว่า ที่ขณะหนึ่ง ความจำขณะทำงานสามารถบรรจุมากกว่า 20 active long-term units ความใกล้ชิดกับความจำระยะยาวอาจอธิบายความสัมพันธ์ที่เข้มแข็งระหว่างความจำกับการประมวลผลที่ซับซ้อนและการเรียนรู้ทางวิชาการ โมเดลบูรณาการนี้เน้นที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความจำระยะยาวและ

ความจำขณะทำงาน สอดคล้องกับมุมมองของนักจิตวิทยาปัจจุบันที่เชี่ยวชาญในงานวิจัยด้านความจำขณะทำงาน(เช่น Cowan, 2005)

องค์ประกอบและการทำหน้าที่ของความจำระยะสั้น

ความจำระยะสั้นถูกนิยามว่าเป็น passive storage ของข้อสนเทศทางวาจาและทางมิติปริภูมิ สามารถเป็นทางเลี่ยง(bypass)ของความจำขณะทำงานและเข้ารหัสข้อสนเทศโดยอัตโนมัติ เข้าสู่ความจำระยะยาว เช่นเดียวกับการกระตุ้นตัวแทนความคิดในความจำระยะยาวโดยอัตโนมัติ โครงสร้างและกระบวนการประมวลผลของความจำระยะสั้นถูกจำกัดที่มันเป็นเชิงรับ(passive), ฉับพลันทันใด(instantaneous), และเป็นอัตโนมัติ (fairly automatic) ในโมเดลบูรณาการนี้ องค์ประกอบของความจำระยะสั้นประกอบด้วยความจำระยะสั้นทางเสียง(phonological short-term memory) และความจำระยะสั้นทางมิติปริภูมิ (visuospatial short-term memory) ดังที่บรรยายในโมเดลของ Baddeley แต่ไม่มีประเด็นเรื่องการทำซ้ำอย่างมีสติ(conscious rehearsal) ที่เป็นหน้าที่รับผิดชอบของความจำขณะทำงาน การทำซ้ำหรือกระบวนการทำให้สดใหม่ที่ไปไม่ถึงความตระหนักหรือเรียกร้องยุทธศาสตร์ที่มีความพยายามเต็มที่อยู่ในขอบเขต(realm)ของความจำระยะสั้น ตัวอย่างของการทำซ้ำโดยอัตโนมัติ คือการอ่านคำนั้นซ้ำใหม่ แม้ว่าเส้นแบ่งความจำระยะสั้นและความจำขณะทำงานจะไม่ชัดเจนในโครงสร้างของความจำขณะทำงานหลายๆโครงสร้าง ความแตกต่างระหว่างสองอย่างนี้คือ ความจำขณะทำงานประกอบด้วย active conscious processing of information ในขณะที่ ความจำระยะสั้นเป็นเพียง passive storage ซึ่งไปโดยอัตโนมัติกับกระบวนการใต้สำนึก ความแตกต่างอีกประการหนึ่ง คือ ความจำระยะสั้นเป็น modality (phonological and visuospatial) จำเพาะเจาะจง มากกว่าความจำขณะทำงาน การวิเคราะห์องค์ประกอบการทำหน้าที่ของความจำขณะทำงานแสดงว่า ความจำขณะทำงาน และ ความจำระยะสั้น ปฏิบัติการเป็นอิสระจากกัน(Engle, Toholski, et al., 1999; Swanson&Howell,2001) การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบทดสอบความจำก็สนับสนุนความแตกต่างระหว่างความจำระยะสั้นและความจำขณะทำงาน(Passolunghi & Siegel, 2004) การแบ่งแยกระหว่าง ความจำระยะสั้น และ ความจำขณะทำงาน หมายความว่า ความจำขณะทำงานต้องมีความจุหรือแหล่งเก็บความจำชั่วคราวของตนเอง ซึ่งเป็นแนวคิดที่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่ามีแหล่งทรัพยากรที่แยกกัน (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) กล่าวโดยสรุป ภาระงานความจำระยะสั้นที่ง่าย เป็นเชิงรับ และเป็นอัตโนมัติ สามารถทำให้สำเร็จได้โดยไม่ต้องใช้การชี้แนะช่วยเหลือจากความจำขณะทำงาน และไม่ได้ใช้ทรัพยากรของของความจำขณะทำงาน

ปฏิสัมพันธ์กับความจำระยะยาว

เช่นกัน ความจำระยะยาวเป็นที่เก็บข้อสนเทศแบบ passive หน้าที่โดยอิสระของมันประกอบด้วยกระบวนการอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่น เมื่ออ่านออกเสียง เราจะค้นคืนคำที่รู้จักมาโดยอัตโนมัติและแปลงมันเป็นการตอบสนองโดยตรง โดยไม่ต้องใช้ความจำขณะทำงาน โมเดลการประมวลผลข้อสนเทศดั้งเดิมมีแนวคิดว่า ข้อสนเทศจากความจำระยะสั้น ต้องผ่าน ความจำขณะทำงาน เพื่อจะไปกระตุ้นตัวแทนความคิดใน ความจำระยะยาวที่เกี่ยวข้อง ความคิดนี้ ปัจจุบันล้าสมัยไปแล้ว ดูเหมือนว่าเนื้อหาสาระในความจำขณะทำงานถูกนำเข้ามาในความจำขณะทำงานในลักษณะของผลการกระทำอย่างเป็นอัตโนมัติเริ่มโดยตรงโดยสาระของ ความจำระยะสั้น Logie (1996) ยืนยันว่าเฉพาะ ความจำขณะทำงาน เท่านั้นที่กลายเป็นมีส่วนในการประมวลผลข้อสนเทศ หลังจาก schemas ของความจำระยะยาวถูกกระตุ้นและนำเข้ามาในความจำขณะทำงาน

ความจุและหน้าที่ของความจำขณะทำงานได้รับผลจากความรู้และทักษะที่เป็นพื้นฐานในความจำระยะยาว เมื่อความรู้และทักษะถูกปกป้องในความจำระยะยาว ก็ใช้การประมวลผลความจำขณะทำงานที่น้อยกว่า เกิดการตอบสนองและกระบวนการที่เป็นอัตโนมัติ จากมุมมองนี้ ความจำระยะยาว**ช่วย**ความจำขณะทำงาน สมมติว่าอัตราเร็วในการค้นคืนความจำระยะยาวเป็นปกติ เมื่อการกระตุ้น(activation),การค้นคืน(retrieval), และการประมวลผล(processing) โดยอัตโนมัติไม่เพียงพอสำหรับการทำภาระงานความจำขณะทำงานจะเริ่มต้นและทำการค้นหาอย่างเต็มความพยายามเพื่อค้นคืนข้อสนเทศสำหรับปรับโครงสร้างใหม่และการเข้ารหัส บทบาทหลักหนึ่งของความจำขณะทำงานคือ การ**ทำงาน**บนหน่วยความจำระยะยาวที่เลือกไว้ ความจำขณะทำงานทำงานบนโครงสร้างและเนื้อหาทุกแบบของความจำระยะยาว แต่ในสถานการณ์การเรียนรู้ ความจำขณะทำงานปฏิบัติการหลักที่โครงสร้างความจำทางภาษา(semantic memory structures)

นอกจากเตรียมพร้อมสำหรับการประมวลผลความจำขณะทำงานและตอบสนองและดำเนินการอย่างอัตโนมัติทันทีแล้ว ตัวแทนความคิดใน ความจำระยะยาวอาจส่งเสริมช่วงกว้าง(span)ของความจำระยะสั้นและความจำขณะทำงานโดยตรง เมื่อข้อสนเทศเข้ามาในความจำระยะสั้น ความจำระยะสั้นจะเข้ารหัสรายการทันทีเพื่อเก็บในความจำระยะยาว ในขณะที่มีการทำงานที่เกี่ยวข้องกับข้อสนเทศในความจำระยะยาวไปพร้อมๆกัน ในทางกลับกัน ความจำระยะยาว ก็ส่งตัวชี้แนะ(cues) อย่างเป็นอัตโนมัติ ทันที กึ่งรู้สติ (subconciously) ให้ ความจำระยะสั้น ที่สามารถถูกใช้เพื่อสร้างข้อสนเทศที่หายไปบางส่วนใหม่ ดังนั้นจึงขยาย ช่วงกว้าง(span)ของความจำระยะสั้น (Nairne, 2002) ปฏิสัมพันธ์นี้อธิบายว่า ทำไมเราจึงสามารถจำข้อสนเทศบางอย่างได้นานกว่า 2-3 วินาที

หน่วยความจำระยะยาวที่ถูกกระตุ้น(Activated Long-Term Memory Units)

ระหว่างการประมวลผลทางปัญญาที่ซับซ้อน เนื้อหาส่วนใหญ่ของความจำขณะทำงานประกอบด้วยตัวแทนความคิดของความจำระยะยาวที่เพิ่งถูกกระตุ้นหรือค้นคืน นอกเหนือจากหลายๆหน่วย (อาจจะประมาณ 4) ที่ความจำขณะทำงานสามารถประมวลผลได้พร้อมๆกัน มีแอ่ง(pool)ใหญ่ของรายการและโครงสร้างความจำระยะยาวที่ถูกกระตุ้น (อยู่ภายในความจำระยะยาว) ที่ความจำขณะทำงานเพิ่งเข้าถึง แอ่งที่เข้าถึงทันทีนี้เพิ่มความจุให้กับความจำขณะทำงานอย่างมหาศาล แอ่งประกอบด้วยมากกว่ารายการของแต่ละบุคคลเมื่อ schemas ทั้งหมดและโครงสร้างความจำขณะทำงานอื่นๆถูกกระตุ้นให้ทำงาน หน่วยที่ถูกกระตุ้นให้ทำงานช่วยในการประมวลผล เช่นเดียวกับการเข้ารหัสความจำระยะยาวอย่างมีสติ และอาจส่งเสริมการค้นคืนความจำระยะสั้น ตัวอย่างเช่น การระลึก คำ (word) ระยะสั้น จะมากกว่าการระลึกตัวที่ไม่เป็นคำ(nonwords) เนื่องจาก nonwords ไม่อยู่ในที่เก็บความจำระยะยาว เรายังไม่มีความรู้เรื่องความจุของ activated pool โดยเฉพาะเมื่ออาจมีระดับของ activation ที่แตกต่างกัน ยิ่งกว่านั้นแอ่ง pool มีข้อจำกัดและรายการที่อยู่ในนั้นก็มีการเปลี่ยนแปลง การรักษาจำนวนรายการที่เลือกจากแอ่งเป็นหน้าที่หนึ่งของความจำขณะทำงาน มันทำงานนี้โดยกดรายการความจำและโครงสร้างที่ไม่เกี่ยวข้องไว้ ขณะที่เน้นข้อสนเทศที่จำเป็นสำหรับบรรลุเป้าหมายในทันที การเพิ่มแอ่งของหน่วยความจำระยะยาวที่ถูกกระตุ้นเข้าในโครงสร้างของความจำขณะทำงาน เช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์หลักกับความจำระยะยาว มีการนำไปใช้กันมากในการศึกษาศาสตร์และการให้การแทรกแซง(intervention)ต่างๆ

โมเดลของความจำขณะทำงานหลายๆโมเดล มีการค้นพบและการยืนยันความตรงของมโนมติเกี่ยวกับแอ่งความจำระยะยาวที่ถูกกระตุ้นที่สนับสนุนการปฏิบัติการของความจำขณะทำงาน อย่างไรก็ตาม Baddeley(2000) ใช้แนวคิดของ episodic buffer แทนแอ่งความจำระยะยาวที่ถูกกระตุ้น แม้ว่าหน้าที่ที่ Baddeley บรรยายเกี่ยวกับ episodic buffer จะเป็นงานของความจำขณะทำงานอย่างไม่มีข้อสงสัย แนวคิดเรื่อง buffer แสดงถึงความคงทนสั้นๆและมีการสูญหายของข้อสนเทศอย่างสมบูรณ์ในช่วงเวลาหนึ่ง ในขณะที่แอ่งขนาดใหญ่ของรายการที่ถูกกระตุ้นยอมให้มีความจุและการทำงานต่อไปที่มากกว่า มันดูเหมือนว่า ไม่มีความจำเป็นสำหรับ buffer ระหว่างความจำขณะทำงานและความจำระยะยาว เพราะการกระทำที่มอบให้ buffer ก็คือหน้าที่หลักของความจำขณะทำงาน ซึ่งหมายถึงการปฏิบัติการของความจำขณะทำงาน(working memory operations) ในโมเดลบูรณาการ

การแยก executive processing ออกจากความจำขณะทำงาน

Dehn เสนอว่า ต้องแยกกระบวนการประมวลผลเชิงบริหารทั่วไป(general executive processes) กับ กระบวนการประมวลผลความจำขณะทำงาน(working memory processes) ให้ชัดเจน และต้องมีความแตกต่างระหว่างหน้าที่ของความจำขณะทำงานที่เป็น executive โดยธรรมชาติและที่เป็นการทำงานประจำของความจำขณะทำงาน โมเดลประมวลผลข้อสนเทศทุกโมเดลรวมระบบกระบวนการประมวลผล executive ที่กำกับและควบคุมหน้าที่ทางปัญญาอื่นๆ ดังนั้น ความจำขณะทำงาน จึงเป็นเพียงกระบวนการทางปัญญาหนึ่งที่ถูกควบคุมโดยระบบประมวลผล executive ที่ระดับกว้างกว่าและสูงกว่า โมเดลส่วนใหญ่เขียนเกี่ยวกับความสำคัญและการทำงานของ executive processing (เช่น Dawson & Guare, 2004) เป็นส่วนของการจัดการความจำขณะทำงาน นักทฤษฎีด้านความจำขณะทำงานบางคน (เช่น Baddeley, 1996b) ให้ความประทับใจว่า central executive ของความจำขณะทำงาน และ broad executive processing คือตัวแปรเชิงโครงสร้างหรือเชิงทฤษฎี(construct) ตัวเดียวกัน หรืออย่างน้อยที่สุด นักทฤษฎีบางคนให้คำแนะนำเล็กน้อยเรื่องเส้นแบ่งเขต การรวมความจำขณะทำงาน และ executive processes ทำให้เกิดความยุ่งยากในการสร้างความตรงเชิงทฤษฎี(construct validity)ของความจำขณะทำงาน ยิ่งกว่านั้น การแยกระหว่างความจำขณะทำงาน และ general executive processing ทำให้ใกล้ความรับผิดชอบของความจำขณะทำงานและรักษาจุดเน้นของการทำงานเข้ากับสาระของความจำ ความล้มเหลวในการแบ่งระหว่าง broad executive processing และความจำขณะทำงาน สร้างความท้าทายในการวัดและการวินิจฉัยและช่วยส่งเสริมความเข้าใจของเราเล็กน้อยเกี่ยวกับความไม่เป็นระเบียบ ตัวอย่างเช่น นักทฤษฎีบางคน (เช่น Engle, 2002) วางการจัดการเชิง executive ของความตั้งใจ(attention) ไว้ในระบบความจำขณะทำงาน มีหลายแง่มุมของความตั้งใจ เช่น ความตื่นตัว(arousal) หรือการยับยั้ง (inhibition) การตอบสนองเชิงพฤติกรรม ซึ่งไม่จำเป็นต้องอยู่ภายใต้อำนาจการปฏิบัติงานของความจำขณะทำงาน อย่างไรก็ตามความก้าวหน้าของการจำแนกระหว่างระบบ 2 ระบบ executive processes ทำหน้าที่เชิงลำดับขั้นบางอย่างที่ช่วยการประมวลผลความจำขณะทำงาน เช่นการประสานความจำขณะทำงานกับกระบวนการทางปัญญาระดับที่สูงกว่าอื่นๆ

ที่สำคัญ เมื่อ Baddeley (1986) อธิบายว่า central executive คือความจำขณะทำงาน นั่นเอง ในความจริงแล้ว เมื่อนักวิจัยส่วนใหญ่อ้างถึงความจำขณะทำงาน พวกเขาเทียบมันเท่ากับ central executive การระบุของ Baddeley ทำให้เข้าใจว่า การทำหน้าที่ของความจำขณะทำงานไม่ได้มีอะไรมากไปกว่าเรื่องของ executive ในโมเดลของเขา ที่เก็บ

ความจำระยะสั้นที่อิงช่องทางรับสัมผัส (modality-based short term memory stores) ถูกควบคุมโดย central executive นักวิจัยด้านความจำบางคนโต้แย้งคำกล่าวอ้างนี้ Goldman-Rakic(1995) แย้งว่าไม่มีความจำเป็นที่ต้องเสนอเรื่องของ central executive ไว้ในความจำขณะทำงาน เธอเชื่อว่าแต่ละโดเมนของความจำระยะสั้นสามารถทำหน้าที่ของมันได้โดยไม่ต้องใช้ executive management แม้ว่าแต่ละคนยอมให้สันนิษฐานว่าความจำขณะทำงานมีหน้าที่รับผิดชอบที่สูงกว่าความจำระยะสั้น แต่ทำไมงานของความจำขณะทำงานเกี่ยวกับเนื้อหาของความจำ เช่นการปรับแต่ง schema จึงถูกพิจารณาว่าเป็น executive function ถึงแม้ว่า ความจำขณะทำงานทำหน้าที่บางอย่างที่สามารถถูกจำแนกว่าเป็น executive control function ได้ก็ตาม เช่นการยับยั้งข้อสนเทศที่ไม่เกี่ยวข้องจากความจำระยะยาว

การปฏิบัติความจำขณะทำงานบางอย่างขึ้นกับการจัดการจากระบบ executive processing ที่กว้างกว่า เช่น การตัดสินใจอย่างมีสติที่จะใช้ยุทธศาสตร์ความจำที่เฉพาะเจาะจง การทำหน้าที่ของความจำขณะทำงานที่ประสบความสำเร็จในโมเดลบูรณาการขึ้นกับ automatic executive control process ที่ฝังอยู่ในระบบของความจำขณะทำงานด้วย โดยเฉพาะความสามารถในการเปลี่ยนจุดเน้นความสนใจในขณะที่ยับยั้งข้อสนเทศที่ไม่เกี่ยวข้อง การยับยั้งข้อสนเทศดูเหมือนเป็นหน้าที่ควบคุมหลักของความจำขณะทำงานและเป็นความสามารถความจำขณะทำงานพื้นฐานประการหนึ่ง (Kane & Engle, 2002) ตัวอย่างเช่น บุคคลที่มีช่วงกว้าง (span) ของความจำขณะทำงานต่ำ จะหวั่นไหวต่อการสอดแทรก(interference) จากความจำระยะยาว มากกว่าผู้ที่มีช่วงกว้างของความจำขณะทำงานสูงกว่า การยับยั้งชั่งใจซึ่งเป็นหลักประกันการรักษาข้อสนเทศที่เกี่ยวข้องส่วนมากไว้ มักเกิดขึ้นในระดับกึ่งรู้สติ(subconscious) บางทีระดับของความตระหนัก(awareness) เป็นวิธีหนึ่งในการจำแนกระหว่างกระบวนการประมวลผล executive ระดับสูงกว่า และที่กำลังอยู่ในความจำขณะทำงาน ongoing executive working memory control processes เช่น shifting เป็นเรื่องอัตโนมัติและดำเนินการภายใต้ระดับของความตระหนัก ในทางตรงข้าม กระบวนการจัดการความจำขณะทำงานนำเข้าสู่แนวโน้มที่มีสติที่จะดึงความช่วยเหลือจากการจัดการเชิงบริหาร(executive management) ระดับสูงกว่าซึ่งอยู่ข้างนอกระบบความจำขณะทำงาน ตัวอย่างเช่น การปฏิบัติการของความจำขณะทำงานโดยอัตโนมัติที่ช่วยความเข้าใจในการอ่านในขณะที่เชื่อมั่นในหน้าที่การควบคุมแบบไร้สติที่ฝังอยู่ในความจำขณะทำงาน จนกระทั่งความล้มเหลวเรื่องความเข้าใจปรากฏขึ้น ที่จุดใดที่ executive processing system ที่กว้างกว่าถูกขอความช่วยเหลือในความพยายามที่จะแก้ปัญหาความเข้าใจ มุมมองอื่นเรื่องความแตกต่างระหว่างการปฏิบัติความจำขณะทำงาน

