

# Use of Transcranial Doppler ultrasound as Confirmatory Test in Brain death

---

**Assist.Prof. Supharat Winitprichagul, MD\***

*\*Division of Neurology, Department of Medicine, Faculty of Medicine Vajira Hospital, Navamindradhiraj University  
Bangkok 10300 Thailand*

## Abstract

A diagnosis of brain death requires a strict clinical diagnosis and methods: an apnea test for the absence of chest and abdominal movements when the respirator has stopped. However, in case where apnea test is not available, an ancillary test may be used to help assess brain cell activity or to determine the absence of blood flow to the brain (cerebral circulatory arrest: CCA) for the diagnosis of brain death.

Transcranial Doppler Ultrasound (TCD) can be used to confirm CCA while transmits high-frequency waves to detect the flow of blood in the arteries and interprets the changed pattern of Doppler spectral waveform in each phase correlate with intracranial pressure (ICP) increases.

The advantages of TCD as a safe tool and there is no risk of using contrast agent. TCD can be done at the bedside and can repeat studies for follow-up. Limited TCD, as the patient's skull must be intact. And may not be examined in patients with thick temporal skull (poor temporal window), etc. TCD should be examined and interpreted by a well-trained person.

**Keywords:** Brain death, apnea test, Transcranial Doppler ultrasound (TCD), Doppler spectral waveform (J Thai Stroke Soc. 2021;20(1):15-24)

---

Corresponding author: Assist.Prof. Supharat Winitprichagul, MD (Email: ning459@yahoo.com)

Received 5 January 2021 Revised 2 April 2021 Accepted 2 April 2021

# การใช้ Transcranial Doppler ultrasound เพื่อช่วยยืนยัน ภาวะสมองตาย

ผศ.พญ.สุภารัตน์ วนิจปรีชากุล\*

\*หน่วยประสาทวิทยา ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพมหานคร 10300 ประเทศไทย

## บทคัดย่อ

การวินิจฉัยสมองตาย (Brain death) จะต้องใช้หลักเกณฑ์และวิธีการวินิจฉัยทางคลินิกอย่างเคร่งครัด และทำการทดสอบการไม่หายใจ (apnea test) ว่าไม่มีการเคลื่อนไหวของทรวงอกและหน้าท้อง เมื่อหยุดเครื่องช่วยหายใจ แต่ในกรณีที่ไม่สามารถทดสอบ apnea test ได้ จะมีการใช้การตรวจเพิ่มเติม (ancillary test) ช่วยการประเมินการทำงานของเซลล์สมองหรือช่วยตรวจยืนยันว่าไม่มีเลือดไหลเวียนเข้าสู่สมอง (cerebral circulatory arrest : CCA) เพื่อประกอบการวินิจฉัยสมองตาย

Transcranial Doppler ultrasound (TCD) สามารถเป็นเครื่องมือที่ช่วยตรวจยืนยันภาวะ CCA โดยส่งคลื่นเสียงความถี่สูงไปตรวจจับการไหลเวียนของเลือด (flow) ในหลอดเลือดแดง และใช้การแปลผลรูปแบบของสัญญาณคลื่นเสียงดอปเพลอร์ (pattern of Doppler spectral waveform) ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาที่มีความดันในกะโหลกศีรษะ (ICP) เพิ่มขึ้น

ข้อดีของTCD เช่น เป็นเครื่องมือที่ปลอดภัย ไม่มีความเสี่ยงในการฉีดสารทึบแสง สามารถทำข้างเดียว ผู้ป่วย ทำซ้ำและติดตามได้ ส่วนข้อจำกัด เช่น ผู้ป่วยต้องมีกะโหลกศีรษะที่ปกติ และไม่สามารถตรวจได้ในผู้ป่วยที่มีกะโหลกศีรษะส่วนขมับหนา (poor temporal window) เป็นต้น อีกทั้งต้องทำการตรวจและแปลผลโดยผู้ที่ได้รับการฝึกฝนการใช้เครื่องนี้มาโดยเฉพาะ

**คำสำคัญ:** สมองตาย, การทดสอบการไม่หายใจ, การตรวจการไหลเวียนเลือดในหลอดเลือดสมองด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง, รูปแบบคลื่นเสียงดอปเพลอร์ (J Thai Stroke Soc. 2021;20(1):15-24)

ภาวะสมองตาย (Brain death) คือภาวะที่สูญเสียการทำงานของสมองแบบถาวร ไม่มีเลือดไหลเวียนเข้าสู่สมอง อันเกิดจากเมื่อสมองได้รับความเสียหายจากสาเหตุต่างๆ ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของความดันในกะโหลกศีรษะ (increased intracranial pressure ; ICP) ส่งผลให้มีการลดลงของเลือดที่เข้าสู่สมองตามมา และนำไปสู่ภาวะไม่มีการไหลเวียนเลือดของสมอง (cerebral circulatory arrest: CCA) ในที่สุด

การวินิจฉัยสมองตาย (Brain death) ใช้หลักเกณฑ์วินิจฉัยทางคลินิก<sup>1, 2, 3</sup> ในประเทศไทย แพทยสภาได้กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการวินิจฉัยสมองตายออกเป็นประกาศแพทยสภาที่ 7/2554 ผู้ป่วยมีสภาวะและเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ผู้ป่วยต้องไม่รู้สึกรู้ตัวและไม่หายใจโดยมีข้อวินิจฉัยถึงสาเหตุ ให้รู้แน่ชัดว่าสภาวะของผู้ป่วยนี้เกิดขึ้นจากการที่สมองเสียหายโดยไม่มีหนทางเยียวยาได้ (irremediable and irreversible structural brain damage) และ

