บทความปริทัศน์
(Review Article)

การประเมินความตั้งใจจดจ่อโดยการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองและการประยุกต์ใช้ในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้น

วรสิทธิ์ ศิริพรพาณิชย์
ศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ

ความตั้งใจจดจ่อเป็นกระบวนการทางสติปัญญาที่ทำให้มนุษย์สามารถจดจ่อกับสิ่งกระตุ้นที่สนใจได้เป็นระยะเวลานานและเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการมีสติปัญญาที่ดี ในปัจจุบันการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ประเมินการทำงานของสมองได้ การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองในเชิงปริมาณแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นอัลฟาและคลื่นแกมมาในขณะที่บุคคลกำลังมีความตั้งใจจดจ่อ การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีโดยใช้แบบทดสอบชนิด oddball แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองในหลายรูปแบบ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของคลื่น P3 หรือคลื่น P300 ซึ่งเป็นคลื่นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสติปัญญาในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้นซึ่งมีความบกพร่องของความตั้งใจจดจ่อจะมีการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พี โดยเฉพาะการลดลงของความสูงของคลื่น P3 และการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีโดยใช้แบบทดสอบชนิด Go-NoGo จะพบความบกพร่องของการยับยั้งตนเองในเด็กที่เป็นโรคนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่น N2 หรือคลื่น N200 ในภาวะ NoGo สำหรับบุคคลที่ปฏิบัติสมาธิอย่างต่อเนื่องจะพบการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีเช่นกัน หลักฐานการวิจัยเหล่านี้บ่งว่า ระดับของความตั้งใจจดจ่อที่แตกต่างกันในผู้ป่วยที่มีความบกพร่องของความตั้งใจจดจ่อและในผู้ที่ปฏิบัติสมาธิสามารถแสดงให้เห็นได้จากรูปแบบของคลื่นไฟฟ้าสมองที่เปลี่ยนแปลงไป

คำสำคัญ: โรคซนสมาธิสั้น, คลื่น P3, คลื่น N2

ผู้นิพนธ์ประสานงาน
วรสิทธิ์ ศิริพรพาณิชย์
ศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล
ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
อีเมลล์: drvorasith@gmail.com, vorasith.sir@mahidol.ac.th

Evaluation of attention using electroencephalography and application in children with attention deficit hyperactivity disorder

Vorasith Siripornpanich

Research Center for Neuroscience, Institute of Molecular Biosciences, Mahidol University

Abstract

Attention is a cognitive process that endows humans with the ability to concentrate on interesting stimuli for a long period of time, and is considered as a basic component of intelligence. Currently, electroencephalography (EEG) is one of the techniques used for the evaluation of brain functions. The analysis of brain waves in the quantitative view, called quantitative EEG (qEEG), reveals the alteration in alpha and gamma waves during the period of attentiveness. The event related potentials (ERP) using odd-ball paradigm also demonstrate change of ERP waveforms, particularly the P3 or P300 wave, which is an ERP waveform involved in cognitive processing. Children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) show alteration of the ERP waveform, especially a reduction in the amplitude of the P3 wave. The ERP recording using Go-NoGo paradigm reveals the impairment of inhibitory control in ADHD children, which is evident from the change in N2 or N200 wave during the NoGo condition. In individuals who practice meditation, there is also an alteration of the ERP waveforms. These research evidences suggest that the different levels of attention in patients with attention impairment as well as meditators are able to be shown via the pattern of brain wave changes.

Keywords: Attention deficit hyperactivity disorder, P3 wave, N2 wave

Corresponding author

Vorasith Siripornpanich

Research Center for Neuroscience, Institute of Molecular Biosciences, Mahidol University

Phutthamonthon sai 4 road, Salaya Sub-district, Phutthamonthon District, Nakhonpathom Province, 73170