และ executive processes ระดับสูงกว่า ก็คือ ความแตกต่างนี้คล้ายกับที่ทำระหว่าง cognition และ metacognition

กล่าวโดยสรุป ดูเหมือนจะมีประโยชน์ที่จะแยกระหว่าง executive control ที่มาจากระบบ executive ที่สูงกว่า กับ หน้าที่รับผิดชอบจัดการเฉพาะอย่างที่อยู่ภายในความจำขณะทำงาน หรือบางที อาจเป็นประโยชน์ที่จะพิจารณาแง่มุมการควบคุมของความจำขณะทำงานในลักษณะของ subset ของหน้าที่การทำงาน executive ที่กว้างกว่า ความเข้าใจเรื่องการทำงานร่วมกันระหว่างระบบ executive ระดับสูงกว่า กับระบบความจำขณะทำงานซึ่งแสดงหน้าที่ executive บางอย่างของมันเอง ช่วยเราให้เข้าใจดีขึ้น และประนีประนอมความบกพร่องของความจำขณะทำงาน ตัวอย่างเช่น บางคน บางประเภทของ ADHD เช่นคนที่ hyperactive และ impulsive อาจแสดงปัญหาที่สำคัญแบบเดียวกับ broad executive processes แต่อาจมีภาวะปกติเรื่องความจำขณะทำงาน สุดท้าย ภาพของความจำขณะทำงานในลักษณะของการที่ไม่มีอะไรมากไปกว่าการ storage และ executive function มีผลให้การพรรณนาหรือให้ภาพของความจำขณะทำงานที่ไม่สมบูรณ์

Working Memory Operations

งานเขียนเกี่ยวกับความจำขณะทำงานโดยตรงจำนวนน้อยที่พูดถึง nonexecutive working memory processes งานวิจัยทดลองและเชิงจิตประสาทวิทยาศาสตร์ได้เน้นที่ executive processes เช่น inhibition ในขณะที่ละเลยว่าการทำงานของความจำขณะทำงานเกี่ยวกับเนื้อหาสาระของความจำ เป็นอย่างไร แม้ว่าการประมวลผลของข้อสนเทศความจำขณะทำงานส่วนใหญ่อาจพิจารณาได้ว่าเป็น nonexecutive ในหลายๆทฤษฎีองค์ประกอบ working memory executive เป็น an all-inclusive component ภายในหน้าที่ความจำขณะทำงานพื้นฐานถูกอ้างอิงในคำง่ายๆว่า processing แม้ Baddeley (2000) จะตระหนักถึงปัญหา ซึ่งเป็นเหตุผลที่เขาแยก episodic memory ออกจาก central executive เมื่อไม่นานนี้ ดังนั้น ความรับผิดชอบของการทำงานแบบ actual **work** ที่ทำโดยความจำขณะทำงาน ดูเหมือนยังไม่พัฒนาและถูกวางเค้าโครงในหลายๆโมเดล ที่ตามมาคือ Dehn เชื่อว่า มันเป็นประโยชน์ที่จะแยก **งาน** ของความจำขณะทำงานออกจาก executive functions ในโมเดลบูรณาการของเขา หน้าที่แบบ nonexecutive หมายถึง working memory operations ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการประมวลผลหลากหลายที่ช่วยเหลือการเลือกเนื้อหาสาระทั้งจากที่เก็บความจำระยะสั้นและระยะยาวเพื่อให้บรรลุเป้าหมายทางความคิดหรือทางพฤติกรรม โดยทั่วไป การปฏิบัติการเหล่านี้ประกอบด้วยการจัดกระทำหรือการแปลงรูปข้อสนเทศบางประเภท ได้แก่(ก) เข้ารหัสข้อสนเทศเข้าสู่ความจำระยะยาว เช่น การเข้ารหัสข้อสนเทศเชิงภาษา (ข) เชื่อมโยงข้อสนเทศใหม่เข้ากับตัวแทน

ความคิดที่มีอยู่แล้วในความจำระยะยาว (ค) แปลงรูปข้อสนเทศ เช่น ให้รหัสใหม่กับวัสดุที่รับรู้ทางภาพให้เป็นข้อสนเทศทางวาจา (ง) ทำการคำนวณหลายขั้นตอนให้เสร็จสมบูรณ์ (จ) คงผลย่อยๆของการคำนวณไว้จนกว่าจะถึงผลลัพธ์สุดท้าย (ฉ) ทำการค้นหาข้อสนเทศที่เก็บอยู่ในความจำระยะยาวโดยตรงอย่างมีสติ (ช) สร้างตัวแทนความคิดใหม่ (ซ) จัดกลุ่มรายการที่เกี่ยวข้องกันเข้าเป็นกลุ่มหรือประเภท และ (ฌ) วิธีการหรือยุทธศาสตร์อื่นๆที่เกี่ยวข้องในการจัดการรายการความจำ หรือการรวมรายการความจำใหม่ การเข้ารหัสสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ basic encoding และ complex encoding นิยาม basic encoding ว่าเป็นการแปลงข้อมูลนำเข้าที่รับรู้เข้าเป็นรหัสที่เหมาะสมสำหรับการเก็บระยะสั้นหรือระยะยาว เช่น การแปลงสิ่งเร้าทางเสียงให้เป็นรหัสทางเสียง ส่วน complex encoding ถูกนิยามว่า เป็นกระบวนการของการเชื่อมโยงข้อสนเทศอย่างมีความหมายกับ schemas ที่เกี่ยวข้องในแหล่งเก็บความจำระยะยาว

working memory operations เป็นได้ทั้งมีสติและไม่มีสติ ทฤษฎีและงานวิจัยความจำขณะทำงาน ส่วนใหญ่เน้นที่หน้าที่ที่มีสติ รายงานผลได้ อย่างไรก็ตาม เราต้องยอมรับว่า การปฏิบัติการพิเศษที่ไม่มีสติมากมายมหาศาลที่ทำหน้าที่รายละเอียดของความจำขณะทำงาน (Barrs & Franklin, 2003) การทำหน้าที่ความจำขณะทำงานสามารถทำได้ภายใต้ระดับของความมีสติ แต่เมื่อมันกลายเป็นอัตโนมัติ กระบวนการอัตโนมัติที่ไม่มีสติเป็นเรื่องสำคัญในการทำงานความจำขณะทำงานที่ประสบความสำเร็จ เพราะเชื่อกันว่า กระบวนการประมวลผลอัตโนมัติไม่ได้อยู่ในความสามารถที่วัดได้ของความจำขณะทำงาน การประมวลผลอัตโนมัติที่ที่ทำงานภายใต้ระดับของความตระหนักมีแนวโน้มที่จะเข้าถึงได้เรียบร้อย ถูกเรียกเข้าไปในความมีสติ เมื่อใดก็ตามที่การประมวลผลอย่างพยายามเต็มที่ถูกเรียกร้อง การปฏิบัติการที่ครั้งหนึ่งเคยมีสติ แต่กลายเป็นไม่ต้องใช้สติเมื่อหน้าที่ของมันกลายเป็นอัตโนมัติเป็นเรื่องที่เข้าถึงได้มากที่สุด เมื่อ working memory operations ถูกนำเข้ามาในความตระหนัก executive processes ภายในและภายนอกความจำขณะทำงาน มักถูกเรียกว่า เล่นพร้อมกัน

กล่าวโดยสรุป working memory operations ประกอบด้วย active processing ของข้อสนเทศ เช่น การแปลงรูป(transformation), การจัดกระทำ(manipulation), และการจัดโครงสร้างใหม่ของข้อสนเทศจากความจำระยะสั้นและระยะยาว working memory operations เป็นเมื่อกิจกรรมที่มีแรงขับจากเป้าหมายปัจจุบัน ความจำระยะสั้นและความจำระยะยาว แทรกสอดประสานกัน องค์ประกอบ episodic ของ Baddeley สอดคล้องกับ working memory operations เหมือนกับ focus of attention ของ Cowan.

working memory operationsถูกควบคุมโดยระดับของ executive processes 2 ระดับ แต่ไม่ใช่ executive processes ใน และ ของ ตัวมันเอง ยิ่งกว่านั้น จุดเน้นงานวิจัยและทฤษฎีที่มีต่อ executive processes เช่น ความจำขณะทำงาน เลือกข้อสนเทศจากแหล่งที่แตกต่างและรักษาจุดเน้นข้อสนเทศที่เกี่ยวข้องมากที่สุดอย่างไร โชคร้ายที่มีการพัฒนาเชิงทฤษฎีน้อยในเรื่องของหน้าที่หลักอื่นๆของความจำขณะทำงาน เช่น complex encoding

Description of Memory Components

Phonological Short-Term Memory (PSTM) เป็นองค์ประกอบย่อยของ passive short-term memory ที่เก็บ speech-based information ไว้ใน phonological form รับข้อสนเทศจาก auditory sensory stores และ activate โดยอัตโนมัติเกี่ยวข้องกับรายการในที่เก็บความจำระยะยาว เช่น รายการที่คล้ายกัน คล้ายกับ Baddeley's phonological loop ยกเว้นแต่การทำซ้ำในใจไม่ได้อยู่ใน PSTM ความพยายามในการทำซ้ำอย่างมีสติเป็น active processes ที่อยู่ภายใต้ executive working memory อย่างไรก็ตาม การประมวลผลที่เกิดต่ำกว่าระดับของ awareness เช่นการทำซ้ำโดยอัตโนมัติอยู่ภายใต้ขอบเขตอำนาจของ PSTM

Visuospatial Short-Term Memory(ViSTM) เป็นองค์ประกอบย่อยของ passive short-term memory ที่เก็บข้อสนเทศประเภท visual(object and color) และ spatial (location and direction) ViSTM ถูกทำให้สดใหม่โดยอัตโนมัติและต่อเนื่องเมื่อวัตถุในสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไปและเมื่อจุดเน้นของความตั้งใจเปลี่ยนไป

Verbal Working Memory(VWM) ประกอบด้วย complex working memory operations ในที่ซึ่งการวิเคราะห์ จัดกระทำ และ การแปลงรูป ของ verbal material เกิดขึ้น หน้าที่หลักอย่างหนึ่งของ VWM คือ การขยายตัวแทนความคิดที่มีความหมายที่สอดคล้องกับข้อสนเทศทางเสียงที่เกิดใน PSTM (Crain et al.,1990) VWM รวมรายการจากทั้ง short term และ long term working memory รวมทั้งรายการและโครงสร้าง activated long term memory ที่สำคัญคือ VWM ประกอบด้วยการประมวลผลของข้อสนเทศทางวาจาทั้งที่อยู่ในที่เก็บความจำระยะสั้นปัจจุบันหรือที่เพิ่งค้นคืนมาจากที่เก็บความจำระยะยาว ตรงข้ามกับ PSTM เพราะ VWM ถูกมองว่าเป็นกระบวนการประมวลผลที่อิงความหมาย (meaning-based) เป็นระดับที่สูงกว่า ในกรณี PSTM เป็นการประมวลผลเชิงรับ ง่ายๆ และ อิงเสียง (phonologically-based) อย่างไรก็ตามสำหรับจุดมุ่งหมายในการวัดบางครั้ง VWM ก็รวม PSTM ด้วย

Visuospatial Working Memory(ViWM) เป็นอีกแง่มุมหนึ่งของ working memory operations รวมข้อสนเทศทางมิติปริภูมิที่อยู่ในทั้ง short term และ long term working memory ตัวอย่างเช่น ViWM เข้ามาเมื่อใดที่ภาพถูกจัดกระทำ ความแตกต่างหลักระหว่างความจำระยะสั้น และความจำขณะทำงาน คือ ViSTM เรียกร้องแค่การคงทนของข้อสนเทศเชิงรับ ในขณะที่ ViWM มีการประมวลผลเข้ามาด้วย เช่นการย้อนกลับลำดับของวัตถุ หรือ การแปลงรูปข้อมูล เมื่อภาระงานประมวลผลทุติยภูมิ แนะนำการแทรกแซง executive working memory จะเข้ามาร่วมด้วย จนปัจจุบันนี้ น้อยครั้งที่ visuospatial working memory ได้รับการยอมรับว่าเป็นองค์ประกอบความจำขณะทำงานที่แยกออกไป ส่วนใหญ่เป็นเพราะมีความพยายามน้อยที่จะวัดและศึกษามัน

Executive Working Memory แยกจาก broad executive processes ในแง่ที่มันถูกจำกัดที่ระบบความจำ คล้ายกับ Baddeley's control executive ที่มันรวมปฏิสัมพันธ์แบบร่วมมือระหว่างระบบย่อยของความจำกับการยับยั้งรายการความจำที่ไม่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะ executive working memory เข้ามาเมื่อภาระงานเรียกร้องการร่วมมือกันของการเก็บ(storage)และการประมวล ผล(processing) executive working memory ใช้ยุทธศาสตร์ที่ขยายช่วงกว้างของความจำระยะสั้น(STM span) และแนะแนวการค้นคืนข้อสนเทศที่เก็บอยู่ใน ความจำระยะยาว มันไม่ใช่ domain specific และไม่มีที่เก็บของตัวเอง ความจุในการเก็บความจำขณะทำงานถูกจัดการให้โดยองค์ประกอบworking memory operation

LT Retrieved ที่ใช้ในงานของ Dehn (2008) หมายถึง การค้นหาโดยตรงอย่างมีสติเกี่ยวกับข้อสนเทศจำเพาะที่อยู่ในความจำระยะยาว จากมุมมองนี้ LTR เป็นหน้าที่ของความจำขณะทำงาน(ไม่ใช่หน้าที่ของความจำระยะยาว) ที่สามารถถูกพิจารณาว่าเป็นองค์ประกอบของความจำขณะทำงานสำหรับจุดมุ่งหมายในการวัดและการแทรกแซง นอกจากองค์ประกอบความจำขณะทำงานนี้จะเป็น LTR อัตโนมัติที่เกิดทันทีและกึ่งมีสติ (subconsciously) การค้นคืนประเภทนี้อยู่นอกเหนือไป เนื่องจากมันไม่ได้เรียกร้องการเข้าร่วมหรือทรัพยากรจากความจำขณะทำงาน LTRที่มีความพยายามสูงเกิดเมื่อข้อสนเทศจำเพาะถูกต้องการ มันเกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเรียนรู้ด้วย ซึ่งข้อสนเทศถูกเข้ารหัสและค้นคืนซ้ำๆ

working memory operation ประกอบด้วยการทำหน้าที่ความจำขณะทำงานทั้งหมดที่เป็น nonexecutive รวมทั้งการจัดการ การเข้ารหัส การถอดรหัส และการค้นคืนข้อสนเทศ working memory operation ปรับ และ แปลง รายการที่นำมาจากที่เก็บความจำระยะสั้นและระยะยาว ตัวอย่างเช่น working memory operation แปลงโครงสร้างความจำ

ระยะยาวก่อนที่จะถูกนำกลับไปยังที่เก็บ working memory operation มีความจุจำกัดซึ่งปกติใช้เก็บข้อสนเทศจนกว่ากระบวนการประมวลผลข้อสนเทศนี้จะสมบูรณ์ ในการวัดจะแบ่ง working memory operation ออกเป็น Verbal Working Memory และ Visuospatial Working Memory

Activated LTM เป็นแอ่งขนาดใหญ่ของรายการและโครงสร้างความจำระยะยาวที่ถูกกระตุ้นในปัจจุบันที่ความจำขณะทำงานเข้าถึงได้โดยเร็ว หลาบๆหน่วยในแอ่งนี้ถูกกระตุ้นโดยความจำระยะสั้นอย่างอัตโนมัติ

ผลการทบทวนวรรณกรรมในส่วนนี้พบว่า มีนักวิจัยให้ความสนใจเรื่องของความจำขณะทำงานอย่างต่อเนื่อง และมีการพัฒนาขยายรายละเอียดของโมเดลความจำขณะทำงานอย่างหลากหลาย

5.3 การวัดสมรรถนะสมองด้านความจำขณะทำงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องมือวัดความจำขณะทำงานมีหลายลักษณะ เช่น แบบทดสอบ แบบตรวจสอบรายการ เป็นต้น ตัวอย่างแบบทดสอบที่มีผู้รวบรวมไว้แสดงดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 ตัวอย่างแบบทดสอบความจำขณะทำงาน

แบบทดสอบ	สิ่งที่วัด	กิจกรรมการวัด
Digit Recall	Phonological loop	ฟังรายการตัวเลข จำตัวเลขตามลำดับ ตอบทันที
Word List Matching	Phonological loop	ฟังรายการคำที่คู่กัน เมื่อฟังคำแรกซ้ำ ให้ตอบคำที่เป็นคู่
Nonword List Matching	Phonological loop	ฟังรายการคำ(ที่ไม่มีความหมาย)ที่คู่กัน เมื่อฟังคำแรกซ้ำ ให้ตอบคำที่เป็นคู่
Word List Recall	Phonological loop	ฟังรายการคำ จำลำดับของคำที่ได้ยิน และตอบให้มากที่สุด
Nonword List Recall	Phonological loop	ฟังรายการคำที่ไม่มีความหมาย จำลำดับของคำที่ได้ยิน และตอบให้มากที่สุด
Matrices Static	Visuospatial Sketchpad	นำเสนอตารางสี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วยสี่เหลี่ยมดำและขาว ให้ตอบตำแหน่งของสี่เหลี่ยมดำ
Matrices Dynamic	Visuospatial Sketchpad	สี่เหลี่ยมดำในตารางถูกนำเสนอเป็นรูปแบบตามลำดับให้ตอบลำดับของการนำเสนอ
Mazes Static	Visuospatial Sketchpad	นำเสนอเส้นทางสองมิติในลักษณะที่คดเคี้ยวโดยการวาดเส้น ให้นักเรียนลากเส้น

ตาราง 2.4 ตัวอย่างแบบทดสอบความจำขณะทำงาน(ต่อ)

แบบทดสอบ	สิ่งที่วัด	กิจกรรมการวัด
Mazes Dynamic	Visuospatial Sketchpad	เส้นทางสองมิติที่คดเคี้ยวถูกลากโยงโดยผู้วัด ให้ผู้ตอบเขียนเส้น
Listening Recall	Central executive	ให้ฟังประโยค ตอบว่าถูกหรือผิด แล้วตามด้วยการให้พูดคำสุดท้ายของแต่ละประโยคที่ได้ยิน
Counting Recall	Central executive	นำเสนอจุดใน Card ให้นับจุดใน Card และบอกผลรวมของจุด
Backward Digit Recall	Central executive	ให้ฟังตัวเลขชุดหนึ่ง ให้พูดโดยกลับลำดับ

ที่มา Pickering, Susan J. Working memory in Dyslexia**.** in Alloway, T. P. (ed.). (2006). **Working memory and neurodevelopmental disorder.** N.Y.: Psychology Press.