2. การไม่รู้สึกรู้ตัวและไม่หายใจนี้ไม่ได้เกิดจาก

ก. พิษยา (drug intoxication) เช่น ยาเสพติด, ยานอนหลับ, ยาคลายกล้ามเนื้อ, สารพิษที่มีผลให้กล้ามเนื้อไม่ทำงาน

ข. ภาวะอุณหภูมิในร่างกายต่ำรุนแรง (น้อยกว่า 32 องศาเซลเซียส)

ค. ภาวะผิดปกติของระบบต่อมไร้ท่อและเมตาบอลิก (endocrine and metabolic disturbances)

ง. ภาวะช็อก (shock) ยกเว้นที่เกิดจากการสูญเสียหน้าที่ของระบบประสาทที่ควบคุมการเต้นของหัวใจและการหดตัวของหลอดเลือด (neurogenic shock)

3. เมื่อผู้ป่วยอยู่ในสภาวะครบตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้นแล้ว เพื่อยืนยันการวินิจฉัยสมองตายให้ตรวจร่างกายตามเกณฑ์ ดังนี้

3.1) ตรวจไม่พบการเคลื่อนไหวใดๆ ได้เอง ยกเว้นการเคลื่อนไหวที่เกิดจากรีเฟล็กซ์ของไขสันหลัง (spinal reflex)

3.2) ตรวจไม่พบรีเฟล็กซ์ของก้านสมอง (absence of brainstem reflexes) การตรวจพบนี้ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นเวลาอย่างน้อย 6 ชั่วโมง

4. ทดสอบการไม่หายใจ (apnea test) เป็นบวก (positive) หมายความว่า ไม่มีการเคลื่อนไหวของทรวงอกและหน้าท้อง เมื่อหยุดเครื่องช่วยหายใจเป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที บ่งบอกถึงก้านสมองสูญเสียหน้าที่โดยสิ้นเชิงและสมองตาย

เกณฑ์การวินิจฉัยของประเทศไทย การวินิจฉัยสมองตายให้กระทำโดยองค์คณะของแพทย์ไม่น้อยกว่า 3 คน และต้องไม่ประกอบด้วยแพทย์ผู้ทำการผ่าตัดปลูกถ่ายอวัยวะ หากมีข้อสงสัยให้ปรึกษาแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบประสาท

เกณฑ์การวินิจฉัยสมองตายยังได้รับการรวบรวมใน The Journal of the American Medical Association (JAMA) ปี 2020<sup>3</sup> ในลักษณะที่คล้ายกับเกณฑ์การวินิจฉัยของประเทศไทย คือ การตรวจร่างกายทางคลินิกต้องแสดงถึงภาวะ coma ไม่พบรีเฟล็กซ์ของก้านสมอง (brainstem areflexia) และไม่หายใจ (apnea) ดังนี้

1) there is no evidence of arousal or awareness to maximal external stimulation, including noxious visual, auditory, and tactile stimulation

2) pupils are fixed in a midsize or dilated position and are nonreactive to light

3) corneal, oculocephalic, and oculovestibular reflexes are absent

4) there is no facial movement to noxious stimulation

5) the gag reflex is absent to bilateral posterior pharyngeal stimulation

6) the cough reflex is absent to deep tracheal suctioning

7) there is no brain-mediated motor response to noxious stimulation of the limbs and

8) spontaneous respirations are not observed when apnea test targets reach pH<7.30 and PaCO<sub>2</sub> ≥ 60 mmHg.

แนวทางปฏิบัติในหลายประเทศ<sup>1, 4, 5</sup> มีการใช้การตรวจเพิ่มเติม (ancillary test) ช่วยในการวินิจฉัยสมองตาย ในกรณีที่ไม่สามารถทดสอบการไม่หายใจ

(apnea test) ได้หรือมีข้อจำกัดที่ทำให้การตรวจร่างกายทางคลินิกดังกล่าวข้างต้นไม่ครบถ้วน การตรวจเพิ่มเติม (ancillary test) แบ่งได้เป็น<sup>3, 4</sup>

1) การประเมินการทำงานของเซลล์สมอง/เซลล์ประสาทสมอง (electrophysiologic testing)

- การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (electroencephalogram : EEG)

- การตรวจศักย์ไฟฟ้าจากระบบประสาท (evoked potential)

2) การประเมินการไหลเวียนเลือดของสมอง (brain blood flow studies) เพื่อยืนยันว่าไม่มีเลือดไหลเวียนเลือดเข้าสู่สมอง เช่น

- การฉีดสีหลอดเลือดสมอง (cerebral angiogram)

- การถ่ายภาพเอกซเรย์หลอดเลือดสมอง (digital subtraction angiogram: DSA)

- การศึกษาเลือดไปสู่สมองด้วยสารกัมมันตรังสี (nuclear scan)

- การตรวจการไหลเวียนเลือดในหลอดเลือดสมองด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Transcranial Doppler ultrasound :TCD)