E-mail: drvorasith@gmail.com, vorasith.sir@mahidol.ac.th

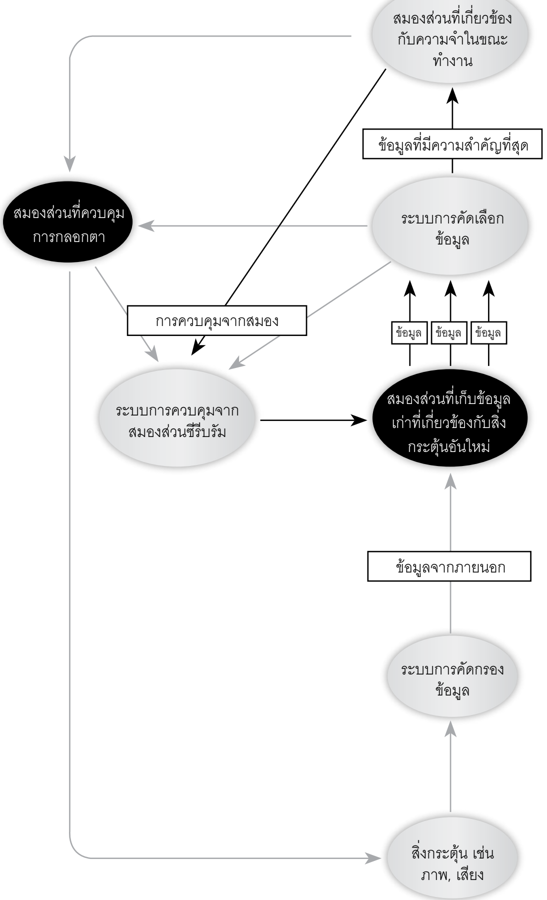
■ บทนำ

ความตั้งใจจดจ่อ (Attention) เป็นกระบวนการทางสติปัญญา (Cognitive processing) ชนิดหนึ่ง ซึ่งช่วยให้มนุษย์สามารถเลือกที่จะสนใจอยู่กับสิ่งใดสิ่งหนึ่ง โดยเพิกเฉยต่อสิ่งกระตุ้นอื่นๆ ที่นำเสนอในช่วงเวลาเดียวกันได้ ความตั้งใจจดจ่อจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการเรียนรู้ของมนุษย์ เพราะพื้นฐานของการเรียนรู้ต้องอาศัยการจดจ่อต่อสิ่งที่กำลังเรียนอยู่ ดังนั้นหากบุคคลใดมีความบกพร่องของกระบวนการทางสติปัญญาชนิดนี้ จะส่งผลต่อการพัฒนาความสามารถทางสติปัญญาได้

■ องค์ประกอบและการประเมินความตั้งใจจดจ่อ

ความตั้งใจจดจ่อมีองค์ประกอบหลักอยู่ 4 ประการ ประกอบไปด้วย ความจำในขณะทำงาน (Working memory) ระบบการคัดเลือกข้อมูล (Competitive selection) ระบบการควบคุมจากสมอง (Sensitivity control) ระบบการคัดกรองสัญญาณ (Saliency filter) ซึ่งจะทำงานร่วมกันเพื่อรักษาความตั้งใจจดจ่อในขณะนั้นไว้[1] กล่าวคือ เมื่อได้รับสิ่งกระตุ้นจากภายนอก (External stimulus) ระบบคัดกรองสัญญาณจะทำหน้าที่คัดเลือกสิ่งกระตุ้นที่น่าสนใจเพื่อนำเข้าสู่สมองส่วนซีรีบรัม (Cerebrum) หลังจากนั้นระบบการคัดเลือกข้อมูลจะทำการเลือกเฉพาะสิ่งกระตุ้นที่น่าสนใจที่สุดเพื่อนำสิ่งกระตุ้นนั้นเข้าสู่ระบบความจำในขณะทำงาน ร่วมกับสั่งการให้สมองที่ควบคุมการกลอกตา (Gaze center) มองไปยังสิ่งกระตุ้นนั้นและกระตุ้นระบบการควบคุมจากสมองให้ทำการวิเคราะห์สิ่งกระตุ้นนั้นเปรียบเทียบกับข้อมูลเก่าที่เก็บไว้ รวมถึงเปรียบเทียบกับสิ่งกระตุ้นใหม่ที่กำลังเข้ามา หากสิ่งกระตุ้นเดิมยังคงมีความน่าสนใจมากที่สุดการกระตุ้นสมองในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความตั้งใจจดจ่อเหล่านี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันเป็นวงจร (Loop) เพื่อรักษาความตั้งใจจดจ่อต่อสิ่งกระตุ้นนั้นไว้จนกว่าสิ่งกระตุ้นนั้นจะหมดความน่าสนใจหรือมีสิ่งกระตุ้นใหม่ที่น่าสนใจมากกว่าเข้ามา (รูปที่ 1)

การประเมินความตั้งใจจดจ่อของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมักจะใช้แบบทดสอบทางจิตประสาท (Neuropsychological test) เช่น แบบทดสอบ continuous performance task (CPT) เป็นต้น อย่างไรก็ดี การประเมินด้วยแบบทดสอบดังกล่าวต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ถูกทดสอบเป็นสำคัญ รวมถึงไม่สามารถใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการทำงานของสมองต่อกระบวนการดังกล่าวได้ ในปัจจุบันจึงมีการนำการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography; EEG) มาใช้ในการประเมินความตั้งใจจดจ่อ โดยทำการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ในขณะเดียวกันกับที่ให้ทำกิจกรรมที่ต้องอาศัยความตั้งใจจดจ่อร่วมไปด้วย การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นวิธีการประเมินการทำงานของสมองชนิดหนึ่งซึ่งใช้ทั้งในส่วนของการวิจัยและในการตรวจรักษาผู้ป่วยทางคลินิก โดยทั่วไป การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมองจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ (1) การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะพัก (Resting EEG recording) เป็นการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะพักโดยไม่มีการให้สิ่งกระตุ้น เพื่อดูการทำงานของสมองในขณะนั้นและยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ (Quantitative EEG; qEEG) ผ่านการสมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า fast fourier transform (FFT) เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณ ความสูง (amplitude) และค่า power ของคลื่นในแต่ละช่วงความถี่ของสมองได้อีกด้วย (2) การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิด evoked potentials (EP) เป็นการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่มีการให้สิ่งกระตุ้นซ้ำๆ ต่อระบบ