Dehn (2008 : 134) เสนอกระบวนทัศน์การวัดองค์ประกอบของความจำดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 กระบวนทัศน์การวัดองค์ประกอบของความจำ

Short –Term Phonological	Short –Term Visual	Working Verbal	Working Visuospatial	Working Executive	Long-Term Retrieval
Forward digit span; Letter span; Word span; Nonword span	Forward block-tapping span; Visual digit span	Memory for sentences; Memory for stories; Listening span; Reading span; Operation span	Backward block-tapping span; Counting span	Backward word span; Backward digit span; Computation span; Trail-making; Stroop; N-back; Random Generation; Verbal-Spatial Association	Retrieval fluency; Rapid automatic naming

Dehn (2008) สรุปว่า เครื่องมือวัดพุทธิปัญญาที่เป็นแบบทดสอบมาตรฐานบางเครื่องมือ มีแบบทดสอบที่วัด ความจำขณะทำงานด้วย เช่น

1. Stanford-Binet Intelligence Scales-Fifth Edition (SB5) ตีพิมพ์เมื่อปี 2003 สำหรับคนอายุ 2 ปี ถึง 85 ปี และมากกว่า มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้านความจำขณะทำงาน โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 4 ฉบับ

ได้แก่ Delay Response (Visuospatial STM); Block span(Visuospatial WM); Memory for Sentences(Verbal WM); และ Last Word(Executive WM)

2. Differential Ability Scales-Second Edition (DAS-II) ตีพิมพ์เมื่อปี 2006 สำหรับเด็กอายุ 2 ปี 6 เดือน ถึง 17 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้านความจำขณะทำงาน โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 7 ฉบับ ได้แก่ Recall of Digits Forward (Phonological STM); Recall of Digits Backward (Executive WM); Recall of Sequential Order(Executive WM); Recall of Design(Visuospatial STM); Recognition of Pictures(Visuospatial STM); Recall of Objects Immediate(Learning); และ Rapid Naming(Long-Term Retrieval)
3. Kaufman Assessment Battery for Children-Second Edition(KABC-II) ตีพิมพ์เมื่อปี 2004 สำหรับเด็กอายุ 3 ปี ถึง 18 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้านSequential Processing/ Short-Term Memory และ Learning Ability/ Long-Term Retrievalโดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 6 ฉบับได้แก่ Number Recall (Phonological STM); Word Order (Executive WM); Hand Movements(Visuospatial STM); Face Recognition(Visuospatial STM); Atlantis(Learning); และ Rebus(Learning)
4. Cognitive Assessment System (CAS) ตีพิมพ์เมื่อปี 1997 สำหรับเด็กอายุ 5 ปี ถึง 17 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Successive Processing และ Simultaneous Processing โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 4 ฉบับได้แก่ Word Series (Phonological STM); Sentence Repetition (Verbal WM); Sentence Questions(Executive WM, Verbal WM); และ Figure Memory(Visuospatial STM)
5. Woodcock Johnson III Tests of Cognitive Abilities (WJ III COG)) ตีพิมพ์เมื่อปี 2001 สำหรับคนอายุ 2 ปี ถึง มากกว่า 90 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Working Memory, Short-Term Memory และ Long-Term Retrieval โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 7 ฉบับได้แก่ Number Reversed Series (Executive WM); Auditory Working Memory (Verbal WM, Executive WM); Memory for Words(Phonological STM); Picture Recognition(Visuospatial STM); Visual-Auditory Learning(Learning);

Retrieval Fluency(Long-Term Retrieval); และ Rapid Picture Naming (Long-Term Retrieval)

6. Universal Nonverbal Intelligence Test (UNIT) ตีพิมพ์เมื่อปี 1998 สำหรับเด็กอายุ 5 ปี ถึง 17 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Memory Quotient โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 3 ฉบับได้แก่ Symbolic Memory (Visuospatial STM); Spatial Memory (Visuospatial STM); และ Object Memory (Visuospatial STM)
7. Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition (WAIS-III) ตีพิมพ์เมื่อปี 1997 สำหรับคนอายุ 16 ปี ถึง 89 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Working Memory Index โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 4 ฉบับได้แก่ Digit Span Forward (Phonological STM); Digit Span Backward (Executive WM); Letter-Number Sequencing(Verbal WM, Executive WM); และ Arithmetic (Executive WM)
8. WISC-IV Integrated ตีพิมพ์เมื่อปี 2004 สำหรับเด็กอายุ 6 ปี ถึง 16 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำที่เกี่ยวข้อง 8 ฉบับได้แก่ Visual Digit Span (Visuospatial STM); Spatial Span Forward (Visuospatial STM); Spatial Span Backward (Visuospatial WM); Letter Span Nonrhyming(Phonological STM); Letter Span Rhyming(Phonological STM); Letter-Number Sequencing Processing Approach (Verbal WM, Executive WM); Arithmetic Processing Approach Part A (Executive WM) และ Arithmetic Processing Approach Part B (Executive WM)
9. The NEPSY II : A Developmental Neuropsychological Assessment ตีพิมพ์เมื่อปี 2004 สำหรับเด็กอายุ 6 ปี ถึง 16 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำที่เกี่ยวข้อง 10 ฉบับได้แก่ Memory for Faces(Visuospatial STM); Memory for Names(Learning); Narrative Memory(Verbal WM); Sentence Repetition (Verbal WM); List Learning (Learning); Word List Interference Approach (Verbal WM, Executive WM); Memory for Designs(Visuospatial STM); Speeding Naming (Long-Term Retrieval); Repetition of Nonsense Words(Phonological STM); และ Verbal Fluency(Long-Term Retrieval)

10. Kaplan Baycrest Neurocognitive Assessment ตีพิมพ์เมื่อปี 2000 สำหรับคนอายุ 20 ปี ถึง 89 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Immediate Memory Recall, Delayed Memory Recognition, และ Delayed Memory Recall มีแบบทดสอบที่เกี่ยวข้อง 4 ฉบับได้แก่Word List 1(Recall); Complex Figure 1 (Recall); Repetition และ Numbers
11. Leiter International Performance Scale – Revised ตีพิมพ์เมื่อปี 1999 สำหรับเด็กอายุ 2 ปี ถึง 20 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Attention and Memory, Memory Screen, Associative Memory, Memory Span, Memory Process, และ Recognition Memory มีแบบทดสอบย่อยในส่วนของ Working Memory 5 ฉบับได้แก่ Associated Pairs, Immediate Recognition, Forward Memory, Reverse Memory และ Spatial Memory
12. Reynolds Intellectual Assessment Scales ตีพิมพ์เมื่อปี 2003 สำหรับคนอายุ 3 ปี ถึง 94 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำที่เรียกว่า Composite Memory Index มีแบบทดสอบย่อยในส่วนของ Working Memory 2 ฉบับได้แก่ Verbal Memory และ Nonverbal Memory
13. Repeatable Battery for the Assessment of Neuropsychological Status ตีพิมพ์เมื่อปี 1998 สำหรับคนอายุ 20 ปี ถึง 89 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำที่เรียกว่า Immediate Memory และ Delayed Memory มีแบบทดสอบย่อยในส่วนของ Working Memory 2 ฉบับได้แก่ List Learning และ Digit Span
14. Ross Information Processing Assessment – Second Edition ตีพิมพ์เมื่อปี 1996 สำหรับคนอายุ 15 ปี ถึง 90 ปี มีแบบทดสอบย่อยในส่วนของ Working Memory 2 ฉบับได้แก่ Immediate Memory และ Recent Memory

นอกจากนี้ แบบวัดความจำหลายฉบับก็มีการวัดความจำขณะทำงานด้วย เช่น

1. Wechsler Memory Scale – Third Edition (WMS III) ตีพิมพ์เมื่อปี 1997 สำหรับคนอายุ 16 ปี ถึง 89 ปี แบ่งความจำเป็น Immediate Memory, Auditory Immediate. Visual Immediate, General Memory, Auditory Delayed, Visual Delayed, Auditory Recognition Delayed, และ Working Memory มีแบบทดสอบย่อย 10 ฉบับได้แก่ Logical Memory I (Verbal WM, Learning);

Faces I (Visuospatial STM); Verbal Paired Associates I (Learning); Family Pictures I (Visuospatial STM); Word List I (Learning); Visual Reproduction I (Visuospatial STM); Letter – Number Sequencing (Verbal WM, Executive WM); Spatial Span (Visuospatial STM, Visuospatial WM); Mental Control (Long-Term Retrieval , Executive WM); และ Digit Span (Phonological STM, Executive WM)

2. Children Memory Scales (CMS) ตีพิมพ์เมื่อปี 1997 สำหรับเด็กอายุ 5 ปี ถึง 16 ปี แบ่งความจำเป็น General Memory, Verbal Immediate, Visual Immediate, Verbal Delayed, Visual Delayed, Attention/Concentration, Learning, และ Delayed Recognition มีแบบทดสอบย่อย 9 ฉบับได้แก่ Dot Location (Learning); Stories (Verbal WM); Faces(Visuospatial STM); Word Pairs (Learning); Family Pictures (Visuospatial STM); Word List (Learning); Numbers (Phonological STM, Executive WM); Sequence (Long-Term Retrieval , Executive WM); และ Picture Location (Visuospatial STM)
3. Test of Memory and Learning – Second Edition (TOMAL-2) ตีพิมพ์เมื่อปี 2007 สำหรับคนอายุ 5 ปี ถึง 59 ปี 11 เดือน แบ่งความจำเป็น Composite Memory, Verbal Memory, Nonverbal Memory, Verbal Delayed Recall, Learning, Attention/Concentration, Sequential Recall, Free Recall และ Associate Recall มีแบบทดสอบย่อย 14 ฉบับได้แก่ Memory for Stories (Verbal WM); Word Selection Reminding (Learning); Object Recall (Learning); Paired Recall (Learning); Facial Memory(Visuospatial STM); Abstract Visual Memory (Visuospatial STM); Visual Sequential Memory (Learning); Memory for Location (Visuospatial STM); Digit Forward (Phonological STM); Letter Forward (Phonological STM); Manual Imitation (Visuospatial STM); Digit Backward (Executive WM); Letter Backward (Executive WM); และ Visual Selective Reminding(Learning)
4. Wide Range Assessment of Memory And Learning – Second Edition (WRAML-2) ตีพิมพ์เมื่อปี 2003 สำหรับคนอายุ 5 ปี ถึง 90 ปี แบ่งความจำเป็น General Memory, Verbal Memory, Visual Memory, Attention/Concentration, Working Memory, Verbal Recognition, Visual

Recognition, และ General Recognition มีแบบทดสอบย่อย 10 ฉบับได้แก่ Story Memory (Verbal WM); Verbal Learning (Learning); Design Memory (Visuospatial STM); Picture Memory (Visuospatial STM); Finger Windows (Visuospatial STM); Number/Letter(Phonological STM); Sentence Memory(Verbal WM); Sound Symbol (Learning); Verbal Working Memory (Executive WM); และ Symbolic Working Memory (Executive WM)

5. Working Memory Test Battery for Children (WMTB – C) ตีพิมพ์เมื่อปี 2001 สำหรับเด็กอายุ 4 ปี 7 เดือน ถึง 15 ปี 9 เดือน แบ่งความจำเป็น Phonological Loop, Visuo-Spatial Sketchpad และ Central Executive มีแบบทดสอบย่อย 9 ฉบับได้แก่ Digit Recall (Phonological STM); Word List Recall (Phonological STM); Nonword List Recall (Phonological STM); Word List Matching (Phonological STM); Block Recall (Visuospatial STM); Mazes Memory (Visuospatial STM); Listening Recall (Executive WM); Counting Recall (Executive WM); และ Backward Digit Recall (Executive WM)
6. Automated Working Memory Assessment (AWMA) ตีพิมพ์เมื่อปี 2007 สำหรับเด็กอายุ 4 ปี ถึง 22 ปี แบ่งความจำเป็น Verbal Short-Term Memory, Verbal Working Memory, Visuospatial Short-Term Memory, และ Visuospatial Working Memory มีแบบทดสอบย่อย 12 ฉบับได้แก่ Digit Recall (Phonological STM); Word Recall (Phonological STM); Nonword Recall (Phonological STM); Listening Recall (Verbal WM, Executive WM); Counting Recall (Verbal WM, Executive WM); Backward Digit (Verbal WM, Executive WM); Dot Matrix (Visuospatial STM); Block Recall (Visuospatial STM); Odd-One-Out (Visuospatial WM); Mr.X (Visuospatial WM); และ Spatial Span (Visuospatial WM)
7. Swanson Cognitive Processing Test (S-CPT) ตีพิมพ์เมื่อปี 1995 สำหรับคนอายุ 4 ปี 5 เดือนถึง 78 ปี 6 เดือน แบ่งความจำเป็น Total, Semantic, Episodic, Auditory, Visual, Prospective, Retrospective, Strategy Efficiency Index, Processing Difference Index, Instructional Efficiency Index, และ Stability Index มีแบบทดสอบย่อย 11 ฉบับได้แก่ Rhyming Words (Executive WM, Verbal WM); Visual Matrix(Executive WM, Visuospatial WM); Auditory

Digital Sequence(Executive WM, Verbal WM); Mapping and Direction (Executive WM, Visuospatial WM); Story Retelling(Executive WM, Verbal WM); Picture Sequence(Executive WM, Visuospatial WM); Phrase Sequence(Executive WM, Verbal WM); Spatial Organization(Executive WM, Visuospatial WM); Semantic Association(Executive WM, Verbal WM); Semantic Categorization(Executive WM, Verbal WM); และ Nonverbal Sequence(Executive WM, Visuospatial WM)

มีแบบทดสอบอื่นๆที่วัดความจำขณะทำงานด้วย ได้แก่

1. Burns Brief Inventory of Communication and Cognition ตีพิมพ์เมื่อปี 1997 สำหรับคนอายุ 18 ปี ขึ้นไป แบ่งความจำเป็น Orientation to Factual Memory, Auditory Attention and Memory, และ Visual Attention and Memory มีแบบทดสอบย่อยที่วัดความจำขณะทำงาน 6 ฉบับได้แก่ Immediate Auditory Recall of Digits; Immediate Auditory Recall of Digits with Distraction; Immediate Auditory Recall of Functional Information; Functional Short-Term Recognition ; Short-Term Recognition of Pictures; และ Short-Term Recognition of words
2. California Verbal Learning Test-Second Edition, Adult Versionตีพิมพ์เมื่อปี 2000 สำหรับคนอายุ 16 -89 ปี แบ่งความจำเป็น Immediate Recall, Primacy-Recency Recall, Short-Delay Free Recall, Short-Delay Cued Recall, Long-Delay Free Recall, Long-Delay Free Recall-Retention, และLong-Delay Cued Recall มีแบบทดสอบย่อยที่วัดความจำขณะทำงาน 5 ฉบับได้แก่ List A Immediate Recall ; List A Short-Delay Free Recall ; List A Short-Delay Cued Recall ; List A Long-Delay Free Recall ; และ List A Long-Delay Cued Recall
3. California Verbal Learning Test-Children Versionตีพิมพ์เมื่อปี 1994 สำหรับเด็กอายุ 5-16 ปี มีแบบทดสอบย่อยที่วัดความจำขณะทำงาน 4 ฉบับได้แก่ List A Trials 1-5; List B Free Recall Trial; Short-Delay Free Recall ; และShort-Delay Cued Recall
4. Children's Auditory Verbal Learning Test – Second Editionตีพิมพ์เมื่อปี 1993 สำหรับเด็กอายุ 6ปี 6 เดือน ถึง 17 ปี 11 เดือน แบ่งความจำเป็น Immediate Memory Span, Level of Learning, Interference Trial, Immediate

Recall, Delayed Recall, Recognition Accuracy, และ Total Intrusions มีแบบทดสอบย่อยที่วัดความจำขณะทำงาน 2 ฉบับได้แก่ Trial 1 และ Interference

5. Comprehensive Test of Phonological Processing (CTOPP)ตีพิมพ์เมื่อปี 1999 สำหรับเด็กอายุ 5 ปี ถึง 24 ปี 11 เดือน แบ่งความจำเป็น Phonological Memory และ Rapid Naming มีแบบทดสอบย่อยที่วัดความจำขณะทำงาน 6 ฉบับได้แก่ Memory for digits; Nonword Repetition; Rapid Colour Naming; Rapid Digit Naming; Rapid Letter Naming; และ Rapid Object Naming;
6. Learning Efficiency Test – Second Edition ตีพิมพ์เมื่อปี 1992 สำหรับคนอายุ 5-75 ปี แบ่งความจำเป็น Visual Ordered Recall, Visual Unordered Recall, Auditory Ordered Recall, Auditory Unordered Recall, Total Visual Memory, Total Auditory Memory, และ Global Memory มีแบบทดสอบย่อยที่วัดความจำขณะทำงาน8 ฉบับได้แก่ Visual Ordered Immediate Recall ; Visual Ordered Short-Term Recall ; Visual Unordered Immediate Recall; Visual Unordered Short-Term Recall ; Auditory Ordered Immediate Recall ; Auditory Ordered Short-Term Recall ; Auditory Unordered Immediate Recall; และ Auditory Unordered Short-Term Recall
7. Memory Assessment Scales ตีพิมพ์เมื่อปี 1991 สำหรับคนอายุ 18 ปีขึ้นไป แบ่งความจำเป็น Global Memory, Short-Term Memory Summary, Verbal Memory Summary, และ Visual Memory Summaryมีแบบทดสอบย่อยที่วัดความจำขณะทำงาน 4 ฉบับได้แก่ List Learning ; Verbal Span; Visual Span; และ Prose Memory
8. The Word Memory Test ตีพิมพ์เมื่อปี 2000 สำหรับคนอายุ 18 ปีขึ้นไป มีแบบทดสอบย่อยที่วัดความจำขณะทำงาน 2 ฉบับได้แก่ Immediate Recognition และ free Recall

แบบตรวจสอบรายการ

Dr. Tracy Alloway นักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Durham ประเทศสหราชอาณาจักร ผู้อ้างว่าได้สร้างเครื่องมือแรกของโลกเพื่อประเมินความจุของความจำขณะทำงานของนักเรียนในชั้นเรียนเสนอว่าเด็กที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำในโรงเรียนอาจเป็นเพราะมีความจำขณะทำงานที่ไม่ดี ไม่ใช่เป็นเพราะสติปัญญาต่ำ และถ้าไม่มีการช่วยเหลือที่เหมาะสม ความบกพร่องของ

ความจำขณะทำงานในเด็ก ซึ่งเดิมคิดกันว่าเกิดจากพันธุกรรม จะมีผลกระทบต่อความสำเร็จทางวิชาการระยะยาวจนโตเป็นผู้ใหญ่และทำให้เด็กไม่บรรลุศักยภาพของพวกเขาในการเรียนรู้ (http://www.sciencedaily.com/releases/2008/02/080227205111.htm retrieved June, 06/2011)

Alloway และคณะ สำรวจเด็กในประเทศสหราชอาณาจักรมากกว่าสามพันคน พบว่ากว่าร้อยละสิบของนักเรียนในทุกช่วงอายุมีปัญหาเนื่องจากความบกพร่องด้านความจำขณะทำงานจนส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้ของพวกเขา ซึ่งเท่ากับว่ามีเด็กระดับประถมศึกษาในประเทศสหราชอาณาจักรเกือบครึ่งล้านคนที่ได้รับผลกระทบนี้ อย่างไรก็ตาม นักวิจัยพบว่าครูมีความยากลำบากในการระบุว่าเด็กมีปัญหาเรื่องความจำขณะทำงานหรือไม่ โดยครูมักกล่าวถึงเด็กที่มีปัญหานี้ว่าเป็นเด็กไม่ตั้งใจเรียนหรือมีระดับสติปัญญาต่ำ นักวิจัยอ้างว่าเครื่องมือใหม่ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์กับแบบตรวจสอบรายการโดยใช้ข้อสนเทศจากผลการวิจัยที่ศึกษามาเป็นเวลาหลายปีเกี่ยวกับความบกพร่องของความจำขณะทำงานของเด็ก จะเป็นครั้งแรกที่ช่วยครูให้สามารถระบุ และ ประเมินความจุของความจำขณะทำงานของเด็ก ๆ ในชั้นเรียนได้ตั้งแต่เล็กอายุประมาณ 4 ปี นักวิจัยเชื่อว่าการประเมินเด็กได้ตั้งแต่ขวบปีแรกๆจะช่วยให้ครูปรับวิธีการสอนใหม่ที่จะช่วยแก้ปัญหาผลสัมฤทธิ์ต่ำได้

เครื่องมือนี้ได้รับการทดลองใช้นำร่องในโรงเรียน 35 โรงเรียนทั่วประเทศสหราชอาณาจักร และขณะนี้ถูกแปลเป็นภาษาต่างประเทศ 10 ภาษา Dr. Alloway อธิบายว่า “ความจำขณะทำงานเป็นความสามารถในการรักษาข้อสนเทศไว้ในหัวของคุณ และใช้มันในใจ คุณใช้พื้นที่ทำงานในใจนี้ในการบวกเลข 2 จำนวนที่ใครคนใดคนหนึ่งบอกให้ทำโดยไม่ให้ใช้กระดาษ ปากกา หรือเครื่องคิดเลข เด็กๆในโรงเรียนต้องการความจำแบบนี้ในการทำภาระงานหลายๆอย่างในชีวิตประจำวัน เช่นการติดตามการสอนของครูหรือการจำประโยคที่เพิ่งถูกสั่งให้เขียนลงในสมุด” ... "ความจำขณะทำงานเป็นเหมือนกับแผ่นสำหรับจดบันทึกในจิตใจและจะมีคุณภาพดีหรือไม่ดีอยู่ที่มันง่ายที่จะมีเส้นทางจากความจำขณะทำงานนี้ไปยังการเรียนรู้หรือมันป้องกันไม่ให้เกิดการเรียนรู้" “จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่หลายเรื่องที่เราดำเนินการมา เราเชื่อว่า วิธีเดียวที่เด็กที่มีความบกพร่องด้านความจำขณะทำงานจะสามารถประสบความสำเร็จในการเรียนคือการสอนวิธีการเรียนรู้ แม้ว่าพวกเขาจะมีความจุของความจำขณะทำงานน้อยในการเก็บข้อสนเทศในใจ” ... “ปัจจุบัน เด็กไม่ได้ถูกระบุ และประเมินเกี่ยวกับความจำขณะทำงานในบริบทของชั้นเรียน การระบุเรื่องนี้ได้ตั้งแต่แรกๆเป็นขั้นตอนสำคัญสู่การแก้ไขเรื่องผลสัมฤทธิ์ต่ำ มันจะช่วยครูให้สามารถปรับวิธีการสอนของตนเองเพื่อช่วยในการเรียนรู้ของเด็กก่อนที่พวกเขาจะไปอยู่ล้าหลังเพื่อไกลเกินไป”

นักวิจัยอ้างว่าแบบตรวจสอบรายการ ที่เรียกว่า Working Memory Rating Scale (WMRS) จะช่วยให้ครูระบุเด็กที่คิดว่าอาจมีปัญหาเรื่องความจำขณะทำงานได้ โดยไม่ต้องนำเด็กไปรับการทดสอบทันที เด็กที่ได้คะแนนสูงในแบบตรวจสอบรายการนี้มีแนวโน้มว่าจะมีปัญหาเกี่ยวกับความจำขณะทำงานซึ่งมีผลต่อความก้าวหน้าทางวิชาการของพวกเขา แต่ถ้าครูรู้สึกว่าจำเป็นต้องใส่ใจกับสมรรถนะของเด็กคนใดเป็นพิเศษ ครูก็สามารถนำเด็กไปรับการทดสอบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ชื่อ Automated Working Memory Assessment (AWMA) เครื่องมือนี้มีคำแนะนำสำหรับครูถึงวิธีจัดการกับขนาดบรรทุกความจำขณะทำงาน(working memory loads)ของเด็กซึ่งจะช่วยลดโอกาสที่ทำให้เด็กล้มเหลวในการทำภาระงานด้วย ทั้งนี้ เครื่องมือทั้งสองชิ้นนี้ได้รับการเผยแพร่ โดย The Pearson Assessment งานวิจัยที่เป็นพื้นฐานของ AWMA ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจาก the Economic and Social Research Council and the British Academy.