ในเครื่องมือการตรวจเพิ่มเติมหลายหลายอย่างดังกล่าว โดยทั่วไปจะนิยมใช้การตรวจ EEG เพราะหาเครื่องมือตรวจ และใช้ผู้ชำนาญในการแปลผลการตรวจได้ง่ายกว่าวิธีอื่น และไม่มีความเสี่ยงในเรื่องการฉีดสารทึบแสงหรือสวนหลอดเลือดผู้ป่วย แต่การตรวจจะมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถแปลผลในผู้ป่วยที่ได้กลุ่มยาแก้ปวดประสาท (sedative drug) มาเป็นเวลานานได้ ซึ่งมักจะพบการใช้ยาแก้ปวดในผู้ป่วยวิกฤติอยู่แล้ว ในการตรวจผู้ป่วยกลุ่มนี้ การใช้ TCD ตรวจจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม

ข้อดีของ TCD คือ

1. เป็นเครื่องมือที่ปลอดภัยไม่ทำให้ผู้ป่วยได้รับบาดเจ็บจากการตรวจ

2. ไม่มีความเสี่ยงในการฉีดสารทึบแสงทำให้สามารถรักษาการทำงานของอวัยวะไว้ได้

3. สามารถทำซ้ำได้ง่ายผู้ป่วยได้ ไม่ต้องเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนย้าย

4. ทำการตรวจติดตามหรือทำซ้ำได้ และสามารถทำการตรวจเพื่อยืนยัน CCA ได้ภายใน 2 ชั่วโมง หลังจากการตรวจทางคลินิกวินิจฉัยสมองตายแล้ว<sup>6, 7</sup> ซึ่งมีประโยชน์ในกรณีของการบริจาคอวัยวะ

5. ค่าใช้จ่ายไม่สูงเมื่อเทียบกับวิธีการตรวจทางหลอดเลือดอื่นๆ

ส่วนข้อจำกัดของการตรวจ TCD และการแปลผล

1. คลื่นเสียงความถี่สูงไม่สามารถผ่านกะโหลกศีรษะส่วนขมับที่หนาของผู้ป่วยในบางรายได้ (poor temporal window) ซึ่งพบได้ประมาณ 10-20%<sup>4, 6</sup> ในกรณีนี้อาจใช้การตรวจผ่านทางลูกตา (ophthalmic approach) เพื่อตรวจการไหลเวียนเลือดของเส้นเลือด internal carotid artery (ICA) ส่วน siphon เป็นตัวแทนในส่วนของ intracranial anterior circulation<sup>8, 9</sup>

2. ผู้ป่วยต้องมีกะโหลกศีรษะที่ปกติ (intact skull)<sup>10, 11</sup> เพราะอาจเกิด false positive ได้จากการที่มี ventricular drainage, large craniectomies, skull fracture, skull defects จะมีผลต่อรูปคลื่นเสียงดอปเพลอร์ (Doppler spectral waveform) และสามารถทำให้ยังมี diastolic flow ปรากฏอยู่ทั้งๆ ที่ผู้ป่วยสมองตายแล้ว ในกรณีดังกล่าวอาจต้องใช้การตรวจดู Doppler spectral waveform ที่เส้นเลือด internal carotid artery ส่วนคอ (cervical extracranial ICA) แทน

3. ผู้ป่วยที่มีสมองตายจากความเสียหายบริเวณก้านสมองอย่างเดียว TCD อาจจะยังตรวจจับการไหลเวียนของเลือดในสมองได้

4. การไหลเวียนของเลือดอาจมีผลกระทบมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับ  $pCO_2$ , ความเข้มข้นเลือด (Hct) หรือ cardiac output เช่น ผู้ป่วยที่มีภาวะหายใจเร็วรุนแรง (severe hyperventilation) จะทำให้มีเส้นเลือดสมองหดตัว (cerebral vasoconstriction) ส่งผลให้เกิดรูปแบบ sonographic ที่เปลี่ยนแปลงไป และทำให้ดูคล้ายกับ Doppler spectral waveform ใน increase ICP ได้ และไม่ควรใช้การตรวจ TCD ในผู้ป่วยที่มีความดันโลหิตต่ำ (hypotensive patient) หรือมีภาวะที่มีผลต่อ cardiac output

5. ต้องทำการตรวจและแปลผลโดยผู้ที่ได้รับการฝึกฝนการใช้เครื่องมือนี้มาโดยเฉพาะ

ในบทความนี้จะขอกล่าวถึงวิธีการใช้ TCD เป็นเครื่องมือในการตรวจและการแปลผลรูปแบบของสัญญาณดอปเพลอร์ (pattern of Doppler signal) ที่แสดงถึงภาวะไม่มีการไหลเวียนเลือดของสมอง (CCA) เพื่อช่วยวินิจฉัยสมองตาย

### **Transcranial Doppler ultrasound (TCD)**

มีการใช้ TCD ช่วยในการวินิจฉัย CCA มาตั้งแต่ปี 1987<sup>12, 13</sup> โดยพิจารณาการตรวจ TCD เมื่อการตรวจร่างกายทางคลินิกเข้าได้ตามเกณฑ์การวินิจฉัยสมองตาย<sup>1, 4, 10, 11, 14</sup> และไม่สามารถทดสอบการไม่หายใจ (apnea test) ได้ จาก American Academy of neurology ปี 2004 รายงาน sensitivity 91% ถึง 100% และ specificity 97% ถึง 100% เมื่อทำการตรวจ TCD หลังจากการตรวจร่างกายเข้าได้กับสมองตายแล้ว<sup>15</sup>