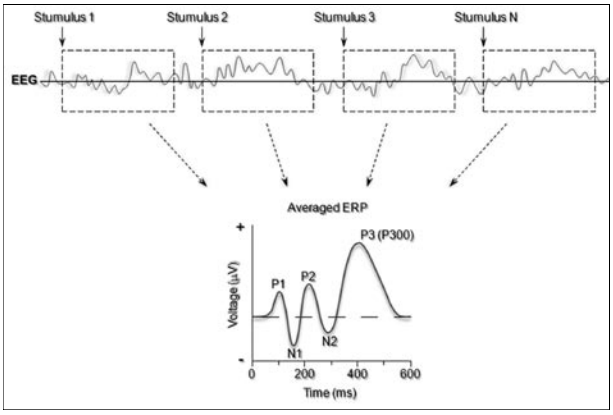


รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบหลักและกลไกของความตั้งใจจดจ่อ (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 1)

ประสาทรับความรู้สึกชนิดต่างๆ เช่น การกระตุ้นด้วยแสงในการตรวจ visual evoked potentials (VEP) หรือการกระตุ้นด้วยเสียงในการตรวจ auditory evoked potentials (AEP) การตรวจในรูปแบบนี้จึงไม่ได้เน้นที่การประเมินการทำงานของสมองในภาพรวม แต่เป็นการตรวจการส่งสัญญาณประสาทโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองในตำแหน่งของสมองที่สอดคล้องกับสิ่งกระตุ้นชนิดนั้นๆ เท่านั้น (3) การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พี (Event related potentials; ERP) เป็นการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่ให้สิ่งกระตุ้นซ้ำๆ เช่นกัน แต่สิ่งกระตุ้นที่ใช้ในการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดนี้จะต้องอาศัยกระบวนการทางสติปัญญาในการตอบสนอง เช่น การตอบสนองต่อภาพหรือตัวอักษรที่กำหนด เป็นต้น

การวิเคราะห์ผลของคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะพักต่อกิจกรรมที่ต้องอาศัยความตั้งใจจดจ่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองในสองความถี่หลัก คือ คลื่นอัลฟา (Alpha wave) ซึ่งเป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 8-13 เฮิรตซ์ (บางตำราอาจจะใช้ 8-12 เฮิรตซ์) และมักพบในขณะที่ตื่นกับคลื่นแกมมา (Gamma wave) ซึ่งเป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีความถี่สูง โดยทั่วไปจะมีความถี่ตั้งแต่ 25-30 เฮิรตซ์ขึ้นไป งานวิจัยจำนวนหนึ่งได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของคลื่นสมองในช่วงความถี่ดังกล่าวในขณะที่บุคคลนั้นกำลังมีความตั้งใจจดจ่ออยู่กับเรื่องใดเรื่องหนึ่ง[2] และในบุคคลที่ทำสมาธิแบบเซน[3] แบบธิเบต[4] และแบบวิปัสสนา[5] อย่างไรก็ดี ยังคงมีการถกเถียงกันอยู่มากในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของคลื่นแกมมากับกระบวนการทางสติปัญญาในมนุษย์ โดยนักวิทยาศาสตร์บางกลุ่มเชื่อว่าคลื่นในช่วงความถี่สูงขนาดนี้น่าจะเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อหนังศีรษะหรือกล้ามเนื้อตามากกว่า[6,7] แม้ในปัจจุบันจะมีข้อมูลจากการตรวจด้วย magnetoencephalogram (MEG) ช่วยยืนยันการมีอยู่ของคลื่นแกมมาในกิจกรรมที่ต้องอาศัยความตั้งใจจดจ่อ[8] แต่ยังคงไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน

การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีเป็นการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่มีการนำเสนอสิ่งกระตุ้นที่ต้องอาศัยกระบวนการทางสติปัญญาในการตอบสนอง ซึ่งได้มีการนำมาใช้ในการศึกษาการทำงานของระบบประสาทมาเกือบ 50 ปีแล้ว[9] แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย จนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระบบการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองจากเดิมที่เป็น analog มาสู่ระบบ digital ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลเก็บไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์ในภายหลัง รวมถึงสามารถแยกวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองในแต่ละภาวะเพื่อหาค่าเฉลี่ยของการตอบสนองได้ จึงทำให้การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดนี้เป็นที่สนใจต่อวงการประสาทวิทยาศาสตร์เชิงสติปัญญา (Cognitive neuroscience) โดยเฉพาะนักวิทยาศาสตร์ด้านสมองและนักจิตวิทยาที่มักใช้การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดนี้ในการประเมินการทำงานของสมอง เพราะการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดนี้จะมีการนำเสนอสิ่งกระตุ้นซึ่งมักเป็นรูปภาพ สัญลักษณ์ ตัวหนังสือ ซึ่งต้องอาศัยการแปลความหมายจากสมอง หรืออาจจะเป็นสิ่งกระตุ้นพื้นฐานที่นำเสนอในหลายรูปแบบและต้องให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบเลือกที่จะตอบสนองหรือไม่ตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นนั้น โดยในแต่ละครั้งของการนำเสนอสิ่งกระตุ้น จะทำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดจากการตอบสนองของสมองต่อสิ่งกระตุ้นนั้นๆ แต่คลื่นเหล่านี้มักจะถูกบดบังจนไม่สามารถมองเห็นได้ ดังนั้น จึงต้องนำข้อมูลมาทำการเลือกช่วงคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยสิ่งกระตุ้นชนิดเดียวกันมาทำการเฉลี่ยเพื่อหาคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดจากการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นนั้นๆ เพียงอย่างเดียวและตัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองพื้นฐานออกไป จึงจะสามารถเห็นคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีได้ โดยจะปรากฏเป็นคลื่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก (positive) และเป็นลบ (negative) เกิดขึ้นต่อเนื่องกันไป (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 แสดงหลักการของการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีและคลื่น P3 (P300) (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 34)