Miyake et al. (2000) นำเสนอโมเดลของ Complex Executive Task ว่าประกอบด้วย Shifting, Updating, และ Inhibition โดยภาระงานของ Shifting ได้แก่ Plus – Minus, Number – Letter, และ Local – Global ส่วนภาระงานของ Updating ได้แก่ Keep Track, Tone Monitoring, และ Letter Memory และภาระงานของ Inhibition ได้แก่ Antisaccade, Stop – Signal, และ Stroop

รายละเอียดแต่ละภาระงานเป็นดังนี้

(1) Shifting

(1.1) Plus – Minus Tasks

ปรับปรุงจาก Jersild (1927) และ Spector and Biederman (1976)

ประกอบด้วย รายการเลข 2 หลัก 30 จำนวน รวม 3 รายการ (จำนวน 10 – 99 ถูกสุ่มโดยไม่มีการแทนที่) พิมพ์บนกระดาษ 1 แผ่น

รายการแรกผู้ทำภาระงานต้องบวก 3 เข้ากับแต่จำนวนและเขียนคำตอบไว้

รายการที่ 2 ให้ลบ 3 แต่ละจำนวน

รายการที่ 3 ให้บวก 3 และลบ 3 สลับกันไปแต่ละจำนวน

ให้ทำให้ถูกต้องและเร็วที่สุด

จับเวลาที่ทำเสร็จ คำนวณค่า Shifting ระหว่างการบวกและลบโดยพิจารณาความแตกต่างระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำรายการงานที่ 3 กับค่าเฉลี่ยเวลาที่ทำรายการที่ 1 และ 2

(1.2) Number - Letter Task : ปรับปรุงจาก Roger and Monsell (1995)

นำเสนอตัวเลขและตัวอักษร (เช่น 7G) ที่ควอดแรนต์หนึ่งบนจอคอมพิวเตอร์

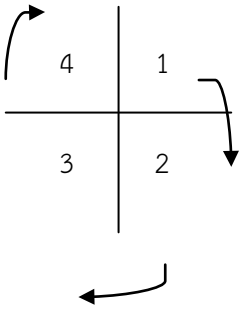
หากตัวเลขและตัวอักษรดังกล่าวปรากฏที่ 2 Quadrants ข้างบน ให้ผู้ทำภาระงานระบุว่าจำนวนเลขเป็นจำนวนคู่หรือจำนวนคี่

และให้ระบุว่า ตัวอักษรเป็นพยัญชนะหรือสระ ถ้าหากว่าคู่จำนวน – ตัวอักษรนั้นถูกนำเสนอใน 2 Quadrants ข้างล่าง

จะนำเสนอเฉพาะใน 2 Quadrants บน สำหรับ block แรกซึ่งมี 32 target trails และนำเสนอเฉพาะ 2 Quadrants ล่าง สำหรับ block ที่ 2 อีก 32 target trials และนำเสนอเรียงตามเข็มนาฬิกาทุก Quadrants สำหรับ block ที่ 3 จำนวน 128 target trials

ดังนั้น trials ใน 2 block แรกไม่ได้ใช้ switching ในขณะที่ครึ่งหนึ่งของ trials ใน block ที่ 3 ใช้การ shift ระหว่างการทำงาน 2 ประเภทนี้ ทุก trials (รวม 10 – 12 practice trials ในแต่ละ block) ให้ผู้ทำภาระงานตอบสนองโดยการกดปุ่ม และสิ่งเร้าต่อไปจะถูกนำเสนอ 150 ms หลังการตอบสนองเช่นเดียวกับ plus – minus task

ค่าการ shift คือความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนอง (Reaction times) ของ trials ใน block ที่ 3 ซึ่งต้องใช้การ shift (trial จาก upper left และ lower right quadrants) และค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนองของ trials จาก 2 block แรกที่ไม่ต้องใช้การ shift



(1.3) Local – Global Task :

ภาระงานนี้ มีรูปภาพเรขาคณิตที่มักเรียกกันว่า Navon figure (Navon, 1977) ซึ่งเส้นของ “global” figure (เช่นรูป △) ประกอบด้วยจำนวนเส้นน้อยกว่า “local” figure (เช่น รูป□) ถูกนำเสนอบนจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้สีของรูป (อาจเป็นน้ำเงินหรือดำ) เป็นเงื่อนไข ถ้าเป็นสีน้ำเงิน ผู้ทำภาระงานต้องพูดดัง ๆ ว่าใน global มีกี่เส้น (ถ้าเป็นรูปวงกลม เรียกว่ามี 1 เส้น ; รูป X มี 2 เส้น ;

△ มี 3 เส้น และถ้าเป็น□ มี 4 เส้น) หรือถ้าเป็นสีดำ ผู้ทำภาระงานต้องพูดดัง ๆ ว่าใน local ซึ่งเป็นรูปเล็กกว่า มีกี่เส้น ดังนั้นเมื่อสีของสิ่งเร้าเปลี่ยนไป ผู้ทำภาระงานต้องเปลี่ยนกระบวนการทางปัญญาว่าจะบอกจำนวนใน local หรือ global

วัดเวลาในการตอบสนอง หลังจาก practice trials 36 ครั้ง (ซึ่ง 24 ครั้งใช้เป็น voice – key calibration trials) ผู้ทำภาระงานทำ 1 block ของ 96 target trials โดยแต่ละครั้งห่างกัน 500 ms นับจากการตอบสนองถึงการนำเสนอสิ่งเร้าใหม่

target trial ถูกสุ่มมาก่อน กำหนดว่า ครึ่งหนึ่งของ trials ต้องใช้ switch จาก local ไป global หรือจาก global ไป local ค่าของการ shift (shift cost) คำนวณจากความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความไวในการตอบสนอง (RT) ของ trials ที่ต้องใช้การ shift ในความคิด (เช่น สีของสิ่งเร้าเปลี่ยน) และ trials ที่ไม่ต้องใช้การ shift (เช่น สีของสิ่งเร้ายังคงเหมือนเดิม)

(2) Updating Tasks

(2.1) Keep track task : ปรับจาก Yntema, (1963)

ผู้ทำภาระงานได้รับการนำเสนอกลุ่มของเป้าหมายจำนวนมากที่ด้านล่างของจอคอมพิวเตอร์ คำ 15 คำ รวม 2 หรือ 3 ตัวอย่างจากแต่ละกลุ่มที่เป็นไปได้ 6 กลุ่ม (สัตว์, สี, ประเทศ, ระยะห่าง, โลหะ, และเครือญาติ) จะถูกนำเสนอโดยสุ่มอย่างละ 1500 ms โดยที่กลุ่มเป้าหมายยังคงอยู่ที่ด้านล่างของจอ ภาระงานคือ ให้จำคำสุดท้ายที่นำเสนอในแต่ละกลุ่ม แล้วเขียนคำเหล่านี้เมื่อจบ trial ตัวอย่างเช่น ถ้ากลุ่มเป้าหมายคือโลหะ, เครือญาติ, และประเทศ ดังนั้นเมื่อจบ trial ผู้ทำภาระงานต้องระลึกถึงโลหะตัวสุดท้าย เครือญาติตัวสุดท้าย และประเทศสุดท้ายที่นำเสนอในรายการ ดังนั้น ผู้ทำภาระงานต้องติดตามคำที่นำเสนออย่างใกล้ชิดและทำความจำขณะทำงานของตนให้ทันสมัยอยู่เสมอเพื่อจะได้จัดกลุ่มได้ถูกต้องเหมาะสมเมื่อคำที่นำเสนอเป็นสมาชิกของกลุ่มเป้าหมาย ที่กำหนดไว้

ก่อนเริ่มภาระงาน ผู้ทำภาระงานจะเห็น กลุ่มทั้ง 6 กลุ่ม พร้อมทั้งตัวอย่างของแต่ละกลุ่มเพื่อให้แน่ใจว่ารู้จักว่าคำเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มใด และมีการฝึกทำ 1 ครั้งกับกลุ่มเป้าหมาย 3 กลุ่ม ผู้ทำภาระงานจะทำ 3 trials โดยใช้กลุ่มเป้าหมาย 4 กลุ่ม และ 3 trials กับกลุ่มเป้าหมาย 5 กลุ่ม ต้องจำคำทั้งหมด 27 คำ (4 กลุ่ม 4 คำ 3 ครั้ง = 12 คำ 5 กลุ่ม 5 คำ 3 ครั้ง = 15 คำ)

ความสามารถในการ update คือ สัดส่วนของคำที่จำได้ถูกต้อง

(2.2) Tone monitoring Task

ภาระงานนี้ปรับปรุงจาก Mental Counter Task ที่พัฒนาโดย Larson, Merritt & Williams (1988)

ผู้ทำภาระงานได้รับการนำเสนอ 4 trial blocks แต่ละ block ประกอบด้วยชุดของเสียง 25 tones นำเสนอชิ้นละ 500 ms โดยเว้นช่อง interstimulus interval ที่ 2500 ms แต่ละ block ประกอบด้วยการจัดลำดับแบบผสมของระดับเสียงสูง, กลาง, ต่ำ (ความถี่ 880 Hz, 440 Hz, และ 220 Hz) ระดับเสียงละ 8 tones และ 1 tone ถูกสุ่มจาก 3 กลุ่มนี้ (รวมทั้งสิ้น 25 tones) ภาระงานคือให้ตอบสนองเมื่อได้ยิน tone ที่ 4^{th} ของแต่ละระดับเสียง (เช่นหลังจากได้ยินระดับเสียงต่ำเป็นครั้งที่ 4, กลางครั้งที่ 4, สูงครั้งที่ 4) ซึ่งทำให้ผู้ทำภาระงานต้องจดจ่อและใส่ใจกับจำนวนครั้งที่แต่ละระดับเสียงถูกนำเสนอ ตัวอย่างเช่น ถ้าลำดับเป็น ต่ำ, สูง, กลาง,สูง, สูง, ต่ำ, กลาง, สูง, ต่ำ, สูง ผู้ทำภาระงานต้องตอบสนองที่ระดับเสียงสูงครั้งที่ 4 และถ้าถามตอนจบชุด ควรตอบได้ว่านับได้ 3 ต่ำ, 2 กลาง, และ 1 สูง ถ้าตอบสนองผิด เช่นตอบที่ครั้งที่ 3 จะได้คะแนนเป็น 0

ก่อนทำภาระงาน 4 blocks นี้ ผู้ทำภาระงานจะได้รับคำแนะนำพร้อมมี shortened block 14 tones แบบเดียวกับ practice block 25 tone

ใน 4 trial blocks ซึ่งมีคำตอบที่ถูกต้อง 4 แห่งต่อ block ผู้ทำภาระงานควรตอบสนองถูกต้องสูงสุด 24 ครั้ง ดังนั้น ค่าการ update คิดจากสัดส่วนของการตอบสนองที่ถูกต้องต่อทั้งหมด

(2.3) Letter memory task : ปรับจาก Morris & Jones (1990)

มีตัวอักษรจำนวนมากจากรายการที่ถูกนำเสนอเป็นชุดในเวลา 2000 ms ต่ออักษรหนึ่งตัว ภาระงานคือการจำตัวอักษร 4 ตัวสุดท้ายที่นำเสนอ เพื่อให้แน่ใจว่าภาระงานนี้จำเป็นต้องใช้ continuous updating ผู้คุมสอบจะให้ผู้ทำภาระงานพูดตัวอักษร 4 ตัวท้ายดัง ๆ และเพิ่มตัวใหม่เข้าไปและทิ้งตัวที่ 5 นับจากข้างท้ายขึ้นไป และพูดตัวใหม่ 4 ตัวท้ายดัง ๆ อีก เช่น ถ้าตัวอักษรที่นำเสนอคือ “T, H, G, B, S, K, R” ผู้ทำภาระงานต้องพูดว่า “T… TH… THG… THGB… HGBS….GBSK… BSKR…” และจำ BSKR เมื่อจบ trial

จำนวนของตัวอักษรที่นำเสนอ (5, 7, 9, หรือ 11) จะเปลี่ยนไปโดยสุ่มตลอดการทดลองเพื่อให้แน่ใจว่า ผู้ทำภาระงานจะทำตามวิธีการที่กำหนด หลังจากฝึกปฏิบัติ 2 trial โดยใช้ 5 และ 7 ตัวอักษรตามลำดับ ผู้ทำภาระงานจะทำ

ภาระงาน 12 trials รวมต้องจำทั้งหมด 48 ตัวอักษร คะแนนที่ได้เป็นสัดส่วนของตัวอักษรที่จำได้ถูกต้อง

(3) Inhibition Task

(3.1) Antisaccade Task : ปรับจาก Roberts, Hager, & Heron, (1994)

เริ่มต้นมีจุดตรึงนำเสนอกลางจอคอมพิวเตอร์เป็นเวลาไม่แน่นอน (1 ครั้ง ถึง 9 ครั้ง ระหว่าง 1500 และ 3500 ms ทิ้งช่วงห่างกัน 250 ms) มีตัวกวนที่มุมด้านหนึ่งของจอ (เช่น ทางซ้าย) เป็นเวลา 225 ms ตามด้วยสิ่งเร้าเป้าหมายซึ่งนำเสนอที่ด้านตรงข้าม (เช่น ทางขวา) เป็นเวลา 150 ms ก่อนที่จะมีแผ่นแรเงาสีเทา ปิดไว้ ตัวกวนนี้เป็นสี่เหลี่ยมสีดำ และสิ่งเร้าเป้าหมายประกอบด้วยลูกศรอยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยม ภาระงาน คือ ระบุทิศทางของลูกศร (ซ้าย, ขวา, หรือข้างบน) โดยใช้ปุ่มตอบสนอง ให้ลูกศรปรากฏอยู่เพียง 150 ms ก่อนที่จะถูกปิดทับ ผู้ทำภาระงานต้องยับยั้งการตอบสนองแบบ reflexive ที่จะมองที่ตัวกวน (สี่เหลี่ยมเล็ก ๆ สีดำ) เพราะการทำเช่นนั้นจะทำให้ยากที่จะระบุทิศทางของลูกศรได้ถูกต้อง ตัวกวนและเป้าถูกนำเสนอขนาด 3.4 นิ้ว ห่างจากจุดตรึงตรงกลางจอแต่อยู่คนละด้านกัน ผู้ทำภาระงานนั่งห่างจากจอ 18 นิ้ว (ดังนั้น มุมการมองระหว่างตัวกวนกับเป้าหมายเป็นประมาณ 21.4°) มีการ practice 22 trials และมีเป้าหมาย 90 trials คะแนนได้จากสัดส่วนของเป้าหมายที่ตอบได้ถูกต้อง

(3.2) Stroop Task : (Stroop, 1935) ปรับมาใช้กับคอมพิวเตอร์

ผู้ทำภาระงานต้องบอกสีของสิ่งเร้าให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในแต่ละ trial โดยใช้การวัดความไวในการตอบสนองด้วยเสียง ภาระงานประกอบด้วย 75 trials ของดอกจันที่พิมพ์สีใดสีหนึ่งใน 6 สี (แดง เขียว น้ำเงิน ส้ม เหลือง หรือม่วง) 60 trials ที่เป็นคำชื่อสีที่พิมพ์ด้วยสีอื่น (เช่น น้ำเงิน พิมพ์ด้วย สีแดง) และ 12 trials ที่เป็นคำชื่อสีที่พิมพ์ด้วยสีนั้น (เช่น น้ำเงิน พิมพ์ด้วยสีน้ำเงิน) โดยผสม trial เหล่านี้กันไป ผู้ทำภาระงานต้องทำ trials 3 blocks สั้น ๆ ประมาณ 10 trials สำหรับการฝึก วัดความแตกต่างของความไวในการตอบสนองระหว่าง trials ที่คำและสีไม่สอดคล้องกันกับ trials ที่เป็นเครื่องหมายดอกจัน [มีดอกจันสีต่าง ๆ ให้บอกว่าสีอะไร จับเวลา T_1 คำที่ตรงกับสี, ไม่ตรงกับสี ให้บอกว่าสีอะไร จับเวลา T_2 Stroop cost = $T_2 - T_1$]

(3.3) Stop – signal Task : พื้นฐานจาก Logan, 1994

ประกอบด้วย trials 2 blocks แต่ละ trial ใน block แรกซึ่งมี 48 trials ใช้เพื่อสร้างการตอบสนองที่เรียกว่า prepotent categorization response ผู้ทำภาระ

งานได้รับการนำเสนอคำ 1 คำใน 24 คำ (เช่น เป็ด ปืน) ที่มีความยาวและความถี่ใกล้เคียงกันและถูกบอกให้จัดจำแนกว่ามันเป็นสัตว์หรือไม่ใช่สัตว์ให้ถูกต้องและเร็วที่สุดที่จะทำได้ หลังจากนั้นใน block ที่สองซึ่งมี 192 trials บอกผู้ทำภาระงานให้ไม่ต้องตอบสนอง (นั่นคือการยับยั้งการตอบสนองการจัดจำแนก) เมื่อได้ยินเสียงคอมพิวเตอร์ที่ผลิตเสียงโดยสุ่ม 48 ครั้ง แต่ถ้าไม่มีเสียงก็ให้ทำการจำแนกแบบเดิม ต้องเน้นว่าไม่ต้องชะลอเพื่อคอยว่าจะมีสัญญาณเสียงหรือไม่ และถ้าตรวจจับได้ว่ามีการชะลอต้องเตือนให้รีบทำให้เร็วที่สุดที่จะทำได้ เวลาที่มีสัญญาณระหว่างการหยุด trial ถูกปรับสำหรับแต่ละคนโดยการหาค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนองจาก block ที่ 1 ลบออกด้วย 225 ms ในทุก trials (รวมทั้ง 34 practice trials) ผู้ทำภาระงานจะเห็นจุดตรึงกลางจอเป็นเวลา 500 ms และยอมให้ถึง 1500 ms ในการจำแนกคำเป้าหมายโดยการกดปุ่ม วัดค่าของภาระงานนี้จากสัดส่วนของการตอบสนองการจำแนกสำหรับ the stop trials