จาก Meta-analysis ปี 2006<sup>16</sup> TCD มี sensitivity 89% และ specificity 99% และ systemic review and meta-analysis ปี 2016 มี sensitivity 90% และ specificity 98%<sup>17</sup>

### **วิธีการตรวจ<sup>4, 7, 12, 18, 19</sup>**

ใช้เครื่องมือในการตรวจด้วยหัวตรวจ pulsed-waved Doppler ความถี่ 2 MHz ใช้ sample volume ขนาด 10 mm. ส่งคลื่นเสียงความถี่สูงตรวจผ่าน temporal window ทั้งสองข้าง ตรวจจับการไหลเวียนของเลือด (flow) ในหลอดเลือดแดง แนะนำให้ตรวจที่บริเวณส่วนกลางของส่วน M1 ของหลอดเลือดแดง middle cerebral artery (MCA) เพื่อดูการไหลเวียนของ anterior circulation และส่วนต้นของหลอดเลือดแดง basilar artery (BA) เพื่อดูการไหลเวียนของ posterior circulation แล้วส่งสัญญาณสะท้อนกลับมาปรากฏเป็นรูปคลื่นเสียงดอปเพลอร์ (Doppler spectral waveform) หลายการศึกษาใช้ การตรวจที่ ICA, MCA, anterior cerebral artery, vertebral artery (VA) และ BA ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไป<sup>20-23</sup>

การแปลผลการตรวจที่ ICA ควรพิจารณาและควรทำประกอบกับ intracranial examination เพราะประมาณ 20% ของผู้ป่วย สามารถพบ antegrade diastolic flow ใน Doppler spectral waveform ได้ ทั้งที่อยู่ในภาวะ CCA แล้ว ซึ่งอธิบายว่า flow ที่ปรากฏเห็นใน ICA นั้น เกิดจากการ shunt ของเลือดจาก ICA ไปสู่ external carotid system โดยที่ไม่ได้ผ่านเข้าไปเลี้ยงในสมอง<sup>24</sup> หรืออาจเป็นได้จากในผู้ป่วยบางรายเกิดการหยุดของเลือดที่เข้าสู่สมองในระดับที่สูงกว่า carotid bifurcation<sup>24</sup> ดังนั้นการตรวจที่ BA ประกอบด้วย จึงช่วยลดการแปลผลที่ผิดพลาดได้<sup>23, 25</sup> อีกทั้ง BA ยังเป็นเส้นเลือดที่หล่อเลี้ยงก้านสมองโดยตรง และในการวินิจฉัยสมองตายก็ใช้การตรวจการทำงานของก้านสมอง<sup>23</sup>

### **การแปลผล Doppler signal เพื่อยืนยันภาวะ CCA<sup>4, 6, 10, 11</sup>**

อาจแบ่งลักษณะรูปคลื่นเสียงดอปเพลอร์ (Doppler spectral waveform ) ได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

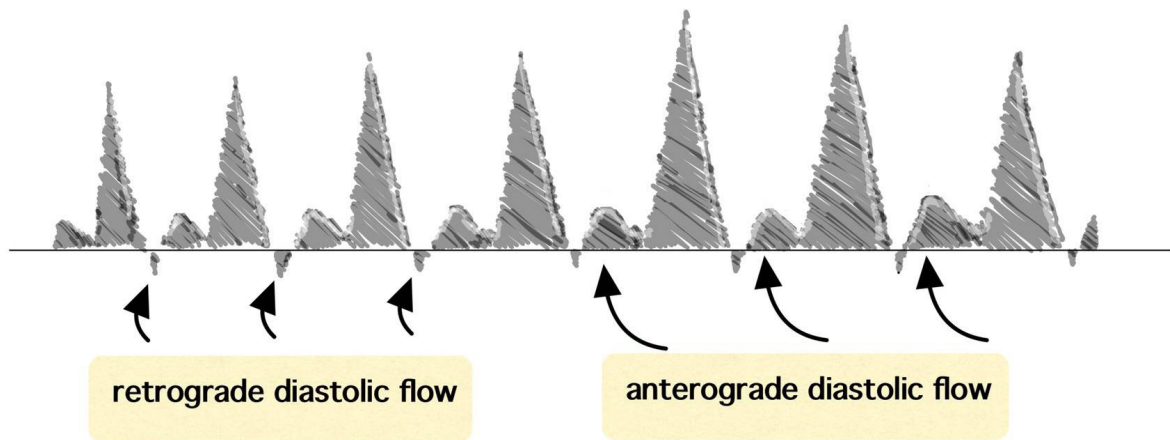
**ระยะที่ 1** Increasing pulsatility\* of the Doppler waveform

เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ ICP จะแสดงให้เห็นลักษณะ increasing pulsatility ของ Doppler waveform คือ end-diastolic velocity ต่ำลงเรื่อยๆ จนเมื่อ ICP เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ แรงดันเลือดช่วง diastole (diastolic blood pressure : DBP) ก็จะทำให้ end-diastolic velocity เท่ากับศูนย์ และเมื่อ ICP เพิ่มขึ้นอีกแต่ยังไม่สูงกว่า mean arterial pressure (MAP) จะมี retrograde diastolic flow และยังปรากฏ antegrade diastolic flow อยู่ซึ่งแสดงถึงว่ายังไม่เข้าสู่ภาวะ CCA ดังรูปที่ 1

\*The pulsatility index (PI) is calculated by formula:  $PI = (peak\ systolic\ velocity - end\ diastolic\ velocity) / mean\ velocity$  (reference values in healthy subjects  $0.86 \pm 0.15$  in MCA)<sup>26</sup>

High PI สัมพันธ์กับ high ICP และ high PI ยังสัมพันธ์กับภาวะอื่นๆ ที่มี increase cerebrovascular resistance ได้อีกด้วย เช่น cerebral vasospasm, cerebral small vessel disease, chronic hypertension

**รูปที่ 1.** รูปวาด Doppler spectral waveform แสดง minimal retrograde diastolic flow และ anterograde diastolic flow โดยจะเห็นว่าส่วนที่เหลื่อของรอบ cycle ยังแสดงการไหลเวียนของ diastolic flow อย่างต่อเนื่องอยู่ (ยังมี anterograde diastolic flow) ซึ่งแสดงว่ายังไม่เข้าสู่ภาวะ CCA

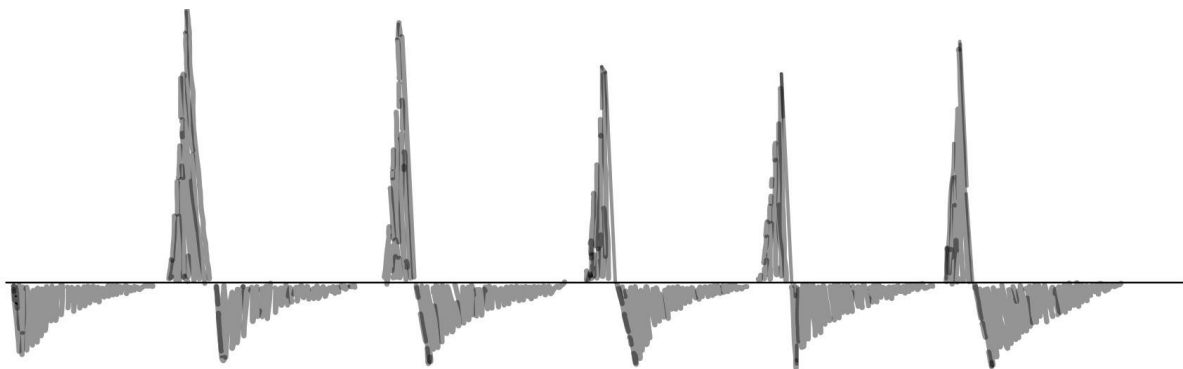


### ระยะที่ 2 Oscillating flow

เมื่อ ICP เพิ่มขึ้นจนสูงกว่า MAP แต่ยังไม่ถึงแรงดันเลือดช่วง systole (systolic blood pressure : SBP) Doppler spectral waveform จะปรากฏส่วนของ anterograde systolic flow และ retrograde diastolic flow ในลักษณะแสดงการเคลื่อนไหวแบบสั่นสะเทือนของเลือดในเส้นเลือด (reverberating movement/ reverberating flow) เมื่อ anterograde flow และ retrograde flow ไกลเคียงกัน (พื้นที่ใต้

envelope ของ positive และ negative deflection ไกลเคียงกัน) จะแสดงถึงเลือดที่ไหลเวียนสู่สมองหยุดลง Doppler spectral waveform แสดงลักษณะของ oscillating flow หรือ reverberating flow ดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะภาพการตรวจทางเส้นเลือด (angiographic flow arrest) ของภาวะ CCA<sup>27</sup> ดังรูปที่ 2

**รูปที่ 2.** รูปวาด Doppler spectral waveform แสดง oscillating flow

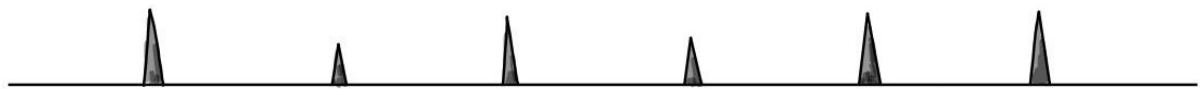


### ระยะที่ 3 Systolic spikes

เมื่อ ICP เพิ่มขึ้นจนถึง SBP Doppler spectral waveform จะแสดงลักษณะของ early sharp systolic spike pattern ซึ่งมีลักษณะ unilateral velocity signal in early systole, systolic peak น้อยกว่า 50 cm/sec, duration น้อยกว่า 200 msec<sup>12, 13</sup>

และไม่มี flow signal เกิดขึ้นอีกในรอบ cardiac cycle นั้นๆ ในการตรวจจะระบายนีควรวัด filter ให้อยู่ในระดับต่ำสุด คือ 50 Hz เพื่อให้เห็น Doppler spectral waveform ที่ชัดเจนดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับการวินิจฉัยภาวะ CCA ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3. รูปร่าง Doppler spectral waveform แสดง sharp systolic spike