การประเมินความตั้งใจจดจ่อโดยใช้การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีมักต้องอาศัยแบบทดสอบที่ดัดแปลงมาจากแบบทดสอบทางจิตประสาทซึ่งใช้ตรวจความตั้งใจจดจ่ออยู่เดิมมานำเสนอร่วมด้วย โดยแบบทดสอบชนิด oddball (Oddball paradigm) มักจะถูกใช้ในการประเมินความตั้งใจจดจ่อ ในแบบทดสอบชนิดนี้ผู้ถูกทดสอบจะต้องตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมาย (Target stimuli) ที่มี

จำนวนครั้งในการนำเสนอน้อย และเพิกเฉยต่อสิ่งกระตุ้นที่ไม่ใช่เป้าหมายที่มีจำนวนครั้งในการนำเสนอมากกว่า ดังนั้นผู้ถูกทดสอบจะต้องมีสมาธิจดจ่ออยู่กับการปรากฏของสิ่งกระตุ้นเป้าหมาย คลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดขึ้นในขณะที่สิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมายปรากฏในแต่ละครั้งโดยที่ผู้ถูกทดสอบสามารถตอบสนองได้อย่างถูกต้องจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะปรากฏให้เห็นเป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างๆ เกิดต่อเนื่องกันในช่วงระยะเวลาของการกระตุ้น โดยทั่วไปการประเมินผลของความตั้งใจจดจ่อโดยการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีมักจะเน้นที่การศึกษาคลื่น P3 หรือคลื่น P300 ซึ่งหมายถึง คลื่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก (Positive) ที่เกิดขึ้นเป็นลำดับที่ 3 และมักพบในช่วงระยะเวลา 300 มิลลิวินาทีหลังการกระตุ้นในแต่ละครั้ง (รูปที่ 2) ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่ทราบกันอย่างแน่ชัดว่าสมองส่วนใดเป็นจุดกำเนิดของคลื่นดังกล่าว แต่เชื่อกันว่าคลื่น P3 น่าจะเกิดจากการทำงานของสมองในหลายบริเวณ[10] และขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งกระตุ้นเป็นสำคัญ[11] อย่างไรก็ดี คลื่น P3 ไม่ได้เป็นคลื่นที่บ่งถึงการทำงานของสมองในด้านความตั้งใจจดจ่อ เพราะคลื่น P3 เป็นคลื่นที่สามารถพบได้ในกระบวนการทางสติปัญญาทั่วๆ ไป แต่คลื่น P3 จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อบุคคลนั้นมีความตั้งใจจดจ่ออยู่กับกิจกรรมที่ทำในขณะนั้น

การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีจะทำการประเมินคลื่นแต่ละชนิดจากระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดคลื่น (Latency) โดยนับตั้งแต่เมื่อเริ่มให้สิ่งกระตุ้นจนถึงตำแหน่งสูงสุด (Peak) ของคลื่นนั้น หรือเรียกว่า peak latency และความสูงของคลื่น (Amplitude) เป็นหลัก ในส่วนของคลื่น P3 ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดคลื่นจะสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการประเมินสิ่งกระตุ้นในขณะที่ความสูงของคลื่นจะสัมพันธ์กับโอกาสในการเกิดสิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมายและความเกี่ยวเนื่องของแบบทดสอบที่ทำกับสิ่งกระตุ้น[12] โดยหากสิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมายมีจำนวนน้อยกว่าสิ่งกระตุ้นที่ไม่ได้เป็นเป้าหมายจะทำให้คลื่น P3 มีความสูงของคลื่นมากขึ้น นอกจากนี้ในแบบทดสอบบางชนิดยังสามารถแยกคลื่น P3 ออกเป็นคลื่น P3a และคลื่น P3b ได้ ซึ่งมักเป็นแบบทดสอบที่ค่อนข้างยากและมีการให้สิ่งกระตุ้น 3 ชนิด คือ สิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมายที่มีจำนวนน้อย สิ่งกระตุ้นที่ไม่ใช่เป้าหมาย ซึ่งในแบบทดสอบลักษณะนี้จะเรียกว่าสิ่งกระตุ้นมาตรฐาน (Standard stimulus) และสิ่งกระตุ้นที่เป็นตัวกวน (Distracter stimulus) ซึ่งจะแตกต่างจากสิ่งกระตุ้น 2 ชนิดแรกอย่างชัดเจน โดยเมื่อนำเสนอสิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมายและสิ่งกระตุ้นมาตรฐานไปสักพัก แล้วนำเสนอสิ่งกระตุ้นที่เป็นตัวกวนจะทำให้เกิดคลื่น P3a ปรากฏขึ้นเด่นชัดในสมองส่วน frontal ซึ่งสัมพันธ์กับการที่สมองรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นชนิดใหม่ที่แตกต่างจากเดิม ในขณะที่สิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมายจะทำให้เกิดคลื่น P3b แทน ซึ่งจะปรากฏหลังจากคลื่น P3a และพบเด่นชัดในสมองส่วน parietal คล้ายกับคลื่น P3 ในแบบทดสอบชนิด oddball ชนิดมาตรฐานที่มีสิ่งกระตุ้น 2 ชนิด[13]