ภาระงานอื่นที่ให้ทำได้แก่

Wisconsin Card Sorting Test (WCST)

พัฒนาโดย Kimberg, D' Esposito, and Farah (1997)

ให้ผู้ทำภาระงานจับคู่ชุดของการ์ดเป้าหมายที่นำเสนอกลางจอกับการ์ดอ้างอิง 1 ใน 4 การ์ดที่แสดงไว้ใกล้ขอบบนของจอ ผู้ทำภาระงานต้องจัดการ์ดเป้าหมายซ้อนเป็นกองใต้การ์ดอ้างอิงตามเงื่อนไขหนึ่งในสาม คือ สี (แดง, เขียว, น้ำเงิน, หรือเหลือง), จำนวน (1, 2, 3, หรือ 4), หรือรูปร่าง (วงกลม, กากบาท, ดาว, หรือสี่เหลี่ยม) และจะมีเพียงคุณลักษณะเดียวที่ถูกต้องสำหรับการ์ดเป้าหมายแต่ละใบ การ์ดเป้าหมายแต่ละใบจะปรากฏอยู่จนกระทั่งมีการตอบสนอง หรือจนกว่าเวลาจะผ่านไปสูงสุด 3 วินาที จึงจะผ่านไป trial ใหม่และจะมี visual feedback (เช่น ถูกต้อง หรือผิด ที่ใต้กองการ์ดเป้าหมาย) ถ้าผู้ทำภาระงานไม่ได้จัดการ์ดเป้าหมายภายในเวลาที่กำหนดจะขึ้นคำว่า "หมดเวลา" ที่ด้านขวาของการ์ดเป้าหมาย การจำแนกกลุ่ม (เช่น สี) จะคงอยู่เช่นกันจนกว่าจะทำได้ถูกต้องต่อเนื่องกัน 8 ครั้ง จึงจะมีการเปลี่ยนเกณฑ์การจัด (เช่น ไปที่ "จำนวน") ผู้ทำภาระงานต้องระวังว่าเกณฑ์การจัดจะเปลี่ยนไป แต่จะไม่มีการบอกจำนวนที่แน่นอนว่าต้องทำถูกกี่ครั้งจึงจะมีการเปลี่ยนเกณฑ์ หลังจากฝึกทำ 30 การ์ด ภาระงานหลักจะเริ่มต้นและต่อเนื่องไปจนกระทั่งผู้ทำภาระงานทำได้สำเร็จ 15 กลุ่ม หรือจำนวนการ์ดเป้าหมายทั้งสิ้นเกินกว่า 288 การวัดหลักอยู่ที่จำนวนของ classical

preseverative errors ซึ่งคือจำนวนของครั้งที่ ผู้ทำภาระงานล้มเหลวในการเปลี่ยนหลักการจัด เมื่อเกณฑ์การจัดเปลี่ยนไปและยังคงจัดการ์ดตามเกณฑ์เดิมอยู่

Tower of Hanoi

ใน version ที่ใช้คอมพิวเตอร์นี้ ครั้งแรกผู้ทำภาระงานจะได้ดูโครงร่างสุดท้ายบนกระดาษ ประกอบด้วย disks 4 วงขนาดต่างกัน อยู่บนแท่งไม้ 3 แท่ง ให้เวลามากเท่าที่จำเป็นในการศึกษาโครงร่างนี้ เมื่อเรียบร้อยแล้วผู้ทำภาระงานจะเห็นโครงร่างที่ต่างไปบนจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องย้าย disks บนจอโดยใช้ mouse เพื่อให้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็นแบบที่อยู่ในกระดาษ โดยให้ใช้ทั้งจำนวนครั้งของการเคลื่อนย้ายน้อยครั้งที่สุด และเวลาน้อยที่สุด ในการเคลื่อนย้าย disks ต้องทำตามกฎของ TOH (ได้แก่ แต่ละครั้งเคลื่อน disk ได้เพียงวงเดียวเท่านั้น, disks แต่ละอันต้องวางในแท่งแต่ละแท่ง, แต่ disks ที่ใหญ่กว่าไม่สามารถอยู่บน disk ที่เล็กกว่า) ก่อนที่จะแก้ปัญหาเป้าหมาย 2 ปัญหา มีการให้ฝึกหัดแก้ปัญหาทาง 2 disks ง่าย ๆ และปัญหา 4 disk ซึ่งแต่ละปัญหาให้เคลื่อนย้าย disk ได้ 11 ครั้ง (เป็น 1 tower – ending และ 1 flat – ending) หลังจากนั้นให้ทำ 2 target four – disk problems ซึ่งบังคับว่าให้ย้ายได้ไม่เกิน 15 ครั้ง (1 tower – ending and 1 flat – ending) ปัญหาทั้งหมดนำมาจาก Humes, Welsh, Retzlaff, and Cookson (1997) การวัดภาระงานนี้คือ จำนวนครั้งทั้งหมดที่เคลื่อนย้ายเพื่อให้แก้ปัญหาเป้าหมายทั้งสองปัญหาได้สำเร็จ

Random Number generation

ในภาระงานนี้ ผู้ทำภาระงานจะได้ยินเสียง beep ที่คอมพิวเตอร์สร้างขึ้น ทุก ๆ 800 ms ภาระงานคือ ให้พูดดัง ๆ จำนวน 1 ถึง 9 สำหรับแต่ละ beep โดยให้จำนวนเป็นโดยสุ่มให้มากที่สุด (และมีการใส่คืน) โดยเปรียบเทียบให้ผู้ทำภาระงานฟังว่าเหมือนกับการหยิบตัวเลขออกมาจากภาชนะ อ่านดัง ๆ แล้วใส่กลับคืนไป แล้วหยิบใหม่

ให้ทำทั้งหมด 162 beeps ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติหลายอย่าง

Operation span task : (ปรับจาก Turner & Engle, 1989)

ผู้ทำภาระงานจะได้รับชุดของ สมการ – คำ บนจอคอมพิวเตอร์ ต้องอ่านดัง ๆ และตรวจสอบว่าสมการคณิตศาสตร์นั้น (เช่น (3 x 4) – 6 = 5 ต้องอ่านดัง ๆ ว่า 3 คูณ 4 ลบด้วย 6 เท่ากับ 5 .... ผิด) และอ่านคำที่จะปรากฏขึ้นมาอีก (เช่น “นก”) เมื่อจบ trial ต้องจำคำทั้งหมดในชุดสมการ – คำ นั้น โดยที่ต้องไม่นึกถึงคำของคู่สุดท้ายมาก่อน ตัวอย่างเช่น ถ้ามีชุดที่มีคู่ สมการ – คำ อยู่ 4 คู่ ต้องตรวจสอบสมการและอ่านคำแต่ละคู่และระลึกคำสี่คำนี้เมื่อเสร็จการทดลอง แต่ละสมการจะยังอยู่บนจอจนกว่าจะมีการตอบว่าถูกหรือผิด เมื่อผู้คุมสอบ กดปุ่มตอบสนองหรือเมื่อเวลาผ่านไป 8 วินาที สมการจะ

หายไป จะปรากฏคำขึ้นเป็นเวลา 750 ms ก่อนที่สมการต่อไปจะปรากฏขึ้น ผู้ทำภาระงานต้องเริ่มอ่านสมการดัง ๆ ทันทีที่มันปรากฏ และไม่มีการต่อเวลาให้คิดแก้สมการ หลังจากฝึกทำ 3 trials ที่ขนาดของ set = 2 (2 สมการ – คำ) ก็จะทำ 4 target trials โดยแต่ละขนาดของ set เป็น 2 ถึง 5 คะแนนได้จากจำนวนคำทั้งหมดที่จำได้ถูกต้อง (สูงสุดคือ 56)

Dual Task

ต้องทำ spatial & canning task (the Maze Tracing Speed Task ที่พัฒนาโดย Ekstrom, French, Harman, & Dermen,1976) พร้อม ๆ กับ verbal task (word generation) ผู้ทำภาระงานต้องทำเขาวงกต (mazes) มากที่สุดที่จะทำได้ใน 3 นาที โดยห้ามขีดเส้นซ้ำหรือห้ามยกปากกา หลังจากนั้นให้ทำ word generation เป็นเวลา 3 นาที โดยจะได้รับการนำเสนอเสียง ตัวอักษรทุก ๆ 20 วินาที และให้สร้างคำให้มากที่สุดที่เริ่มต้นด้วยอักษรตัวนั้น โดยไม่ให้ใช้ชื่อเฉพาะและ function words หลังจากนั้นให้ทำงานคู่ ทางเดินในเขาวงกตและการสร้างคำพร้อม ๆ กันเป็นเวลา 3 นาที ตัวอักษรที่ใช้ในภาระงานสร้างคำกับที่ใช้ในภาระงานคู่ ค่อนข้างสมดุลกันดูจากจำนวนคำในหน้าพจนานุกรม โดยใช้แนวทางของ Baddeley et al.(1997) จึงใช้สัดส่วนเฉลี่ยของผลต่างระหว่างงานเดี่ยวกับงานคู่ คำนวณถึงสูตร

$$\left[\frac{\left(\frac{Maze_{single} - Maze_{dual}}{Maze_{single}}\right) + \left(\frac{Word\ qensation_{single} - Word\ qensation_{dual}}{Word\ qensation_{single}}\right)}{2}\right]$$

การเก็บข้อมูล : ทำการทดสอบ ทีละคน 2 ครั้ง ภายใน 2 สัปดาห์ แต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 1.5 ชั่วโมง

ครั้งที่ 1 เก็บ antisaccade, number – letter, keep track, stop – signal, local – global, stroop และ letter memory

ครั้งที่ 2 เก็บ plus – minus, tone monitoring, operation span, RNG, TOH, dual task และ WCST

Oberauer et al. (2000) สรุป ภาระงานที่ใช้ความจำขณะทำงาน (Working memory tasks) จากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยต่างๆได้ 3 กลุ่ม รวม 23 ภาระงาน ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ภาระงานที่ใช้ความจำขณะทำงานในส่วนของ supervision เป็นหลัก (WM tasks requiring mainly supervision) ประกอบด้วยภาระงาน 4 ภาระงานได้แก่

(1) Random generation (Baddeley, 1986,ปรับปรุงโดย Schmuch,1996)

(2) Category generation(version with switching) (Baddeley,1986; Mayr & Kliegl, 2000)

(3) Star counting test(Das-Smaal,de Jong & Koopman, 1993)

(4) Switching (Allport, Styles & Hsieh,1994; Zimmermann & Firm,1993)

กลุ่มที่ 2 ภาระงานที่ใช้ความจำขณะทำงานในส่วนของ storage and transformation เป็นหลัก (WM tasks requiring mainly storage and transformation)ประกอบด้วยภาระงาน 9 ภาระงานได้แก่

(1) Backward digit span

(2) Reading span(Daneman & Carpenter,1980 ; Turner & Engle,1989)

(3) computation span

(4) Spatial Working Memory

(5) Verbal Span

(6) Math Span

(7) Pattern transformation(Mayr & Kliegl,1993)

(8) Memory Updating Numerical (ปรับจาก Salthouse, Babcock & Shaw,1991)

(9) Memory Updating Spatial

กลุ่มที่ 3 ภาระงานที่ใช้ความจำขณะทำงานในส่วนของ coordination เป็นหลัก (WM. Tasks requiring mainly coordination) ประกอบด้วยภาระงาน 7 ภาระงานได้แก่

(1) Memory Updating (STM version)

(2) Alpha span (Craik, 1986)

(3) Spatial short term memory (Oberauer, 1993)

(4) Spatial coordination (Oberauer, 1993)

(5) Verbal coordination (Oberauer, 1993)

(6) Spatial integration (Salthouse & Mitchell, 1989)

(7) Tracking (Pylyshyn & Storm, 1988)

Oberauer et al. (2000) ศึกษาองค์ประกอบแบบสำรวจ (Exploratory analysis of structure) ของภาระงานความจำขณะทำงานทั้ง 23 ภาระงาน โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง 128 คน (113 คนเป็นนักศึกษาใน university of Mannheim ที่เหลือเป็นคณาจารย์หรือทำงานทางวิชาการในมหาวิทยาลัย อายุเฉลี่ย 26.2 ปี (SD = 5.0 พิสัย = 18-46 ปี) และร้อยละ 38 เป็นหญิง กลุ่มตัวอย่างได้รับค่าตอบแทนคนละ 80

DM (ประมาณ $50) สำหรับค่าเสียเวลาทดสอบ เป็นเวลา 2 วัน รวม 9 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ พบว่าสามารถจัดได้ 3 องค์ประกอบดังภาพ 2.27 (Oberauer et al., 2000: 1035)

Factor loadings of working memory tasks[a]

Task	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Communality
Math span (memory)	*0.85*	0.12	0.05	0.73
Verb span (memory)	*0.76*	0.13	0.18	0.63
Computation span	*0.75*	0.28	0.13	0.66
Backward digit span	*0.73*	0.35	0.13	0.67
MU numerical (STM)	*0.72*	0.23	0.03	0.58
Reading span	*0.71*	0.22	0.22	0.61
Alpha span	*0.63*	0.24	0.31	0.58
MU numerical	*0.55*	*0.48*	0.30	0.63
Verbal coordination	*0.45*	0.37	0.37	0.48
MU spatial (STM)	0.24	*0.77*	0.15	0.67
Spatial coordination	0.28	*0.76*	0.14	0.68
MU spatial	0.34	*0.75*	0.09	0.69
Spatial short term memory	0.27	*0.75*	0.17	0.66
Spatial working memory	0.34	*0.62*	0.13	0.52
Spatial integration	0.10	*0.54*	0.24	0.36
Random generation	0.24	*0.50*	0.10	0.31
Tracking	0.01	*0.45*	0.36	0.33
Switching verbal	0.13	0.07	*0.80*	0.66
Verb span (RT)	0.06	−0.07	*0.76*	0.58
Switching numerical	0.19	0.26	*0.74*	0.65
Switching spatial	0.14	0.19	*0.65*	0.49
Math span (RT)	0.31	0.33	*0.64*	0.61
Star counting test	0.07	0.36	*0.61*	0.51
Category generation	0.35	0.18	*0.53*	0.44
Pattern transformation	0.08	0.38	*0.43*	0.34

[a] Eigenvalues for the first five factors: 9.8, 2.4, 1.7, 1.2, 1.1. Loadings >0.40 are printed in italics.

ภาพ 2.27 ค่าน้ำหนักองค์ประกอบความจำขณะทำงานในงานวิจัยของ Oberauer et al.(2000)

เมื่อพิจารณาภาระงานความจำขณะทำงาน ทั้ง 23 ภาระงานใน 2 มิติคือ (1) มิติของหน้าที่การทำงานของความจำขณะทำงาน (functions of WM resources) และมิติของเนื้อหาในภาระงาน (content domain of the task material) สามารถจัดภาระงานเหล่านี้ได้ดังตาราง 2.6 (Oberauer et al., 2000: 1030)

ตาราง 2.6 ภาระงานความจำขณะทำงานในงานของ Oberauer et al.(2000)

Content / Function	Verbal	Spatial - figural	Numerical
Storage & transformation	9. Reading span 11. Verbal span	10. Spatial WM 13. Pattern Transformation 14. Memory Updating spatial	7. Backward Digit Span 8. Computation Span 12. Math Span 15. Memory Updating Numerical
Coordination	18. Alpha Span 21. Verbal Coordination	16. MU (STM) Spatial 19. Spatial STM 20. Spatial Coordination 22. Spatial Integration 23. Tracking	17. MU – STM Numerical
Supervision	2. Category generation 4. Switching Verbal	1. Random Generation 5. Switching Figural	3. Star Counting Test 6. Switching numerical

ผลการตรวจสอบความตรงของโมเดลการวัด พบว่าโมเดลที่เหมาะสมที่สุดเป็นดังภาพ 2.28 (Oberauer et al., 2000:)

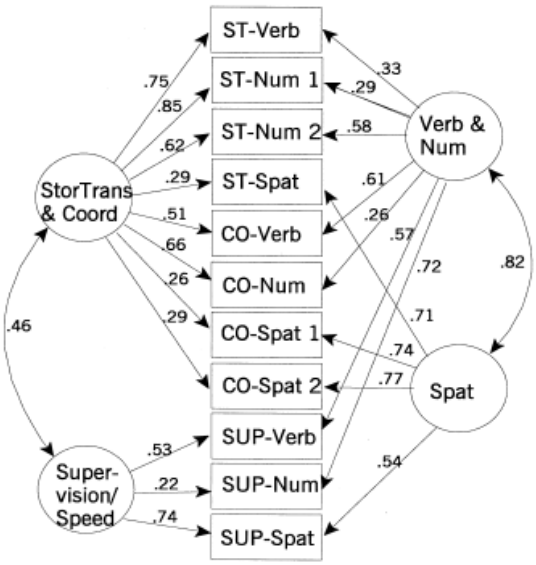


Fig. 4. Best fitting measurement model for the structure of working memory capacity. $\chi^2(31) = 48.92$, $P = 0.02$, CFI = 0.978, Bentler-Bonnett NNFI = 0.960, NFI = 0.943. Errors are omitted for clarity. ST = storage and transformation. CO = coordination. SUP = supervision/speed.