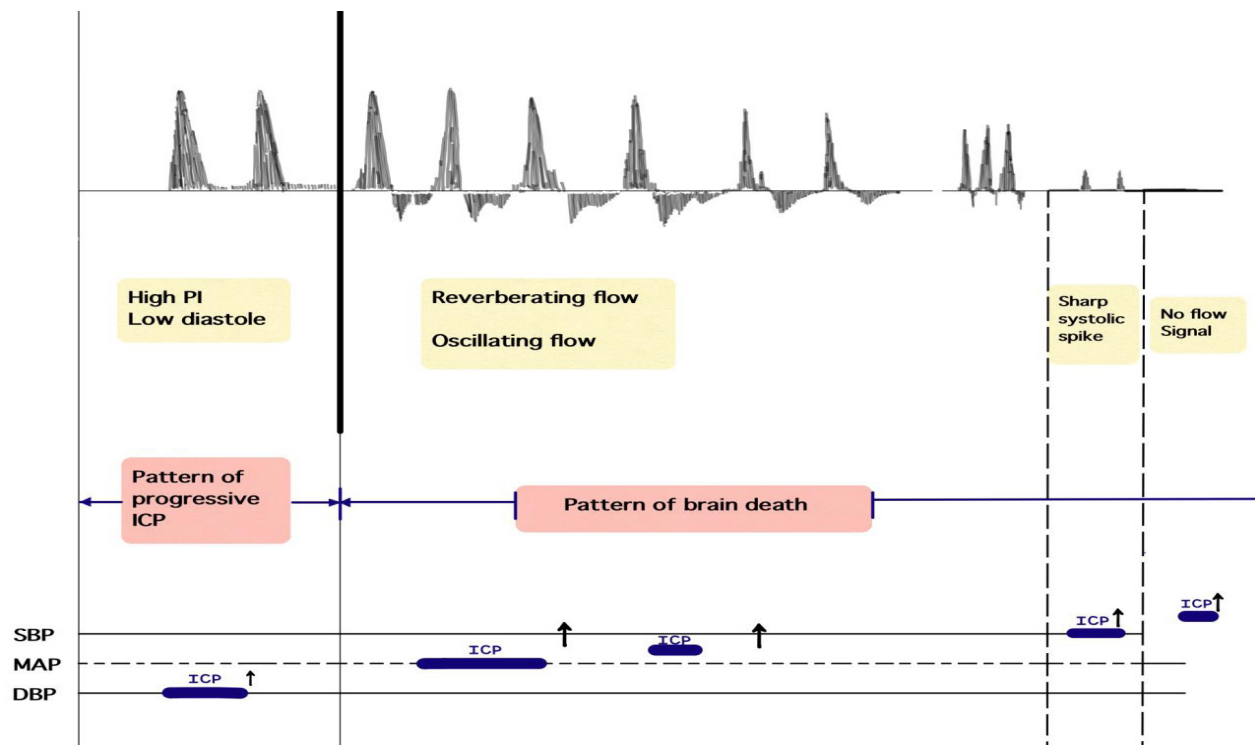


ระยะที่ 4 Lack of signal

เมื่อ ICP เพิ่มขึ้นจนมากกว่า SBP และเมื่อเวลาผ่านไปสัญญาณสะท้อนคลื่นเสียงความถี่สูงจากการตรวจการไหลเวียนของเลือดในเส้นเลือดก็จะหายไป ข้อพึงระวังในการแปลผลในระยะนี้ คือ ถ้าตรวจไม่พบสัญญาณสะท้อนของคลื่นเสียงความถี่สูงเลยตั้งแต่ครั้งแรกที่เริ่มทำการตรวจ อาจเป็นจากปัญหาการส่งสัญญาณ ultrasound ได้ เช่น ผู้ป่วยมีกะโหลก

ศีรษะส่วนขมับที่หนา ดังนั้นการแปลผลในระยะนี้จึงควรพิจารณาในรายที่ได้ทำการตรวจ TCD เพื่อช่วยวินิจฉัย CCA ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกันและผู้ตรวจคนเดียวกัน มาเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะสามารถเห็นความต่อเนื่องของ ICP ที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ที่ทำให้ปรากฏ Doppler spectral waveform ต่างๆ เปลี่ยนแปลงเป็นระยะ จนท้ายที่สุดคือไม่ปรากฏสัญญาณสะท้อนอีกเลย ดังรูปที่ 4<sup>6, 28</sup>

รูปที่ 4. รูปร่างแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Doppler spectral waveform pattern ที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของ intracranial pressure (ICP) และส่งผลให้มีการลดลงของ cerebral perfusion pressure (CPP) ตามมา



ดัดแปลงจาก<sup>6, 28</sup>

– Lovrencic-Huzjan A. Transcranial Doppler as an Confirmatory Test in Brain Death. In: Randhawa G, editor. Organ Donation and Transplantation – Public Policy and Clinical Perspectives: IntechOpen. 2012;267–84.

– Cardona P, Quesada H, Cano L, Campelacreu J, Escrig A, Mora P, et al. Oscillating transcranial Doppler patterns of brain death associated with therapeutic maneuvers. In: Bartels E, Bartels S, Poppert H, editor. New Trends in Neurosonology and Cerebral Hemodynamics: Perspectives in Medicine. 2012;21–4.