นอกเหนือจากคลื่น P3 ยังพบว่า คลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีที่เกิดจากการกระตุ้นของสิ่งกระตุ้นเพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องอาศัยกระบวนการทางสติปัญญา ซึ่งได้แก่ คลื่น P1 และคลื่น N1 ที่เกิดขึ้นจากการทำงานของสมองในส่วนที่รับความรู้สึก (Sensory cortices) ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งกระตุ้นนั้น ยกตัวอย่างเช่น สมองส่วน temporal กับสิ่งกระตุ้นที่เป็นเสียง เป็นต้น สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยความตั้งใจจดจ่อเช่นกัน[14,15] แสดงให้เห็นว่าความตั้งใจจดจ่อไม่ได้เพียงแค่ปรับการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสติปัญญาเท่านั้น แต่สามารถปรับได้ตั้งแต่เมื่อสัญญาณสิ่งกระตุ้นมาถึงสมอง ซึ่งในประเด็นนี้นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าเป็นการเพิ่มความชัดเจนของสัญญาณที่เข้ามาให้โดดเด่นเหนือกว่าสัญญาณอื่นๆ หรือเรียกว่าเป็นการเพิ่ม signal to noise ratio นั่นเอง อย่างไรก็ดี การเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าวจะไม่พบในเด็กที่มีความบกพร่องของภาษาเมื่อทำการกระตุ้นด้วยเสียง[16] บ่งว่าความสามารถของความตั้งใจจดจ่อที่มีผลต่อสัญญาณที่มายังสมองต้องอาศัยความเข้าใจต่อสัญญาณนั้นด้วย

ความผิดปกติของความตั้งใจจดจ่อ

ความผิดปกติของความตั้งใจจดจ่อสามารถพบได้ทั้งในผู้ป่วยโรคทางระบบประสาทและโรคทางจิตเวช ในวัยเด็กมักพบในผู้ป่วยโรคซนสมาธิสั้น (Attention deficit hyperactivity disorder; ADHD) และผู้ป่วยโรคทางระบบประสาททั้งเด็กและผู้ใหญ่ที่มีความผิดปกติในโครงสร้างของสมอง เช่น ผู้ป่วยโรคลมชักชนิดที่มีสาเหตุ (Symptomatic epilepsy)[17] เป็นต้น หรือในผู้สูงวัยที่เป็นโรคสมองเสื่อมชนิด progressive mild cognitive impairment (MCI)[18] เป็นต้น นอกจากนี้ในรายที่ไม่ได้มีความผิดปกติในโครงสร้างสมองชัดเจน เช่น ผู้ป่วยโรคลมชักชนิดที่ไม่พบสาเหตุ (Idiopathic epilepsy)[19] หรือในผู้สูงอายุปกติอาจจะพบความบกพร่องของความตั้งใจจดจ่อได้ ซึ่งบางรายจะวินิจฉัยได้จากลักษณะคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น[20]

การศึกษาความบกพร่องของความตั้งใจจดจ่อในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้นด้วยการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองนั้นได้รับการค้นคว้าวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง ในส่วนของคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะพักและการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองในเชิงปริมาณได้มีรายงานการเปลี่ยนแปลงไว้ในหลายลักษณะ[21] ที่สำคัญคือ การเปลี่ยนแปลงคลื่นเธต้า (Theta wave) ซึ่งเป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีความถี่อยู่ในช่วง 4-8 เฮิรตซ์ ในบริเวณสมองส่วน frontal ซึ่งคิดว่าน่าจะสัมพันธ์กับความบกพร่องของกระบวนการทางสติปัญญาที่พบในเด็กกลุ่มนี้[22] อย่างไรก็ดี เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะพักในผู้ป่วยโรคซนสมาธิสั้นนั้นมักไม่จำเพาะ รวมถึงคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะพักเองมีความแตกต่างในแต่ละบุคคลค่อนข้างมาก จึงทำให้การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในลักษณะนี้กับเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้นมีการใช้ไม่มากนักในปัจจุบัน และส่วนใหญ่มักทำในลักษณะของงานวิจัยที่วิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองในเชิงปริมาณมากกว่า

การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้นได้แสดงให้เห็นความผิดปกติของความตั้งใจจดจ่อในหลายลักษณะตามแต่รูปแบบการทดสอบ (Paradigm) ที่ใช้ในการศึกษานั้น ซึ่งได้สรุปไว้แล้วในตารางที่ 1 การทดสอบโดยใช้ visual spatial attention paradigm ได้แสดงให้เห็นว่าคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีที่เกิดจากการกระตุ้นของสิ่งที่นำเสนอเป็นหลัก เช่น คลื่น N1 และคลื่น P1 จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้น แต่จะพบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงหลังซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสติปัญญามากกว่า[23] ข้อมูลดังกล่าวบ่งว่า ความบกพร่องของความตั้งใจจดจ่อในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้นน่าจะเกิดจากความผิดปกติในการทำงานของสมองที่มาควบคุมกระบวนการนี้เป็นหลัก สำหรับการทดสอบชนิด auditory oddball ที่ให้ผู้ถูกทดสอบตอบสนองต่อเสียงที่เป็นเป้าหมายและเพิกเฉยต่อเสียงที่ไม่ได้เป็นเป้าหมาย จะพบความบกพร่องทั้งในส่วนของข้อมูลเชิงพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พี แม้ผลที่ได้ยังมีความแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัย แต่ส่วนใหญ่พบว่าคลื่น P3 ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสติปัญญามีความสูงลดลง[24,25] ต่อมามีการศึกษาที่ดัดแปลงแบบทดสอบชนิด auditory oddball ให้ยากขึ้นเพื่อทำการวิเคราะห์คลื่น P3b ต่อสิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมาย กลับพบว่าไม่มีความแตกต่างของคลื่น P3b ในเด็กซนสมาธิสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่พบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นอีอาร์พีชนิดอื่นแทน[26] ซึ่งความไม่สอดคล้องของการเปลี่ยนแปลงของคลื่น P3 และคลื่น P3b ในการศึกษาเหล่านี้ยังคงต้องอาศัยข้อมูลจากการวิจัยใหม่ๆ มาช่วยในการอธิบายต่อไป

การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีด้วยแบบทดสอบชนิด Go-NoGo (Go-NoGo task) ซึ่งเป็นการประเมินความตั้งใจจดจ่อร่วมกับความสามารถในการยับยั้งการตอบสนอง (Response inhibition) ได้รับความสนใจอย่างมากในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้น แบบทดสอบชนิดนี้จะมีการกำหนดสิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมายคล้ายกับแบบทดสอบชนิด oddball แต่ต่างกันที่ทั้งภาวะ Go และ NoGo จะถูกกำหนดด้วยสิ่งกระตุ้นที่นำเสนอ 2 อันต่อกัน โดยสิ่งกระตุ้นลำดับแรกของทั้ง 2 ภาวะจะเหมือนกัน แต่สิ่งกระตุ้นลำดับถัดมาจะต่างกัน ผู้ถูกทดสอบจะต้องตอบสนองต่อภาวะ Go และยับยั้งการ

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้น และการเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวกับอาการทางคลินิก

คลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พี	แบบทดสอบที่ใช้	ผลการทดสอบในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้น	การเชื่อมโยงผลการทดสอบที่น่าจะสัมพันธ์กับอาการทางคลินิก
คลื่น N1 และคลื่น P1	Visual spatial attention paradigm	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	การรับรู้ต่อสิ่งกระตุ้นไม่แตกต่างจากปกติ
คลื่น P3/P300	Auditory oddball paradigm	ความสูงของคลื่นลดลง	ความบกพร่องของความตั้งใจจดจ่อต่อสิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมาย
คลื่น P3/P300	Go-NoGo task	ความสูงของคลื่นลดลงในภาวะ Go	ความบกพร่องของความตั้งใจจดจ่อต่อสิ่งกระตุ้นที่เป็นเป้าหมาย
คลื่น N2/N200	Go-NoGo task	ความสูงของคลื่นที่วัดจากสมองส่วนหน้าลดลงในภาวะ NoGo	ความบกพร่องของการยับยั้งตนเอง