ภาพ 2.28 โมเดลการวัดความจำขณะทำงานจากงานวิจัยของ Oberauer et al.(2000)

ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับ model ของ Baddeley (1980) ที่นำเสนอว่ามี one slave system สำหรับ phonologically coded material (ทั้งคำและตัวเลข) และอีกหนึ่งระบบสำหรับ spatial และ pictorial material อย่างไรก็ตามพบว่า central executive ไม่ได้เป็นเอกพันธ์(Oberauer et al., 2000:)

รายละเอียดของภาระงานความจำขณะทำงาน 23 ภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) นำเสนอได้ดังตาราง 2.7

ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000)

ลำดับที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
1	Random generation	Baddeley, 1986,ปรับปรุงโดย Schmuch,1996	ผู้ทำภาระงานต้องสร้างชุดของตัวเลขแบบสุ่มโดยกดปุ่มตัวเลข 9 ตัว ที่แป้นพิมพ์ด้านขวา จังหวะของการกดแป้นพิมพ์เป็นไปตามจังหวะของสัญญาณภาพที่กำหนดให้ (คือ คำว่า “now” กระพริบเป็นจังหวะบนจอ) ซึ่งกำหนดการตอบสนองแต่ละครั้งทุกๆ 80 มิลลิวินาที มีการให้ฝึกทำ(practice) 1 ครั้ง และมีการทดสอบ(trial) 3 ครั้ง การทดสอบแต่ละครั้ง ให้ตอบสนอง 100 ครั้ง
2	Category generation (version with switching)	Baddeley,1986 ; Mayr & Kliegl, 2000	กำหนดกลุ่ม 2 กลุ่ม คือกลุ่ม 1 และ 2 บนจอคอมพิวเตอร์เป็นเวลา 5 วินาที ซึ่งผู้ทำภาระงานต้องจำไว้ [หลังจากนั้นจะให้ยกตัวอย่างของสมาชิกของกลุ่มเหล่านี้] หลังจากผู้ทำภาระงานตอบโดยการเขียนในกระดาษคำตอบแล้วจะกด spacebar และหมายเลขของกลุ่มที่จะให้คิดและเขียนตัวอย่างสมาชิกต่อไป (1หรือ2) จะถูกนำเสนอบนจออีก การเปลี่ยนกลุ่มเป็นไปโดยสุ่มเพื่อว่าผู้ทำภาระงานต้อง switch ระหว่าง 2 กลุ่ม คำตอบต้องไม่ซ้ำกับที่เคยตอบแล้ว ในแต่ละข้อคำที่มีความหมายใกล้กันจะถูกเลือก (เช่น “ต้นไม้”และ “ดอกไม้”) เพื่อเพิ่มความจำเป็นที่ต้อง inhibition ของกลุ่มคู่แข่งและ activation ของ intended category แต่ละ trial ใช้เวลา 90 วินาที จำนวนตัวอย่างที่สร้างขึ้นได้ถูกต้องจะได้คะแนน มีการให้ลองฝึกทำ 1 ครั้งและมีการทดสอบ 5 ครั้ง

ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
3	Star counting test	Das-Smaal, de Jong & Koopman, 1993	รูปดาวจำนวนหนึ่งเรียงแถวเป็น 2 แถว ปรากฏบนจอ และมีเครื่องหมาย “+” และ “-” จำนวนมากอยู่ระหว่างดาว ผู้ทำภาระงานต้องนับจำนวนดาวจากซ้ายไปขวา และทุกครั้งที่พบเครื่องหมาย “+” ต้องนับต่อไปข้างหน้า แต่เมื่อใดที่พบ “-”ต้องนับถอยหลัง (30,29,28,27…) หลังจากทำภาระงานผ่านไป 7 ข้อ ความหมายของ “+”และ “-” จะกลับกันนั่นคือ “-” หมายถึงนับไปข้างหน้า และ “+” หมายถึงนับถอยหลัง จะมีการเตือนว่ามีการสลับความหมายแล้วบนจอ บันทึกเวลาที่ใช้การนับดาวในแต่ละข้อไม่รวม Latencies ของการตอบสนองที่ไม่ถูกต้อง
4	Switching มี 3 versions คือ numerical, figural และ verbal	Allport, Styles & Hsieh,1994; Zimmermann & Firm,1993	ฉบับ numerical ออกแบบโดย Allport et al. (1994) ผู้ทำภาระงานต้องตอบสนองให้เร็วที่สุดต่อสิ่งที่นำเสนอบนจอ ซึ่งเป็นจำนวนของตัวเลขจำนวนเท่ากันโดยการจัดแบบสุ่ม ผู้ทำภาระงานต้องเปลี่ยนระหว่างการอ่านตัวเลขและการนับจำนวนของตัวเลข คำตอบทั้ง 2 อย่างต้องถูกพิมพ์โดยใช้แป้นพิมพ์ตัวเลขส่วนที่อยู่ขวามือของแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ คำตอบจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 9 และค่าของตัวเลขจะต้องไม่เท่ากับจำนวนของตัวเลขหลังจากตอบสนองแต่ละครั้ง การนำเสนอครั้งต่อไปจะปรากฏหลังจาก 400 ms เพื่อลดภาระด้านความจำจะมีการเตือนสั้นๆว่าต้องการการตอบสนองแบบใดที่ส่วนบนจอตามหลังคำว่า “next”หลังจากทดลองฝึกทำ 10 trials จะมีการทดสอบ 30 trials ฉบับรูปภาพและฉบับภาษาสร้างตามแนวทางของ Zimmermann and Fimm (1993) ฉบับรูปภาพ

ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
			ผู้ทำภาระงานต้องเปลี่ยนระหว่างการตอบสนอง 2 ประเภทต่อชุดที่นำเสนอ ใช้รูปภาพเชิงเรขาคณิต 2 ลักษณะ รูปหนึ่งเป็นรูปขอบคมชัด ( ) อีกรูปหนึ่งเป็นรูปขอบโค้ง ( ) ผู้ทำภาระงานต้องตอบสนอง “ซ้าย”หรือ “ขวา” เพื่อระบุหรือเปลี่ยนว่ารูปขอบคมหรือขอบโค้งอยู่ด้านไหน รูปภาพถูกเลือกโดยสุ่มจากชุดรูปขอบคม 9 รูป และชุดรูปขอบโค้ง 9 รูป ฉบับภาษา มีคำ 2 คำที่เป็นสมาชิกของกลุ่ม 2 กลุ่มปรากฏแทนที่รูปภาพ ผู้ทำภาระงานต้องระบุ,เปลี่ยนด้านของคำที่เป็นสมาชิกของกลุ่มหนึ่งหรือกลุ่มสอง ทั้ง 2 ภาระงานมีคำเตือนว่าเป็นเกณฑ์การตัดสินใจใหม่ที่ด้านบนจอ ใช้ช่วงเวลา response-stimulus-interval 300 ms หลังจากฝึกทำ 10 trials ทำการทดสอบ 40 trials
5	Backward digit span		ชุดของตัวเลขถูกนำเสนอบนจอ ซึ่งต้องทำซ้ำในลำดับกลับกันกับที่นำเสนอ แต่ละตัวถูกนำเสนอเป็นเวลา 1000 ms หลังจากตัวสุดท้ายจะมีแถวช่องว่างจำนวนเท่ากับจำนวนตัวเลขที่นำเสนอไปปรากฏบนจอ ซึ่งต้องพิมพ์ตัวเลขลงไปในช่องตามตำแหน่งที่ cursor กระพริบ หลังจากการตอบสนองแต่ละครั้ง cursor จะกระโดดไปที่ช่องถัดไป ซึ่งจะทำให้ย้อนกลับไปแก้ไขที่พิมพ์ไปแล้วไม่ได้ มีการให้ฝึกหัดทำ 2 ข้อ เป็นตัวเลข 3 และ 4 ตัว หลังจากนั้นเป็นการทดสอบ 15 ข้อเรียงลำดับจาก 4 ถึง 8 ตัว อย่างละ 3 ข้อ จำนวนคำตอบที่ถูกต้องเป็นคะแนนของแต่ละข้อ คะแนนรวมได้จากผลรวมคะแนนทั้ง 15 ข้อ วิธีการให้คะแนนแบบนี้แตกต่างจากวิธีการปกติใน span เนื่องจากวิธีนี้มีคะแนนแต่ละข้อ ดังนั้นสามารถคำนวณ interval consistency ของแบบวัดได้

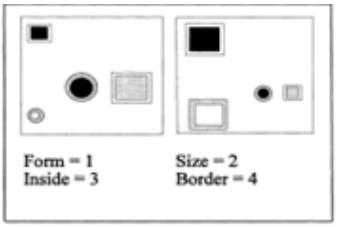
ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) (ต่อ)

ลำดับ ที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
6	Reading span/ computation span	Daneman & Carpenter, 1980 ; Turner & Engle,1989	Reading span มีประโยคจำนวนหนึ่งถูกนำเสนอ แต่ละประโยคอยู่บนจอนาน 3 วินาทีตามด้วยช่วงว่าง 1 วินาที (Inter -stimulus –interval, ISI =1 วินาที) ประโยคต่อไปจึงจะปรากฏขึ้น ผู้ทำภาระงานต้องตัดสินว่า ประโยคนั้น “ถูกต้อง” หรือ “ผิด” ในช่วงเวลา 4 วินาที โดยการกดปุ่มบนแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ ผู้ทำภาระงานต้องจำคำสุดท้ายของทุกประโยคเรียงตามลำดับของประโยคที่นำเสนอ การสร้างประโยคมีเกณฑ์ดังนี้ (1) ควรเป็นประโยคสั้น (ระหว่าง 4 ถึง 7 คำ) และใช้ภาษาง่ายๆ เพื่อลดความยากเชิงภาษาศาสตร์ที่ไม่เกี่ยวกับ WM (2) ควรไม่สำคัญว่าถูกหรือผิดเพื่อลดการต้องใช้ความรู้ในการตัดสิน (3) คำสุดท้ายควรเป็นคำนามที่คุ้นเคยซึ่งไม่ควรยาวเกิน 3 พยางค์ ในการรวบรวมประโยคเข้าเป็นรายการสำหรับการทดสอบควรระวังไม่ให้มีการเชื่อมโยงระหว่างประโยค โดยเฉพาะอย่างยิ่งคำสุดท้าย Computation span เป็นภาระงานคู่ขนานแต่เนื้อหาเป็นตัวเลขแทนที่จะเป็นประโยค ผู้ทำภาระงานต้องตรวจสอบสมการง่ายๆ เป็นสมการการบวกหรือลบและมีเพียงเลขหลักเดียวหรือสองหลัก ผู้ทำภาระงานต้องจำผลลัพธ์ของแต่ละสมการและต้องบอกเรียงลำดับการนำเสนอเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ คำตอบจะเป็นเลขหลักเดียวเท่านั้น เวลาที่ใช้ในการนำเสนอเป็นแบบเดียวกับ reading span ทั้ง 2 ภาระงานนี้ ใช้การเขียนตอบในกระดาษคำตอบ มีการฝึกหัดทำ 2 ครั้ง และการสอบ 15 trials ต่อภาระงาน มี 3 items สำหรับแต่ละ list length นำเสนอเรียงตามลำดับความยาว ซึ่งในกรณี reading span ยาว 3 ถึง 7 ข้อ ส่วนกรณี computation span ยาว 4 ถึง 8 ข้อ การให้คะแนนทำแบบเดียวกับ backward digit span

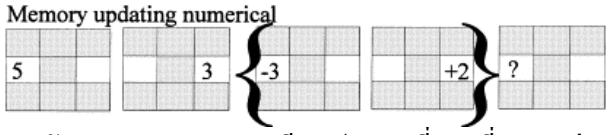
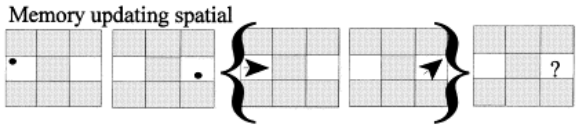
ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
7	Spatial Working Memory		เริ่มโดยการนำเสนอคำแนะนำเกี่ยวกับการแปลงรูปว่าเป็นการหมุน 90^{o} ไปทางซ้ายหรือขวา แล้วมีแผนแบบ(patterns) ง่ายๆ (ทำโดยการแรเงาบางเซลในตาราง 3×3) นำเสนอเป็นชุดต่อเนื่อง ผู้ทำภาระงานต้องหมุน pattern ในใจตามคำสั่ง และจำผลของ pattern ที่หมุนแล้วไว้ หลังจากจบชุด ต้องวาดผลในตาราง 3×3 ว่างๆ ที่จะมีมาให้เป็นแถวให้ถูกต้องตามลำดับด้วย แต่ละตารางจะถูกนำเสนอเป็นเวลา 3 วินาทีบนจอ ตามด้วย ISI 200 ms มีการให้ฝึกหัด 2 ข้อ แล้วทดสอบชนิด 2 patterns 8 ข้อ และ 3 patterns อีก 6 ข้อ การให้คะแนนเหมือนกับ reading span
8	Verbal Span/ Math Span		ภาระงานคู่ขนานคู่นี้สร้างขึ้นตามแนวทางของ dual – task ทั่ว ๆ ไป คือ การรวมภาระงาน 2 ภาระงานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน งานหนึ่งต้องใช้ storage อีกงานหนึ่งเป็นการจัดกระทำกับข้อสนเทศ งานที่ใช้ storage ประกอบด้วยการจำรายการคำ (Verbal span) หรือตัวเลข (math span) ซึ่งถูกนำเสนอพร้อมกันบนจอเป็นเวลา 1 วินาที หลังจากนั้นจะมีภาระงานที่ต้องตัดสินใจง่าย ๆ 1, 2, หรือ 3 อย่าง ในกรณี verbal task คำสี่คำปรากฏที่มุม 4 มุมของจอ และคำที่ 5อยู่ตรงกลาง ผู้ทำภาระงานต้องเลือกคำ ๆ หนึ่งที่เป็นมโนทัศน์ย่อยที่สัมพันธ์กับคำตรงกลาง (เช่น “โต๊ะ” – “เฟอร์นิเจอร์”) สำหรับภาระงานตัวเลข มีตัวเลข 2 หลักที่แต่ละมุมของจอ และตัวเลขหลักเดียวตรงกลางจอ ผู้ทำภาระงานต้องหาจำนวนที่สามารถบวกกับจำนวนตรงกลางแล้วได้ผลลัพธ์ที่สามารถหารด้วย 5 ลงตัว การตอบสนองทำโดยการพิมพ์จำนวน (1 - 4) ที่แสดงอยู่ข้าง ๆ คำหรือตัวเลขนั้น หลังจากทำภาระงานการตัดสินใจแล้วต้องเรียงรายการเริ่มต้นให้ถูกต้องตามลำดับ word lists ใช้การเขียนในกระดาษคำตอบ แต่ number lists ใช้การพิมพ์ในที่ว่างบนจอ เก็บคะแนน 2 อย่าง คือจำนวนของคำตอบที่จำได้ถูกต้อง (ความจำ) และความไวในการตอบสนองสำหรับการตัดสินใจที่ถูกต้อง (RT) เวลาที่ใช้สำหรับคำตอบที่ไม่ถูกไม่นำมาคิดคะแนน

ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
9	Pattern transformation	Mayr & Kliegl,1993	นำเสนอวัตถุ 4 ถึง 8 ชิ้นในกรอบด้านซ้ายของจอ แต่ละชิ้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะ ได้แก่ รูปร่าง (สี่เหลี่ยม หรือ วงกลม), ขนาด (เล็กหรือใหญ่) สีของขอบ (ดำ, ขาว, เทา) และสีภายใน (ขาว, ดำ, เทา) จัดเรียงวัตถุให้คล้ายกัน จำนวนเท่ากัน ที่ตำแหน่งเดียวกันในกรอบด้านขวาของจอ ดังรูป  ผู้ทำภาระงานต้องเปรียบเทียบกรอบทั้งสอง ต้องระบุลักษณะหนึ่งที่แตกต่างกันสำหรับทุกวัตถุใน 2 กรอบนั้น และต้องระบุลักษณะที่สองที่ซึ่งจะมีเพียงวัตถุหนึ่งในกรอบด้านขวาที่แตกต่างจากทางซ้าย ลักษณะหลังนี้เป็นคำตอบที่ถูกต้อง การตอบสนองทำโดยพิมพ์หมายเลขของลักษณะที่ถูกต้อง (1 – 4) หมายเลขของลักษณะจะนำเสนอไว้ที่ด้านล่างของจอตลอดเวลา จำกัดเวลาในการนำเสนอวัตถุ แต่ไม่จำกัดเวลาในการพิมพ์คำตอบ มีการให้ทดลองฝึกหัด 2 items หลังจากนั้นเป็นการทดสอบ 9 items ที่มี 4 objects ตามด้วย 9 items ที่มี 8 objects เวลาการนำเสนออยู่ระหว่าง 12 และ 15 วินาที สำหรับกรณี 4 items และอยู่ระหว่าง 15 ถึง 20 วินาที สำหรับกรณี 8 objects การให้คะแนนถูก = 1 ผิด = 0
10	Memory Updating	ปรับจาก Salthouse, Babcock & Shaw,1991	มีฉบับจำนวนเลขและฉบับ spatial ใน numerical version : มี matrix 3 x 3 บนจอ ใน matrix จะมี “active” cells จำนวนไม่คงที่ในแต่ละข้อ ส่วนที่เหลือจะแรเงาสีเทา มีตัวเลขปรากฏในแต่ละ active cell หลังจากนั้นมีเงื่อนไขการดำเนินการ เช่น + 2 หรือ – 3 ปรากฏใน cell นั้น ให้ดำเนินการตามเงื่อนไขและจำผลลัพธ์ไว้เป็นค่าใหม่สำหรับ cell นั้น

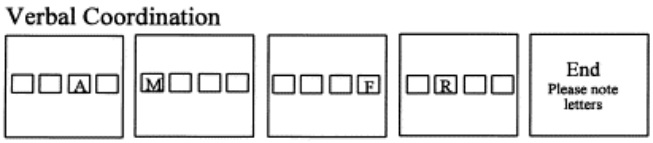
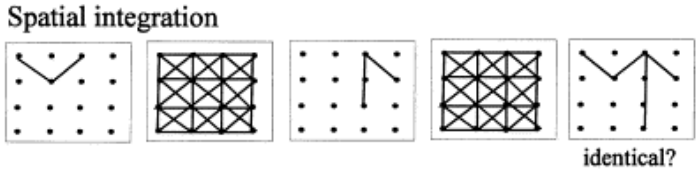
ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
			หลังจากทำเสร็จจะมีเครื่องหมาย ? ที่ cell หนึ่งซึ่งต้องพิมพ์ค่าใหม่ลงไป ต้องทำ 2 หรือ 3 เซล (ขึ้นกับว่ามี active cell เท่าใด) ในแต่ละข้อจำกัดเวลานำเสนอตัวเลขครั้งแรก และเงื่อนไขการดำเนินการที่ 1300 ms  สำหรับ spatial version มีจุดปรากฏที่เซลที่ตำแหน่งหนึ่งใน 9 ตำแหน่งที่เป็นไปได้ ต้องจำตำแหน่งของจุดภายในเซล หรือต้องเคลื่อนที่จุดจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งอื่นในเซล ตามลูกศรที่ปรากฏที่ศูนย์กลางของบางเซล และจำตำแหน่งใหม่นี้ไว้ หลังจากปฏิบัติการเสร็จ จะมีเครื่องหมายคำถามที่เซลโดยสุ่ม ต้องตอบว่าตำแหน่งสุดท้ายของจุดในเซลนั้นอยู่ที่ใด โดยกดปุ่มที่แป้นตัวเลขทางขวาของแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะติดรูปตำแหน่งทั้ง 9 ตำแหน่งไว้ที่ปุ่มตัวเลข ให้ทำ 2 – 3 เซล  แต่ละภาระงาน มีการให้ทดลองฝึกทำ 2 trials และทดสอบ 15 trials ชุดตัวเลขมี 5 items ที่มี 2 active cells (ปฏิบัติการ 2 ถึง 6 ครั้ง) 5 items ที่มี 4 active cells (ปฏิบัติการ 1 ถึง 5 ครั้ง) และ 5 items ที่มี 6 active cells (ปฏิบัติการ 1 ถึง 3 ครั้ง) ส่วน spatial task มี 5 items ที่มี 2 active cells (ปฏิบัติการ 2 ถึง 6 ครั้ง) 5 items ที่มี 3 active cells แต่ละภาระงาน มีการให้ทดลองฝึกทำ 2 trials และทดสอบ 15 trials ชุดตัวเลขมี 5 items ที่มี 2 active cells (ปฏิบัติการ 2 ถึง 6 ครั้ง) 5 items ที่มี 4 active cells (ปฏิบัติการ 1 ถึง 5 ครั้ง) และ 5 items ที่มี 6 active cells (ปฏิบัติการ 1 ถึง 3 ครั้ง) ส่วน spatial task มี 5 items ที่มี 2 active cells (ปฏิบัติการ 2 ถึง 6 ครั้ง) 5 items ที่มี 3 active cells (ปฏิบัติการ 1 ถึง 5 ครั้ง) และ 5 items ที่มี 4 active cells (ปฏิบัติการ 1 ถึง 3 ครั้ง)