แนะนำให้ทำการตรวจเส้นเลือด MCA ทั้งสองข้างและ BA เพื่อหาลักษณะของ CCA pattern (oscillating flow or systolic spikes) โดยทำการตรวจห่างกัน 30 นาที เพื่อยืนยันว่าไม่มีการกลับมาของการไหลเวียนเลือดเข้าสู่สมองแล้ว<sup>4, 10, 11</sup>

ควรตรวจติดตามการลดลงของการไหลเวียนเลือดเป็นระยะจากที่เริ่มมีการไหลเวียนที่ลดลงจนไม่มี flow signal เพราะการตรวจไม่พบ flow signal ตั้งแต่ที่เริ่มตรวจครั้งแรกอาจเป็นปัญหาของ ultrasonic transmission ได้ดังกล่าวข้างต้น ในกรณีนี้อาจใช้การตรวจ extracranial Doppler signal จาก common carotid artery, ICA, VA ประกอบ แต่ก็ไม่สามารถทดแทนข้อมูลจาก intracranial Doppler signal ได้อย่างสมบูรณ์

**False positive** เป็นได้จาก<sup>4, 6</sup>

- ผู้ป่วยที่มี skull defect, skull opening, ventricular drainage, low BP
- ภาวะความดันกะโหลกศีรษะ (ICP) สูงขึ้นเฉียบพลันจากเส้นเลือดโป่งพองในสมองแตก (bleeding from aneurysm) จะทำให้มี flow pattern คล้ายกลับ CCA ได้ แต่ภาวะดังกล่าวจะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวและจะมีการไหลเวียนของเลือดสู่สมองกลับมาอีกครั้งภายใน 30 นาที การตรวจร่างกายผู้ป่วยทางคลินิกก็จะยังไม่มีลักษณะเข้าได้กับสมองตาย
- ผู้ป่วยที่มี distal ICA occlusion ทั้ง 2 ข้าง ตรวจพบเป็น systolic spikes ทั้ง 2 ข้างได้ ซึ่งในกรณีนี้จะต้องทำการตรวจที่ posterior circulation ประกอบด้วย
- Aortic insufficiency โดยเฉพาะ aortic dissection ทำให้เกิดปัญหาในการแปลผลจากลักษณะ flow ที่เปลี่ยนแปลงไปของ CCA, ICA และ BA

**False negative** เป็นได้จาก<sup>4, 6</sup>

พบ diastolic flow ใน intracranial ICA ได้จากการตรวจทาง orbital window ในผู้ป่วยที่ตรวจร่างกายทางคลินิก เข้าเกณฑ์สมองตายแล้ว

## สรุป

TCD สามารถเป็นเครื่องมือที่ช่วยตรวจยืนยันว่าไม่มีเลือดไหลเวียนเข้าสู่สมอง (cerebral circulatory arrest : CCA) โดยวิธีส่งคลื่นเสียงความถี่สูงไปตรวจจับ

การไหลเวียนของเลือด (flow) ในหลอดเลือดแดงและใช้การแปลผลรูปแบบของสัญญาณคลื่นเสียงดอปเพลอร์ (pattern of Doppler spectral waveform) ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาที่ความดันในกะโหลกศีรษะ (ICP) เพิ่มขึ้น TCD เป็นเครื่องมือที่มี sensitivity และ specificity สูง มีความปลอดภัย สามารถทำซ้ำได้ง่ายผู้ป่วย ทำซ้ำและติดตามได้ จึงเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการนำไปประกอบการวินิจฉัยสมองตาย โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่สามารถทำการตรวจการไม่หายใจ (apnea test) ได้ โดยยังคงต้องใช้หลักเกณฑ์และวิธีการวินิจฉัยทางคลินิกอย่างเคร่งครัดในการวินิจฉัยสมองตายดังได้กล่าวมาแล้ว