ตอบสนองต่อภาวะ NoGo เด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้นจะมีอัตราความถูกต้องในการตอบสนองลดลง รวมถึงความสูงของคลื่น P3 ในภาวะ Go จะลดลงเช่นกัน บ่งถึงความบกพร่องของการพัฒนาด้านความตั้งใจจดจ่อในเด็กเหล่านี้[27] ในขณะที่คลื่นที่บ่งถึงกระบวนการยับยั้งตนเอง เช่น คลื่น N2 หรือคลื่น N200 ในภาวะ NoGo จะมีความสูงของคลื่นที่วัดจากสมองส่วนหน้า โดยเฉพาะสมองส่วน frontal ด้านขวาลดลง[28] ซึ่งโดยปกติคลื่นดังกล่าวจะมีความสูงในภาวะ NoGo มากกว่าภาวะ Go แต่ความแตกต่างนี้จะพบน้อยลงในเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้น[29] ในปัจจุบันเข้าใจว่าการที่คลื่น N2 มีความสูงในภาวะ NoGo มากกว่าภาวะ Go เกิดจากการที่สมองพยายามจะจัดการกับความขัดแย้งที่เกิดขึ้น คือการไม่ตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นอื่นๆ ที่ไม่ใช่ภาวะ Go ดังนั้นการที่คลื่น N200 ในภาวะ NoGo มีความสูงลดลงในสมองส่วนหน้าของเด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้นจึงบ่งถึงความบกพร่องในการยับยั้งตนเอง เข้าได้กับหนึ่งในสามอาการหลักของโรคนี้คือความหุนหันพลันแล่น (Impulsivity) อย่างไรก็ดี การศึกษาข้างต้นไม่พบการเปลี่ยน-แปลงที่ชัดเจนของคลื่น P3 ในภาวะ NoGo27 ซึ่งเป็นคลื่นอีกชนิดที่สัมพันธ์กับกระบวนการยับยั้งตนเอง แต่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นดังกล่าวในภาวะ NoGo เมื่อเด็กเติบโตขึ้น[30] แสดงให้เห็นว่า การพัฒนาของสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถทางสติปัญญาที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงอายุนั้นมีความแตกต่างกัน

รายงานการศึกษาผลของการฝึกสมาธิต่อคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พีแสดงให้เห็นว่า คลื่นเหล่านี้สามารถปรับเปลี่ยนได้จากการฝึกสมาธิ โดยการศึกษาในผู้ที่ปฏิบัติสมาธิแบบวิปัสสนาในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าความสูงของคลื่น P3a ต่อสิ่งกระตุ้นที่เป็นตัวกวนมีขนาดลดลง ซึ่งหมายความว่าผู้ที่ฝึกสมาธิจะมีการลดการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นอันใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิม[31] ขณะที่การศึกษาในประเทศโปแลนด์ พบการเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่กระตุ้นอารมณ์ในผู้ที่ปฏิบัติสมาธิ ซึ่งประเมินจากการที่คลื่น LPP (Late Positive Potentials) ที่เกิดในขณะที่มองรูปภาพที่เร้าอารมณ์ในเชิงลบ (Negative pictures) ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากการมองรูปภาพปกติ (Neutral pictures) ซึ่งแตกต่างจากคนปกติที่การตอบสนองต่อภาพที่เร้าอารมณ์ในเชิงลบจะทำให้เกิดคลื่น LPP ที่สูงกว่าการมองรูปภาพปกติ[32] บ่งว่าการฝึกสมาธิสามารถไปปรับเปลี่ยนการทำงานของสมองได้ นอกจากนี้ผลการศึกษาภาพรังสีของสมองยังแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของสมองที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งในส่วนของ gray และ white matters ของผู้ที่ปฏิบัติสมาธิอย่างต่อเนื่อง[33]

บทสรุป

ความตั้งใจจดจ่อเป็นการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสติปัญญาและเป็นรากฐานที่สำคัญของการเรียนรู้ในเด็ก การประเมินความตั้งใจจดจ่อสามารถกระทำได้โดยการใช้แบบทดสอบทางจิตประสาทและการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยเฉพาะการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดอีอาร์พี การเปลี่ยนแปลงลักษณะคลื่นไฟฟ้าสมองเมื่อต้องอาศัยความตั้งใจจดจ่อในการทำกิจกรรมเป็นหลักฐานที่บ่งถึงบทบาทของสมอง ในกระบวนการนี้ผู้ป่วยที่มีความบกพร่องของความตั้งใจจดจ่อ เช่น เด็กที่เป็นโรคซนสมาธิสั้นจะมีผลการประเมินด้านความตั้งใจจดจ่อและมีความสามารถในการยับยั้งตนเองด้อยกว่าเด็กปกติ รวมถึงมีลักษณะคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตอบสนองต่อกิจกรรมดังกล่าวแตกต่างออกไป ในขณะที่บุคคลผู้ซึ่งปฏิบัติสมาธิอย่างต่อเนื่องจะสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานของสมอง โดยเฉพาะการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่นำเสนอในระหว่างการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองได้ ดังนั้น การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองจึงเป็นวิธีที่สามารถใช้ในการประเมินระดับของความตั้งใจจดจ่อในมนุษย์ได้อย่างละเอียด เพราะเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงในสมอง รวมถึงยังสามารถใช้ศึกษาทั้งในภาวะความบกพร่องและการพัฒนาความสามารถด้านความตั้งใจจดจ่อได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้นิพนธ์ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุจิรา มุกดา ที่ช่วยในการจัดทำรูปภาพประกอบ