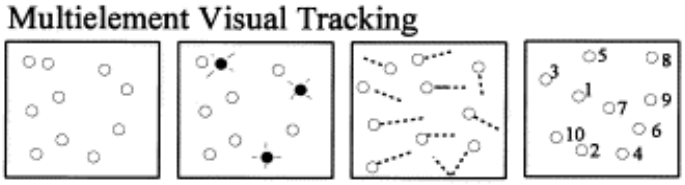
ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
11	Memory Updating (STM version)		มี 2 ภาระงานคล้ายกับ MU ต้นฉบับ สำหรับ numerical และ spatial แต่คราวนี้ไม่มีการให้ทำปฏิบัติการ operation ใด ๆ ดังนั้นจึงลด simultaneous storage and transformation ลงเหลือแค่ storage ล้วน ๆ มี spatial 15 items (5 ข้อมี 3 active cells และ 10 ข้อมี 5 active cells) และ 15 numerical items (5 ข้อมี 6 active cells และ 10 ข้อมี 9 active cells) และทำนองเดียวกับ MU คือจะสุ่มเลือกให้ตอบคำถามเพียง 3 cells
12	Alpha span	Craik, 1986	นำเสนอชุดของคำชุดหนึ่ง แต่ละคำต่อวินาที หลังจากครบทุกคำต้องจำอักษรตัวแรกของคำ แล้วเขียนใหม่ เรียงตามลำดับอักษร โดยการพิมพ์ในลักษณะเดียวกับ backward digit span
13	Spatial short term memory	Oberauer, 1993	มีจุดปรากฏใน matrix 10 x 10 แต่ละจุดเป็นเวลา 1 วินาที ผู้ทำภาระงานต้องจำแบบแผนของจุด การตอบสนองทำโดยเขียนกากบาทในเซลที่สอดคล้องกันใน matrix เปล่าในกระดาษคำตอบ คะแนนได้จากความสัมพันธ์ระหว่างจุด ไม่ใช่ตำแหน่งที่สมบูรณ์ทั้งหมดหลังจากให้ทำแบบฝึก 2 ข้อ มีการทดสอบ 15 ข้อ จำนวนจุดเพิ่มขึ้นทุก ๆ 3 ข้อ ตั้งแต่ 2 ถึง 6 จุด ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างจุดจะเปลี่ยนทุก ๆ 2 steps (ใกล้ : 1 ถึง 2 cells, ไกล : มากกว่า 2 cells) ในแนวตั้งฉากกับจำนวนจุด
14	Spatial coordination	Oberauer, 1993	สิ่งเร้าที่นำเสนอเป็นแบบเดียวกับ spatial short term memory ก่อนตอบสนอง ผู้ทำภาระงานต้องตัดสินใจว่าแผนแบบของจุดที่ควรเกิดขึ้น ถ้าจุดทั้งหมดปรากฏพร้อมกัน จะสมมาตรกับแกนตั้งหรือไม่ ถ้าสมมาตร ให้ตอบใน matrix ทางด้านซ้าย แต่ถ้าไม่สมมาตรให้ตอบโดยวางมันใน matrix ทางด้านขวาของกระดาษคำตอบ มีการให้ฝึกทำ 2 ข้อ และทดสอบ 15 ข้อ การสร้างและการให้คะแนนเป็นแบบเดียวกับspatial short term memory

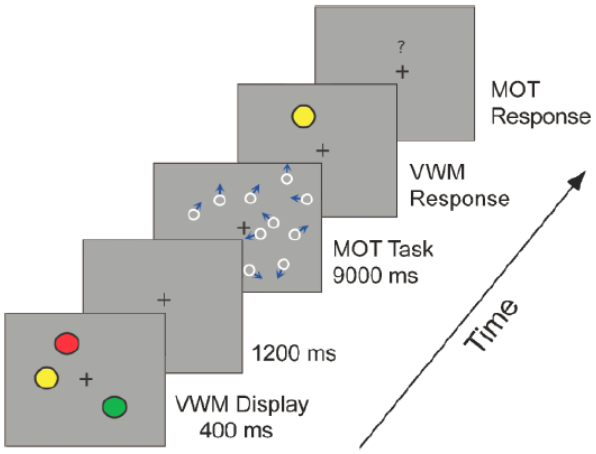
ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
15	Verbal coordination	Oberauer, 1993	มีแถวของ cell บนจอและมีตัวอักษรปรากฏในแต่ละเซลโดยสุ่มเป็นเวลา 1 วินาที ผู้ทำภาระงานต้องจำตัวอักษรในเซลนั้น และตัดสินใจว่าทั้งแถวนั้นเป็นคำที่เรียงอักษรในทิศทาง forward หรือแบบ backward หรือไม่เป็นคำ โดยการเขียนตัวอักษรในแถวว่างแถวใดแถวหนึ่งในกระดาษคำตอบที่มีให้ 3 แถว จำนวนตัวอักษรที่ถูกต้องในตำแหน่งที่ถูกต้องจะได้คะแนน 
16	Spatial integration	Salthouse & Mitchell, 1989	ชุดลายเส้นบางส่วนถูกนำเสนอทีละรูป เป็นเวลา 1500 ms ตามด้วย 300 ms mask และ 300 ms ISI ผู้ทำภาระงานต้องบูรณาการรูปที่มีเพียงบางส่วนนี้ในใจ และเปรียบเทียบกับผลในรูปเส้นที่สมบูรณ์ซึ่งจะนำเสนอหลังจาก last mask ตอบสนองโดยกดปุ่ม “ถูกต้อง” หรือ “ผิด” แผนแบบของเส้นถูกสร้างโดยการลากเส้นตรงเชื่อมจุดในตาราง 4 x 4 ทุกเส้นในแผนแบบทั้งที่ไม่สมบูรณ์และที่สมบูรณ์จะเชื่อมต่อกัน ให้ทดลองฝึกทำ 2 ข้อและมีข้อทดสอบ 18 ข้อ หกข้อแรกมี 2 รูปที่ไม่สมบูรณ์ หกข้อถัดมามี 3 รูป และหกข้อสุดท้ายแบ่งเป็น 4 ส่วน ซึ่งในแต่ละ block ของ 6 ข้อนี้ จำนวนเส้นตรงในรูปที่ไม่สมบูรณ์จะเพิ่มขึ้นจาก 2 เส้น ถึง 4 เส้น การให้คะแนนเป็นแบบถูกได้ 1 ผิด ได้ 0 

ตาราง 2.7 รายละเอียดของภาระงานในบทความของ Oberauer, et al. (2000) (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อแบบวัด/ภาระงาน	ผู้พัฒนา/วิจัย	รายละเอียด
17	Tracking	Pylyshyn & Storm, 1988	มีวงกลมเล็ก ๆ (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm) 10 วง ปรากฏบนจอกระจัดกระจายโดยสุ่ม กลุ่มวงกลม 2 ถึง 5 วง กระพริบ 10 ครั้ง แสดงว่าเป็นเป้าหมาย วงกลมทั้ง 10 เริ่มต้นเคลื่อนที่โดยสุ่มที่อัตราเร็ว 70 mm/s ผู้ทำภาระงานต้องติดตามกลุ่มเป้าหมายขณะที่เคลื่อนที่ไปด้วยกันกับตัวลวง หลังจาก 8 วินาที วงกลมหยุด และมีตัวเลข 1 ถึง 10 ที่แต่ละวง ให้พิมพ์หมายเลขเป้าหมายโดยไม่สนใจลำดับ จำนวนที่ถูกเป็นคะแนนของข้อนั้น มีการทดสอบ 15 ข้อ 5 ข้อมีเป้าหมาย 2 วง 5 ข้อต่อไปมีเป้าหมาย 3 วง 2 ข้อต่อไปมีเป้าหมาย 4 วงและ 3 ข้อสุดท้ายมีเป้าหมาย 5 วง 

Fougnie & Marois (2006) ใช้ภาระงานดังนี้

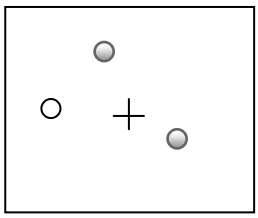


Trial design for the dual-task condition of Experiment 1, which involved a visual working memory (VWM) task and a multiple object tracking (MOT) task. In the VWM task, participants memorized the colors and locations of three briefly presented circles. During the MOT task, participants tracked a subset of randomly moving discs (either one or three). Participants then responded to the VWM task (indicating whether a VWM probe item matched the color and location of a circle in the original VWM display) and the MOT task (indicating whether the item selected during the probe phase of the tracking task was a MOT target). See the text for details.

ภาพ 2.29 ภาระงานความจำขณะทำงานในงานวิจัยของ Fougnie & Marois (2006)

Visual Working Memory Task (VWM)

มีวงกลม 3 วง สีต่าง ๆ จาก 11 สี (ฟ้าอ่อน, เขียวแก่, แดง, ดำ, ขาว, เขียวอ่อน, น้ำตาล , ชมพู, น้ำเงิน, เหลือง, และม่วง) แต่ละวงมีรัศมีขนาด 0.78°?? นำเสนอเป็นเวลา 40 ms ที่ตำแหน่ง 1 ใน 6 ของวงกลมในจินตนาการขนาดรัศมี 3.3° จากจุดตรึงกลางจอ



ภาพ 2.30 Visual Working Memory Task (VWM)

ผู้ทำภาระงานต้องจำทั้งสีและตำแหน่งของวงกลมแต่ละวง หลังจาก retention period ที่ 10.2 วินาที จะมีโจทย์ แสดงวงกลม 1 สี 1 วง จากตัวอย่างที่นำเสนอ ครึ่งหนึ่งของการทดสอบวงกลมนี้จะเหมือนกับที่นำเสนอ แต่อีกครึ่งหนึ่ง จะอยู่ที่ตำแหน่งที่เหลือตำแหน่งหนึ่งใน 2 ตำแหน่ง (สีถูกแต่ตำแหน่งผิด) ให้ผู้ทำภาระงานกดปุ่มว่า วงกลมนั้นอยู่ที่ตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่

Multiple Object Tracking Task (MOT Task)

[การวิจัย : ใส่ attention – demanding MOT Task during the maintenance period of a VWM task]

ลักษณะของ MOT Task

สิ่งเร้า MOT เป็นวงกลมสีขาวกลวง (มีรูตรงกลาง) (0.50°) เคลื่อนไปมาภายในบริเวณ 8.5° x 8.5° จุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดตรึงกลางจอ ความเร็วของวงกลมแต่ละวง เปลี่ยนแปรจาก 0.00215°/ms เป็น 0.0195°/ms และทิศทางทางการเคลื่อนที่เป็น 10% ของการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่ refresh (13.3 ms) disc จะไม่ชนขอบจอ ชนกับ disc อื่น และไม่อยู่ที่ตำแหน่ง 6 ตำแหน่งของ VWM

แต่ละการเคลื่อนที่ของ MOT 9 วินาที มี 3 ระยะ : marker, tracking, และ probe phases, ใช้เวลา 3, 4.5, และ 1.5 วินาที ตามลำดับ ในระยะ marker, discs เป้าหมายถูกล้อมรอบด้วย hollow black square (0.50°). ครึ่งหนึ่งของ trials มีเป้าหมายเดียว (low load), อีกครึ่งหนึ่งมี 3 เป้าหมาย (high load). ในช่วงของ tracking phase, markers จะหายไปทำให้เป้าหมายไม่แตกต่างจาก disc อื่น. ในช่วงของ probe phase จะมี 1 disc ที่ถูก marked ด้วยโอกาส 50% ที่ disc นี้จะ corresponded to a target. ตามหลังจากการตอบสนองใน VWM, จะมีเครื่องหมายคำถามเหนือจุดตรึงกลางจอ เพื่อให้ผู้การทดสอบบอกโดยกดปุ่มว่า the MOT probe item นี้ corresponded to a target หรือไม่.

Articulatory Suppression Task

เพื่อลด contamination ของ Verbal Working Memory, ผู้วิจัยให้ผู้รับการทดสอบทำ an articulatory suppression Task โดยพูดซ้ำคำว่า “the” ที่ความถี่ 2 Hz เริ่มต้น 1 วินาทีก่อนนำเสนอ VWM stimulus และตอนจบการทดลองทั้ง 2 tasks แล้ว

วิธีทดลอง

42% ของ trials มีทั้ง VMW และ MOT tasks. ใน remaining trials, ผู้ทำภาระงานทำเฉพาะ VWM หรือ MOT ซึ่งทำให้สามารถวัดความสามารถแต่ละ task ได้ เพื่อควบคุม sensory และ motor demands ข้ามประเภทของ trial, จึงออกแบบแต่ละ single task condition เพื่อดู visual presentation และ a motor response สำหรับ task อื่น ดังนั้น สำหรับ the VWM – only trials (25% of trials : 16.5% สำหรับ each load), การนำเสนอ VWM ถูกแทนที่ด้วยจอที่มี △ สีดำ 6 ตำแหน่ง แทน สำหรับ both therse kinds of trials, probe มี an ampersand เหนือจุดตรึง เพื่อบอกผู้ทำภาระงานว่าให้กด spacebar

ประเภทของ trial ทั้งหมดถูกสุ่มแบบ two blocks of 48 trials

ผลการวิจัยพบว่า MOT และ VWM tasks interfered with each other. การทำ MOT tasks reduced VWM accuracy และในทางกลับกันด้วย นอกจากนั้นการแทรกแซงนี้เป็น load – dependent เนื่องจาก VWM ลดลง เมื่อจำนวนเป้าหมายของ MOT เพิ่มขึ้น

VWM 2

Shapes (วงกลม หรือ สี่เหลี่ยม), สี, และตำแหน่ง

Verbal WM task

นำเสนอ 2 (low load) หรือ 8 (high load) spoken Consonants over headphones. แต่ละตัวถูกนำเสนอ 360 ms โดยแยกจากอีกตัวหนึ่ง 400 ms โดยเลือกจาก ชุด

F, G, K, N, P, Q, R, S, T, X, Y, หรือ Z เลือกโดยสุ่มแบบไม่ซ้ำ

ผู้เข้ารับการทดสอบต้องพูดซ้ำดัง ๆ ที่ความถี่ 2 Hz เป็นเวลา 8.4 วินาที หลังจาก a spoken probe consonant ถูกนำเสนอเป็นเวลา 360 ms ตามด้วย 600 ms หลังจาก VWM probe หลังจากนั้นมีเครื่องหมายคำถามให้กดปุ่มว่า spoken probe matched กับ พยัญชนะใน sample set หรือไม่

RSVP streams

กล่องดำเป็นเป้าหมาย กล่องขาว ไม่ต้องสนใจ

มี 4 กล่องขาว

เริ่ม 1.5 วินาที หลังจากกล่องปรากฏ นำเสนอรูปร่างสีใน 4 กล่อง ทุก 300 ms แต่ละรูปร่างถูกนำเสนอเป็นเวลา 200 ms และตามด้วย 150 ms blank สิ่งเร้าประกอบด้วย target (จัตุรัสสีแดง), ตัวลวงสีแดง (วงกลม△, กากบาท, หกเหลี่ยม) และ ตัวลวงสีเหลี่ยมที่ไม่ใช่สีแดง (น้ำเงิน, น้ำตาล, เหลือง, ม่วง) ให้ผู้ทำภาระงานสนใจที่ทั้งสีและรูปร่างที่ cued streams. จะมี 0, 1, หรือ 2 targets ต่อ trial, โดย targets จะปรากฏเฉพาะใน cued streams

Fougnie, & Marois (2009) ใช้ภาระงานดังนี้

Visual WM Dual – Task

สีของวงกลมที่ต้องจำสุ่มมาจากรายการต่อไปนี้ โดยไม่มีการใส่คืน คือ แดง น้ำตาล น้ำเงิน เหลืองหรือม่วง

สีของสี่เหลี่ยมที่ต้องจำ สุ่มมาจากอีกรายการหนึ่งแบบไม่ใส่คืนเช่นกัน คือ สีฟ้าอ่อน เขียว ชมพู ส้มหรือขาว

นำเสนอสิ่งเร้า 3.4^{o} จากจุดตรึง

ใน three-object postcue และ single-task condition สิ่งเร้าที่เป็นวงกลมปรากฏที่ตำแหน่งในจินตนาการของมุมทั้งสามของสามเหลี่ยม ($0^o, 120^o$และ240^o) ในขณะที่สิ่งเร้าที่เป็นสี่เหลี่ยมปรากฏที่มุมทั้งสามของสามเหลี่ยมหัวกลับ ($60^o, 180^o$และ300^o)

ในกรณี two – object postcue และ single – task conditions สิ่งเร้าวงกลมปรากฏเหนือและใต้จุดตรึงและ สี่เหลี่ยมซ้ายและขวาปรากฏด้านซ้ายและขวาของจุดตรึง

เริ่มต้นมีกากบาทกลางจอเป็นจุดตรึงและเป็นสัญญาณให้ผู้ทำภาระงานเริ่มต้นพูดซ้ำคำว่า the ที่ความถี่ 2 Hz เป็น suppression tasks เพื่อลด Verbal encoding และ rehearsal of the visual stimuli

ผู้ทำภาระงานทำ single-tasks และ postcue ผสมกันใน blocks ในกรณี single task VWM นำเสนอ 2 หรือ 3 items ตามด้วยกากบาทตรึงเป็นเวลา 1000 ms และถูกนำเสนอ 500 มิลลิวินาทีด้วยโอกาสที่เท่ากันว่าจะเป็น สี่เหลี่ยม หรือ วงกลม

แม้ว่า post cue จะไม่จำเป็นในกรณีนี้ แต่ก็มีการนำเสนอเพื่อ equate sensory components ระหว่าง single-task และ postcue. โดย postcue (0.75^o) ซึ่งถูกนำเสนอ 500 ms ภายหลังนำเสนอ VWM จับคู่รูปร่างของสิ่งเร้า VWM และยังอยู่บนจอเป็นเวลา 1000 ms หลังจากเว้นช่วง 3000 ms มีการวัดความจำของผู้ทำภาระงานโดยใช้วิธี single probe change detection (Irwin,1992; Vogel et al.,2000; Wheeler & Treisman,2002) มีข้อหนึ่งที่จับคู่กับข้อหนึ่งใน cued memory set ทั้งรูปร่างและสี ครึ่งหนึ่งของการทดลอง ตำแหน่งของ tested item อยู่ที่เดียวกับ memory display ส่วนอีกครึ่งที่เหลือ item ถูกนำเสนอที่ตำแหน่งอื่นถ้ามี correct color-location pairing ต้องกดปุ่ม “same” โดยใช้นิ้วชี้ขวาแต่ถ้า item incorrect color-location pairing ต้องกดปุ่ม “different” โดยใช้นิ้วกลางขวา ภาระงานนี้ไม่จำกัดเวลา

ในกรณีของ postcue จอที่มีจุดตรึงตามด้วยการนำเสนอวงกลมและสี่เหลี่ยมใน VWM ซึ่งนำเสนอลำดับโดยสุ่ม เป็นเวลา 500 ms โดยมีช่วงเว้น 500 ms ตามหลังช่วงนี้ มี postcue (0.75^o) ซึ่งเป็น สี่เหลี่ยมดำ หรือ วงกลมดำ แสดงเป็นเวลา 1000 ms โดย รูปร่างของ postcue (สี่เหลี่ยมหรือวงกลม) เป็นตัวชี้ว่าจะเป็น set ไหนที่ต้องรักษาใน VWM หลังจาก retention interval เป็นเวลา 1000 ms วัดความจำ color – location สำหรับ task-relevant display โดยใช้ single-probe change detection

ลักษณะของภาระงาน (single – task หรือ postcue) และขนาด (2 หรือ 3 objects) ถูกสุ่มผสมกันใน 2 blocks รวม 32 self-paced tials โดยมี performance feedback ด้วย

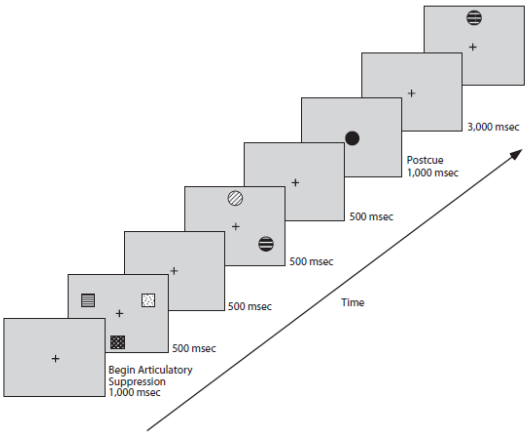


Figure 1. Trial timeline for the three-object postcue condition of Experiment 1. Different fill patterns represent different solid colors. A trial began with the presentation of a central fixation cross that informed the participants to begin the articulatory suppression task. The order of the VWM set (circle or square first) was randomly selected for each trial timeline was identical in the single-task condition, except that participants were shown only one VWM set (selected at random)

ภาพ 2.31 Visual Working Memory Dual – Task

Fouqnie, Asplund, and Marois, (2010). ใช้ภาระงาน VWM ที่ประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยม three contoured isosceles triangles. นำเสนอใน imaginary ring 1.5˚ from fixation. แต่ละ △ มีมุม 30˚, 75˚, และ 75˚ ยาว 0.6 x 1.4 x 1.4 △ มีสีห่างกันอย่างน้อย 15 color steps

ให้ผู้รับการทดสอบ จำสี, orientation หรือทั้ง 2 อย่าง หลักการของ Visual WM คือ ให้จำสี, รูปร่าง, ตำแหน่ง

Ecker, Lewandowsky, Oberauer,,and Chee, (2010) สรุปว่าอาจพิจารณา ความจำขณะทำงาน ในลักษณะของกลไกในการเลือกตัวแทนความคิดที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินกระบวนการทางพุทธิปัญญาต่อไป (Ecker, Lewandewsky, Oberauer and Chee,2010)