## เอกสารอ้างอิง

1. ประกาศแพทยสภา. หลักเกณฑ์ และวิธีการวินิจฉัยสมองตาย. 2554(7).
2. Wijdicks EF, Varelas PN, Gronseth GS, Greer DM, American Academy of N. Evidence-based guideline update: determining brain death in adults: report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*. 2010;74(23):1911-8.
3. Greer DM, Shemie SD, Lewis A, Torrance S, Varelas P, Goldenberg FD, et al. Determination of Brain Death/Death by Neurologic Criteria: The World Brain Death Project. *JAMA*. 2020;324(11):1078-97.
4. Llompart-Pou JA, Abadal JM, Güenther A, Rayo L, Martín-del Rincón JP, Homar J, et al. Transcranial Sonography and Cerebral Circulatory Arrest in Adults: A Comprehensive Review. *ISRN Critical Care*. 2013;2013:167468.
5. Wijdicks EF. Brain death worldwide: accepted fact but no global consensus in diagnostic criteria. *Neurology*. 2002;58(1):20-5.
6. Lovrencic-Huzjan A. Transcranial Doppler as an Confirmatory Test in Brain Death. In: Randhawa G, editor. *Organ Donation and Transplantation - Public Policy and Clinical Perspectives*: IntechOpen; 2012;267-84.
7. Lovrencic-Huzjan A, Vukovic V, Gopcevic A, Vucic M, Kriksic V, Demarin V. Transcranial Doppler in brain death confirmation in clinical practice. *Ultraschall Med*. 2011;32(1):62-6.
8. Lampl Y, Gilad R, Eschel Y, Boaz M, Rapoport A, Sadeh M. Diagnosing brain death using the transcranial Doppler with a transorbital approach. *Arch Neurol*. 2002;59(1):58-60.
9. Dominguez-Roldan JM, Jimenez-Gonzalez PI, Garcia-Alfaro C, Rivera-Fernandez V, Hernandez-Hazanas F. Diagnosis of brain death by transcranial Doppler sonography: solutions for cases of difficult sonic windows. *Transplant Proc*. 2004;36(10):2896-7.
10. Ducrocq X, Hassler W, Moritake K, Newell DW, von Reutern GM, Shiogai T, et al. Consensus opinion on diagnosis of cerebral circulatory arrest using Doppler-sonography: Task Force Group on cerebral death of the Neurosonology Research Group of the World Federation of Neurology. *J Neurol Sci*. 1998;159(2):145-50.
11. Segura T, Calleja S, Irimia P, Tembl JI, Spanish Society of N. Recommendations for the use of transcranial Doppler ultrasonography to determine the existence of cerebral circulatory arrest as diagnostic support for brain death. *Rev Neurosci*. 2009;20(3-4):251-9.
12. Kirkham FJ, Levin SD, Padayachee TS, Kyme MC, Neville BG, Gosling RG. Transcranial pulsed Doppler ultrasound findings in brain stem death. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1987;50(11):1504-13.
13. Ropper AH, Kehne SM, Wechsler L. Transcranial Doppler in brain death. *Neurology*. 1987;37(11):1733-5.
14. Güenther A AH, Llompart-Pou JA, Witte OW, Terborg C. Determination of brain death: an overview with a special emphasis on new ultrasound techniques for confirmatory testing. *The Open Critical Care Medicine Journal*. 2011;4:35-43.

15. Sloan MA, Alexandrov AV, Tegeler CH, Spencer MP, Caplan LR, Feldmann E, et al. Assessment: transcranial Doppler ultrasonography: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*. 2004;62(9):1468–81.
16. Monteiro LM, Bollen CW, van Huffelen AC, Ackerstaff RG, Jansen NJ, van Vught AJ. Transcranial Doppler ultrasonography to confirm brain death: a meta-analysis. *Intensive Care Med*. 2006;32(12):1937–44.
17. Chang JJ, Tsivgoulis G, Katsanos AH, Malkoff MD, Alexandrov AV. Diagnostic Accuracy of Transcranial Doppler for Brain Death Confirmation: Systematic Review and Meta-Analysis. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2016;37(3):408–14.
18. Wijdicks EF. The diagnosis of brain death. *N Engl J Med*. 2001;344(16):1215–21.
19. Poularas J, Karakitsos D, Kouraklis G, Kostakis A, De Groot E, Kalogeromitros A, et al. Comparison between transcranial color Doppler ultrasonography and angiography in the confirmation of brain death. *Transplant Proc*. 2006;38(5):1213–7.
20. de Freitas GR, Andre C. Sensitivity of transcranial Doppler for confirming brain death: a prospective study of 270 cases. *Acta Neurol Scand*. 2006;113(6):426–32.
21. Fages E, Tembl JJ, Fortea G, Lopez P, Lago A, Vicente JL, et al. [Clinical usefulness of transcranial Doppler in diagnosis of brain death]. *Med Clin (Barc)*. 2004;122(11):407–12.
22. Nebra AC, Virgos B, Santos S, Tejero C, Larraga J, Araiz JJ, et al. [Clinical diagnostic of brain death and transcranial Doppler, looking for middle cerebral arteries and intracranial vertebral arteries. Agreement with scintigraphic techniques]. *Rev Neurol*. 2001;33(10):916–20.
23. Zurynski Y, Dorsch N, Pearson I, Choong R. Transcranial Doppler ultrasound in brain death: experience in 140 patients. *Neurol Res*. 1991;13(4):248–52.
24. de Freitas GR, Andre C, Bezerra M, Nunes RG, Vincent M. Persistence of isolated flow in the internal carotid artery in brain death. *J Neurol Sci*. 2003;210(1–2):31–4.
25. Hadani M, Bruk B, Ram Z, Knoller N, Spiegelmann R, Segal E. Application of transcranial doppler ultrasonography for the diagnosis of brain death. *Intensive Care Med*. 1999;25(8):822–8.
26. Krejza J, Mariak Z, Walecki J, Szydlak P, Lewko J, Ustymowicz A. Transcranial color Doppler sonography of basal cerebral arteries in 182 healthy subjects: age and sex variability and normal reference values for blood flow parameters. *AJR Am J Roentgenol*. 1999;172(1):213–8.
27. Hassler W, Steinmetz H, Pirschel J. Transcranial Doppler study of intracranial circulatory arrest. *J Neurosurg*. 1989;71(2):195–201.
28. Cardona P, Quesada H, Cano L, Campelacreu J, Escriu A, Mora P, et al. Oscillating transcranial Doppler patterns of brain death associated with therapeutic maneuvers. In: Bartels E, Bartels S, Poppert H, editor. *New Trends in Neurosonology and Cerebral Hemodynamics: Perspectives in Medicine*; 2012;321–4.