เอกสารอ้างอิง

1. Knudsen EI. Fundamental components of attention. Annu Rev Neurosci 2007;30:57-78.
2. Simos PG, Papanikolaou E, Sakkalis E, et al. Modulation of gamma-band spectral power by cognitive task complexity. Brain Topogr 2002;14:191-6.
3. Kasamatsu A, Hirai T. An electroencephalographic study on the zen meditation (Zazen). Folia Psychiatr Neurol Jpn 1966;20:315-36.
4. Lutz A, Greischar LL, Rawlings NB, et al. Long-term meditators self-induce high-amplitude gamma synchrony during mental practice. Proc Natl Acad Sci U S A 2004;101:16369-73.
6. Cahn BR, Delorme A, Polich J. Occipital gamma activation during Vipassana meditation. Cogn Process 2010;11:39-53.
7. Whitham EM, Lewis T, Pope KJ, et al. Thinking activates EMG in scalp electrical recordings. Clin Neurophysiol 2008;119:1166-75.
8. Yuval-Greenberg S, Tomer O, Keren AS, et al. Transient induced gamma-band response in EEG as a manifestation of miniature saccades. Neuron 2008;58:429-41.
9. Kaiser J, Lutzenberger W. Induced gamma-band activity and human brain function. Neuroscientist 2003;9:475-84.
10. Sutton S, Braren M, Zubin J, et al. Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. Science 1965;150:1187-8.
11. Ji J, Porjesz B, Begleiter H, et al. P300: the similarities and differences in the scalp distribution of visual and auditory modality. Brain Topogr 1999;11:315-27.
12. Johnson R Jr. Developmental evidence for modality-dependent P300 generators: a normative study. Psychophysiology 1989;26:651-67.
13. Donchin E, Coles MG. Is the P300 component a manifestation of context updating? Behav Brain Sci 1988;11:357-74.
14. Polich J. Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. Clin Neurophysiol 2007;118:2128-48.
15. Hillyard SA, Hink RF, Schwent VL, et al. Electrical signs of selective attention in the human brain. Science 1973;182:177-80.
16. Rugg MD, Milner AD, Lines CR, et al. Modulation of visual event-related potentials by spatial and non-spatial visual selective attention. Neuropsychologia 1987;25:85-96.
17. Stevens C, Sanders L, Neville H. Neurophysiological evidence for selective auditory attention deficits in children with specific language impairment. Brain Res 2006;1111:143-52.
18. Caravaglios G, Natalè E, Ferraro G, et al. Auditory event-related potentials (P300) in epileptic patients. Neurophysiol Clin 2001;31:121-9.
19. Deiber MP, Ibañez V, Missonnier P, et al. Abnormal-induced theta activity supports early directed-attention network def icits in progressive MCI. Neurobiol Aging 2009;30:1444-52.
20. Duncan CC, Mirsky AF, Lovelace CT, et al. Assessment of the attention impairment in absence epilepsy: comparison of visual and auditory P300. Int J Psychophysiol 2009;73:118-22.
21. Vallesi A. Targets and non-targets in the aging brain: A go/nogo event-related potential study. Neurosci Lett 2011;487:313-7.
22. Barry RJ, Clarke AR, Johnstone SJ. A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. Clin Neurophysiol 2003;114:171-83.
23. Hermens DF, Soei EX, Clarke SD, et al. Resting EEG theta activity predicts cognitive performance in attention-deficit hyperactivity disorder. Pediatr Neurol 2005;32:248-56.

24. López V, López-Calderón J, Ortega R, et al. Attention-deficit hyperactivity disorder involves differential cortical processing in a visual spatial attention paradigm. Clin Neurophysiol 2006;117:2540-8.
25. Senderecka M, Grabowska A, Gerc K, et al. Event-related potentials in children with attention deficit hyperactivity disorder: an investigation using an auditory oddball task. Int J Psychophysiol 2012;85:106-15.
26. Tsai ML, Hung KL, Lu HH. Auditory event-related potentials in children with attention deficit hyperactivity disorder. Pediatr Neonatol 2012;53:118-24.
27. Gomes H, Duff M, Ramos M, et al. Auditory selective attention and processing in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. Clin Neurophysiol 2012;123:293-302.
38. Spronk M, Jonkman LM, Kemner C. Response inhibition and attention processing in 5- to 7-year-old children with and without symptoms of ADHD: An ERP study. Clin Neurophysiol 2008;119:2738-52.
29. Pliszka SR, Liotti M, Woldorff MG. Inhibitory control in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: event-related potentials identify the processing component and timing of an impaired right-frontal response-inhibition mechanism. Biol Psychiatry 2000;48:238-46.
30. Johnstone SJ, Barry RJ, Markovska V, et al. Response inhibition and interference control in children with AD/HD: a visual ERP investigation. Int J Psychophysiol 2009;72:145-53.
31. Jonkman LM. The development of preparation, conflict monitoring and inhibition from early childhood to young adulthood: a Go/Nogo ERP study. Brain Res 2006;1097:181-93.
32. Cahn BR, Polich J. Meditation (Vipassana) and the P3a event-related brain potential. Int J Psychophysiol 2009;72:51-60.
33. Sobolewski A, Holt E, Kublik E, et al. Impact of meditation on emotional processing–a visual ERP study. Neurosci Res 2011;71:44-8.
34. Kang DH, Jo HJ, Jung WH, et al. The effect of meditation on brain structure: cortical thickness mapping and diffusion tensor imaging. Soc Cogn Affect Neurosci 2013;8:27-33.
35. Luck SJ, Woodman GF, Vogel EK. Event-related potential studies of attention. Trends Cogn Sci 2000;4:432-40.