Oberauer และคณะ (2000,2003) จำแนกโครงสร้างสมรรถนะของความจำขณะทำงาน ออกเป็นองค์ประกอบเชิงหน้าที่ (ได้แก่ simultaneous storage and processing, relational integration/ coordination, and supervision/speed) และองค์ประกอบด้านเนื้อหา (verbal/numerical vs. spatial Working Memory)

การที่ความจำขณะทำงานมีส่วนในภาระทำงานทางปัญญาทั้งหลายส่วนหนึ่งเป็นเพราะเนื้อหาของความจำขณะทำงาน ต้องถูกทำให้ทันสมัย (updated) อย่างต่อเนื่อง (Ecker , Lewandewsky

Oberauer,and Chee, 2010) ตัวอย่างเช่น ในการนับจำนวนสัตว์หรือสิ่งของ เราต้องทำจำนวนในความจำขณะทำงานให้ทันสมัยเมื่อนับจำนวนวัตถุชิ้นใหม่ และถ้านับจำนวนสัตว์ 2 ประเภท หรือวัตถุ 2 ประเภท จำนวน 2 จำนวนขึ้นต้องถูกทำให้ทันสมัยตลอดเวลา ทำนองเดียวกัน เมื่ออ่านนิทานหรือเรื่องราวใดๆต้องติดตามเหตุการณ์โดยการสร้างโมเดลสถานการณ์ที่ทันสมัยตามที่บรรยายในเรื่องราวนั้น

การทดลองแรกๆ เรื่อง Working Memory updating ทำโดย Yntema and Mueser (1962) โดยการนำเสนอรายการคำที่ยาวมากรายการหนึ่งและให้ผู้ตอบจำคำสุดท้ายของแต่ละกลุ่มที่มีจำนวนไม่เท่ากัน

ใน related running memory task ผู้รับการทดสอบถูกขอให้จำรายการสุดท้ายที่นำเสนอในรายการที่ยาวมาก(the last items of a long list) ซึ่งภาระงานนี้ถูกนำไปใช้โดย Morris and Jones (1990) เพื่อศึกษา updating ใน “central executive” ของโมเดลความจำขณะทำงานของ Baddolcy (1986)

Working Memory updating ถูกระบุว่าเป็นหนึ่งใน 3 องค์ประกอบที่สัมพันธ์กันที่แสดงความแตกต่างระหว่างบุคคลใน executive function (Miyake et al. 2000) โดย “updating” เป็นองค์ประกอบ executive function องค์ประกอบเดียวที่สามารถทำนาย fluid intelligence ได้ (Chen & Li,2007; Friedman et al, 2006)

ในเชิงประสาทวิทยาศาสตร์ Dunchin and Coles (1988) เสนอว่า event-related potential P 300 สะท้อนถึง updating of Working Memory

Kessler and Meiran (2008) กล่าวว่า updating ต้องประกอบด้วยกระบวนการย่อยที่แตกต่างกันเนื่องจาก ความจำขณะทำงาน จำต้องมีลักษณะทั้งคงที่และยืดหยุ่นในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อทำข้อสนเทศให้ทันสมัย ความจำขณะทำงานจำต้องป้องกันการรบกวนของข้อสนเทศที่ล้าสมัยไปแล้ว แต่มันต้องยอมให้มีการปรับแต่งเนื้อหาความจำเมื่อเหมาะสม ความต้องการทั้งสองนี้ต้องมาบรรจบกันในกระบวนการเดียว ซึ่งขณะนี้เรายังไม่รู้ว่ากระบวนการใด ที่ควบคุม Working Memory updating

Ecker , Lewandewsky, Oberauer, and Chee (2010) วิเคราะห์ภาระงานในงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องของ updating และสรุปว่าสามารถจำแนกได้เป็น 3 กระบวนการย่อย คือ การค้นคืน (retrieval) การแปลงรูป (transformation) และการแทนที่ (substitution) อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตว่า

1) Updating อาจใช้หรือไม่ใช้การค้นคืนข้อสนเทศ ตัวอย่างเช่น สมมุติว่าผู้จัดการภัตตาคารได้รับแจ้งว่า “คืนนี้จะมีลูกค้ามา 20 คน” ข้อสนเทศนี้จำต้องถูก update เมื่อมีข้อสนเทศใหม่มาว่า “จะมีลูกค้าเพิ่มขึ้นอีก 5 คน จากที่คาดว่าจะมา 20 คน”อย่างไรก็

ตาม ในกรณีนี้ไม่มีการค้นคืนข้อสนเทศเดิม เพราะว่ามันถูกนำเสนอในการ update เลย แต่ถ้าบอกว่า “จะมีลูกค้าเพิ่มขึ้นอีก 5 คน จากที่คาดไว้” กรณีนี้จะต้องมีการค้นคืนตัวเลขเดิมว่าเป็นเท่าใด เพื่อความมั่นใจในข้อสนเทศใหม่

2) Updating อาจใช้หรือไม่ใช้การแปลงรูป ตัวอย่างเช่น ทั้ง 2 กรณี ต้องใช้การแปลงรูปข้อสนเทศต้องบวก 5 เข้ากับ 20 ให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็น 25 แต่ถ้าบอกว่า “จะมีลูกค้าเพิ่มเป็น 25 คน” ก็เป็นการ update โดยไม่ต้องแปลงรูป

ดังนั้นการใช้คำว่า component processer of WMU ให้ชัดเจนควรใช้แทนว่า component processes potentially required for performance in WMU tasks เนื่องจากไม่ใช่ว่า updating ทุกครั้งต้องมีทั้ง 3 sub processes

3) Updating อาจใช้หรือไม่ใช้การแทนที่ข้อสนเทศ ตัวอย่างข้างต้นทั้งหมด มีการแทนที่ข้อสนเทศ (ลูกค้า 25 คนแทนที่ 20 คน) แต่ถ้าข้อสนเทศคือ “เราคาดหวังว่าจะมีลูกค้า 4 คน 5 กลุ่ม” หรือ “ลูกค้า 3 คน ยกเลิกการจองโต๊ะ แต่เราได้รับการจองใหม่อีก 3 ราย” แม้ว่าข้อสนเทศนี้คล้ายกับจะมีกระบวนการแปลงรูป (เช่น 4 คูณ 5) แต่ผลลัพธ์ไม่ได้เกิดจากการที่ข้อสนเทศเดิม

ภาระงาน WMU ใช้กระบวนการทั้งสามนี้ในหลายระดับ

Ecker , Lewandewsky Oberauer,and Chee (2010) สรุปกระบวนการที่ใช้ในภาระงาน WMU แต่ละภาระงานไว้ดังตาราง 2.8

ตาราง 2.8 Processes Involved in Common Working Memory Updating Tasks

Task/source	Retrieval	Transformation	Substitution
n-back : Kirchner (1958) McElree (2001) Yntema (1963)	+	-	+
Keep-track : Miyake et al. (2000) Morris &Jones(1990)	+	-	+
Running memory: Friedman et al. (2006)	+	-	+
Memory updating: Salthouse et al. (1991) Oberauer et al. (2000)	+	+	+
Tone-repetition detection: Galletly et al. (2007)	-	-	+
Deviant-tone counting: Van Raalten et al. (2008)	-	+	+
Matrix updating: Chen & Li (2007)	+	-	+

ในตารางนี้มีภาระงาน WMU 7 ภาระงานได้แก่

1) N-back task : นำเสนอชุดรายการให้ ผู้รับการทดสอบต้องตัดสินว่าตัวใดที่เหมือนกับรายการที่นำเสนอ N steps ก่อนหน้านี้
2) Keep –track task : ให้กลุ่มของบางสิ่งบางอย่าง เช่น สัตว์ พืช จำนวนหนึ่งแล้วให้ชุดของคำตัวอย่าง (เช่น หมา กล้วย) ภาระงานคือ ให้จำตัวอย่างของแต่ละกลุ่มให้มากที่สุด
3) Running-memory task : ให้รายการคำ/ตัวเลข/อักษร/ฯลฯ ที่ไม่สามารถเดาความยาวได้ และให้จำรายการสุดท้าย n รายการของรายการที่ให้มา
4) Memory Updating task : ให้จำชุดของ items (มักเป็นตัวเลขหลักเดียว)ซึ่งนำเสนอทีละ frame และนำเสนอ prompt (เช่น "?_1") ผู้รับการทดสอบต้องค้นคืนเนื้อหาจาก frame เฉพาะและแปลงรูปข้อสนเทศตาม prompt แล้วเก็บผลการแปลงรูปนั้นไว้ในความจำ
5) Tone – repetition detection : ให้ฟังเสียงและตอบสนองเมื่อได้ยินเสียงเป้าหมาย
6) Deviant-tone counting : ให้ keeping a running count of rarely occurring tones in a sequence
7) Matrix updating task : ให้ mentally move memorized dot across the cells of a matrix

Memory Updating (MU) task

Ecker , Lewandewsky Oberauer,and Chee (2010) อธิบายว่าภาระงานนี้ริเริ่มโดย Salthouse et al. เมื่อปี 1991 และ มีการปรับปรุงเพื่อใช้ใน psychometric โดย Oberauer et al. เมื่อปี 2000 ในภาระงานนี้ ผู้ทำภาระงานจะเข้ารหัสชุดเริ่มต้นของรายการและ update ข้อสนเทศนั้น แต่ละ trial จะมี an encoding phase, an updating phase, และ a final recall phase.

มีชุดอักษรเริ่มต้น 3 ตัวอักษร (จาก A ถึง Z) นำเสนอในกรอบสี่เหลี่ยม 1 แถว บนจอ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้อักษรตัวเดิมระหว่าง updating ดังนั้นความห่างระหว่างพยัญชนะน้อยสุดเป็น 5 เช่น ถ้าA อยู่ในกรอบ 1 กรอบ 2 และ 3 จะเป็น V และ F, F และ K, หรือ V และ Q ; A และ Z ถือว่าเป็นเพื่อนบ้านกันเพราะเป็น "wrapped around" ผู้ทำภาระงานต้องจำและ update 3 items

V W X Y Z A B C D E F

5 4 3 2 1 * 1 2 3 4 5

การดำเนินการ update จะมีตัวแนะให้โดยมีสัญลักษณ์ในกรอบที่ต้องการให้ update แต่ละ trial จะมี 6 updating Steps ผู้ทำภาระงานพิมพ์ผลของการ update โดยกดปุ่มอักษรบนแป้นพิมพ์ หลังจากนั้นจะมีแบบทดสอบความจำของเนื้อหาสุดท้ายของทุกกรอบ

Transformation ใช้เฉพาะการ +1 และ +2 (อย่างเท่าๆกัน) และพยัญชนะที่เรียกว่า “wrapped around” เช่น Z+1=A ถือเป็นกรณีที่ต้องแทนที่ด้วยข้อสนเทศใหม่ ในขณะที่ผลลัพธ์ที่ไม่มีขั้นตอนนี้ ถือเป็นข้อสนเทศที่อยู่ในความจำ

ตาราง 2.9 Conditions Used in the Working Memory Updating Session, with Examples of Updating Prompts

	T		tno	
	R	rno	R	rno
S	?+1 or ?+2	A+1 or B+2	→	X
sno	?+0	A+2 or B+1	?	C

Legend. R, Retrieval involved; T, Transformation involved; S, Substitution involved; rno, Retrieval not involved; tno, Transformation not involved; sno, Substitution not involved.

Note. Examples of prompts assume that the letter “C" is currently memorized in the frame being updated.

Operation Span (OS)

ภาระงานนี้ได้รับการออกแบบครั้งแรกโดย Turner and Engle (1989) ในการทำภาระงานแต่ละครั้งผู้ทำภาระงานจะเห็นลำดับของสมการพีชคณิต (เช่น 3+2=5) และพยัญชนะที่จะต้องจำ (ใช้พยัญชนะทุกตัวยกเว้น Q และ Y) แต่ผู้ทำภาระงานไม่ต้องสนใจกับข้อมูลนี้ ผู้ทำภาระงานต้องตัดสินว่าแต่ละสมการถูกต้องหรือไม่และเก็บข้อมูลตัวพยัญชนะเรียงตามลำดับ

เริ่มการทำภาระงานโดยมีกากบาทกลางจอ เป็นเวลา 1.5 วินาที หลังจากนั้นสมการแรกจะปรากฏกลางจอ ซึ่งจะหายไป เมื่อผู้ทำภาระงานตอบสนอง หรือหลังจากเวลาผ่านไป 3 วินาที ผู้ทำภาระงานใช้ปุ่ม “?”และ “Z” ในการตอบว่า “ถูกต้อง” และ “ไม่ถูกต้อง” ตามลำดับ

หลังจากสมการหายไป จะมีพยัญชนะ 1 ตัวปรากฏกลางจอ เป็นเวลา 1 วินาที และหลังจากเว้นช่องว่าง 100 ms จะปรากฏสมการถัดไป ทำซ้ำกระบวนการนี้ 4 ถึง 8 ครั้ง ขึ้นกับความยาวของรายการ(list length) หลังจากนั้น ให้ผู้ทำภาระงานระลึกถึงตัวอักษร โดยใช้เครื่องหมายคำถามและมีขีดเส้นใต้แบบตัวกระพริบ ปุ่มอักษรทุกปุ่มใช้ได้ยกเว้นปุ่มที่ไม่ใช่ตัวอักษรจะถูกบล็อคไว้ อักษรที่พิมพ์ทุกครั้งจะปรากฏต่อจากเครื่องหมายคำถามเป็นเวลา 200 ms. ผู้ทำภาระงานต้องพิมพ์อักษรให้ได้มากที่สุดเท่าที่จำได้

มีคำแนะนำให้ว่า ให้เรียงอักษรตามตามลำดับที่นำเสนอและให้เดาแทนที่จะข้ามตัวที่จำไม่ได้ไป ภาระงานนี้ไม่จำจำกัดเวลา ช่วงเวลาพักระหว่างการทำภาระงานแต่ละครั้งเป็น 500 ms. และจะมีช่วงเวลาพักตามความต้องการของผู้ทำภาระงานทุกๆ 3 ภาระงาน

ความยาวของรายการ (list length) หมายถึงจำนวนของสมการและตัวอักษร ดูในช่วง 4 ถึง 8 จำนวน มีภาระงานทั้งหมด 15 ครั้ง 3 ครั้งต่อ 1 list length ชุดสมการแรกถูกสุ่มจากช่วง 1 ถึง 10 ชุดสมการที่สองสุ่มจาก -9 ถึง +10 (ไม่รวม 0) และผลอยู่ในช่วง +1 ถึง +20 ครึ่งหนึ่งของสมการถูกต้อง มีตัวอย่างให้ลองฝึกทำ (ด้วย list length 3,4,และ5) ลำดับของตัวอักษร สมการและลำดับของภาระงานเป็นแบบเดียวกันสำหรับผู้ทำภาระงานทุกคน พยัญชนะที่ใช้ในการทำภาระงานในแต่ครั้งจะไม่ซ้ำกัน

Sentence Span (SS)

ภาระงานนี้ริเริ่มโดย Daneman and Carpents (1980) คล้ายกับ OS task ยกเว้นแต่กระบวนการของภาระงานคือ การตัดสินเกี่ยวกับความหมายของประโยค ซึ่งมีจำนวนประโยคที่มีความหมายและไม่มีความหมายจำนวนเท่าๆ กัน มีโครงสร้างประโยค 3 แบบ ประมาณ 1 ใน 3 ของประโยคที่มีความหมายแบบที่เรียกว่า garden – path sentences ที่ต้องใช้ updating ของ an initial parsing solution within the sentence (เช่น As Toby sang a song played on radio) มีคู่ที่โครงสร้างประโยคไม่มีความหมาย (เช่น As Dan drank the milk rolled over the hill) อีก 1 ใน 3 ของประโยคมีโครงสร้างเหมือนกันแต่ค่อนข้างกำกวมโดยการใส่สรรพนามที่หมายถึงวัตถุดังนั้นจึงไม่ใช้ the garden path (เช่น While Susan wrote the letter it fell off the table กับ As the chef stirred the soup it veered into the ditch)ประโยคที่เหลืออีก 1 ใน 3 คำสรรพนามหมายถึงประธาน (เช่น While Lisa drank the water she drove down the street กับ As the man walked the poodle he slept calmly)

ทุกประโยคประกอบด้วยคำ 8-11 คำ และความยาวของประโยค,การใช้ “while” กับ “as” และใช้ชื่อแรกที่เป็นรูปธรรม ภาระงานนี้ยากกว่า OS ดังนั้นเวลาตอบสนองมากที่สุดจึงตั้งไว้ที่ 5 วินาทีและความยาวของรายการ (list lengths) อยู่แค่ 3 ถึง 7 มีการฝึกหัด 3 ครั้งที่ขนาด 2,3 และ 4

Spatial short – term memory (SSTM)

ภาระงานนี้คล้ายกับภาระงานที่ริเริ่มโดย Oberauer (1993) ผู้ทำภาระงานต้องจำตำแหน่งของจำนวนจุดในตาราง 10 × 10 หลังจากมีการนำเสนอข้อความให้ตื่นตัวเป็นเวลา 1 วินาทีก็นำเสนอตาราง และจุดกลมจะปรากฏในตารางทีละครั้ง เป็นเวลา 900 ms โดยเว้นช่วง 100 ms

ผู้ทำภาระงานต้องจำความสัมพันธ์ระหว่างจุด นั่นคือไม่เกี่ยวกับตำแหน่งของจุด แต่ให้จำแผนแบบโดยรวมของจุด หลังจากทุกจุดถูกนำเสนอ ผู้ทำภาระงานจะได้รับคำแนะนำให้ทำซ้ำแผนแบบของจุด โดยมีตารางขนาดเดิมให้

ผู้ทำภาระงานสร้างแผนแบบของจุดที่จำได้ โดยการ click ที่เซลถ้า click ซ้ำจะทำให้จุดหายไปดังนั้นสามารถแก้ไขได้จนกว่าจะพอใจเมื่อเสร็จแล้ว click ที่ปุ่ม “ต่อไป” ด้านล่างของจอ ก็จะเริ่มภาระงานครั้งต่อไป ไม่มีการให้ feedback

จำนวนของจุดที่ต้องจำ แปรเปลี่ยนไปจาก 2 ถึง 6 และมีกรณีของระยะห่าง (Spatial distance condition) 2 กรณี กรณี”ใกล้” ทุกจุดจะอยู่ในบริเวณ 5×5 (เช่นบริเวณ quarter ของตาราง) ในกรณี “ไกล” จุดจะอยู่ที่ใดก็ได้ในตาราง 10×10 นั้น มี 3 trials สำหรับ แต่ละ combination ของ set size กับ spatial distance condition ทั้งหมดรวม 30 trials ตำแหน่งของจุดปรากฏโดยสุ่ม โดยบังคับว่าไม่มีจุดที่ปรากฏที่ตำแหน่งมุมเพื่อหลีกเลี่ยงการเข้ารหัสเชิงภาษา

ผลการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับแบบวัดความจำขณะทำงาน สรุปได้ว่า แบบทดสอบและภาระงานที่ใช้วัดความจำขณะทำงาน สามารถจัดเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 7 ลักษณะ ได้แก่

(1) ภาระงานที่ให้ผู้ทำแบบทดสอบแสดงกระบวนการ processing ส่วนใหญ่เป็นภาระงานแบบ choice reaction times ซึ่งเป็นการวัด selection attention ด้วย
(2) ภาระงานที่ให้ recall ซึ่งอาจเป็นทั้ง forward, backward
(3) ภาระงานในแนวของ Span วัดความจุของการ storage
(4) ภาระงานที่วัดความสามารถในการ storage in context of processing ลักษณะเป็นการทำภาระงานคู่ (Dual tasks) เช่น CRTs คู่กับ Span
(5) ภาระงานที่ต้องกำกับติดตาม update ข้อสนเทศตลอดเวลา (updating tasks เช่น N-back)
(6) ภาระงานที่ต้องสลับสับเปลี่ยนภาระงานไปเรื่อยๆ (switching tasks)
(7) ภาระงานที่ต้องมีการ inhibition