

Multimodal computed tomography of the brain

รศ.พญ.พรภัทร ธรรมสโรช

หน่วยประสาทวิทยา ภาควิชาอายุรศาสตร์
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Pornpatr A. Dharmasaroja, M.D.

Associate Professor in Neurology,
Division of Neurology, Department of
Internal Medicine, Faculty of Medicine,
Thammasat University

Corresponding author:

Pornpatr A. Dharmasaroja, M.D.,

Associate Professor in Neurology,
Division of Neurology, Faculty of Medicine,
Thammasat University, Klong 1,
Klong Luang, Pathumthani 12120,
Thailand,
Email: pornpatr1@hotmail.com

Abstract

Multimodal computed tomography comprised of non-contrast-enhanced computed tomography (NECT), perfusion computed tomography (CTP) and computed tomography angiography (CTA) has been increasingly used in research and clinical practice. CTP provides information about cerebral blood flow status. CTP parameters consist of cerebral blood volume (CBV), cerebral blood flow (CBF) and mean transit time (MTT). By gathering data from CTP parameters, penumbra and core infarct might be predicted. CTA provides information about vessel status, which may help in making decision about choices of treatment, such as intravenous thrombolysis or endovascular treatment, in patients with acute ischemic stroke. (*J Thai Stroke Soc* 2014; 13: 13-19.)

Keywords: Multimodal computed tomography, perfusion computed tomography, computed tomography angiography, penumbra, acute ischemic stroke

ปัจจุบันมีการนำ multimodal computed tomography brain มาใช้ประกอบในการดูแลผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลันมากขึ้น ดังนั้นประสาทแพทย์ควรมีความรู้ในการเลือกส่งตรวจและ/หรือแปลผลตรวจเบื้องต้นได้ในบทความนี้จะกล่าวถึงประโยชน์และหลักการแปลผล multimodal computed tomography เบื้องต้น

Multimodal CT brain

หมายความว่ารวมถึงการตรวจ non-contrast-enhanced computed tomography (NECT), perfusion CT ร่วมกับCT angiography (CTA) ซึ่งจะให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในหลายด้านต่างกัน ระยะเวลาในการตรวจและเห็นผลเบื้องต้นได้ภายใน 15 นาที

Non-contrast-enhanced computed tomography (NECT)

เป็นการตรวจที่จำเป็นในผู้ป่วยที่มีอาการและอาการแสดงสงสัยว่าจะเป็นโรคหลอดเลือดสมองระยะเฉียบพลัน เนื่องจากเป็นเครื่องตรวจที่ปัจจุบันมีการใช้อย่างกว้างขวางและเป็นการตรวจที่ทำได้และเห็นผลอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งก่อนการให้ยาละลายลิ่มเลือด ซึ่งการตรวจจะช่วยให้ข้อมูลว่าอาการผิดปกติดังกล่าวเกิดจากหลอดเลือดสมองแตกหรือไม่ อาจช่วยแยกว่าอาการดังกล่าวเกิดจากสาเหตุอื่นนอกเหนือจากโรคหลอดเลือดสมองหรือไม่ เช่น ก้อนเนื้ออกในสมอง และอาจเห็นรอยโรคสมองขาดเลือดในระยะแรก (early infarct signs) หรือหลอดเลือดสมองอุดตัน (hyperdense vessel sign) ได้

ลักษณะที่พบใน NECT ที่บ่งบอกถึง early infarct signs ได้แก่

- loss of distinction ระหว่าง nuclei ของ basal ganglia (lenticular obscuration) [รูปที่ 1]
- loss of gray-white distinction ระหว่าง cortex และ underlying white matter ที่ insula (insular ribbon sign) หรือที่ cortex ด้านบน (cortical ribbon sign)^{1,2} [รูปที่ 1]

การตรวจพบลักษณะความผิดปกติดังกล่าวสัมพันธ์กับขนาดของรอยโรค ความรุนแรงของการขาดเลือด และระยะเวลาตั้งแต่มีอาการจนถึงการตรวจ NECT โดยถ้าพบลักษณะ early infarct signs เร็วจะบ่งบอกถึงการขาดเลือดที่รุนแรง² มีการใช้ Alberta Stroke Program Early CT Scores (ASPECTS)³ ในการช่วยประเมินความรุนแรงของ early infarct signs



รูปที่ 1 ผู้ป่วยหญิงอายุ 65 ปี มีอาการแขนขาอ่อนแรงด้านขวาและไม่พูด 3 ชั่วโมงก่อนมาโรงพยาบาล NECT brain พบ early left middle cerebral artery infarct ซึ่งพบลักษณะ loss of distinction ระหว่าง nuclei ของ basal ganglia (lenticular obscuration) และ loss of gray-white distinction ระหว่าง cortex และ underlying white matter ที่ insula (insular ribbon sign)

ความผิดปกติที่ตรวจพบจาก NECT อาจช่วยบ่งถึงหลอดเลือดสมองอุดตันได้ เช่น hyperdense middle cerebral artery (MCA) sign² [รูปที่ 2] ซึ่งจะเป็นลักษณะ increased density ในหลอดเลือด MCA ส่วนต้น ช่วยบ่งถึง thrombosed MCA โดยเฉพาะถ้าตรวจพบในผู้ป่วยที่มีอาการเข้าได้กับ acute MCA infarct/ ischemia ด้านเดียวกับรอยโรค ความผิดปกติดังกล่าวมีความจำเพาะ (specificity) สูง แต่ความไว (sensitivity) ไม่สูงนัก เนื่องจากพบได้ใน 1/3 - 1/2 ของผู้ป่วยที่มีหลอดเลือด thrombosed MCA (ยืนยันจากการตรวจ angiography) อีกลักษณะความผิดปกติที่พบได้คือ hyperdense MCA 'dot' sign² ซึ่งจะบ่งถึงว่ามีลิ่มเลือดอยู่ในแขนงของ MCA (ความไว 38%, ความจำเพาะ 100%) ส่วนใหญ่ขนาดของลิ่มเลือดที่พบใน hyperdense MCA 'dot' sign จะเล็กกว่าที่พบใน hyperdense MCA sign และจากการศึกษาพบว่าผู้ป่วยที่พบ hyperdense MCA 'dot' sign จะมีผลการรักษาดีกว่าผู้ป่วยที่มี hyperdense MCA sign⁴



รูปที่ 2 ผู้ป่วยชายอายุ 70 ปี มีอาการแขนขาอ่อนแรงด้านซ้าย NECT brain พบ hyperdense middle cerebral artery (MCA) sign ที่ right M1 segment ของ MCA

นอกจากนี้ผลการศึกษาการให้ยาละลายลิ่มเลือดทางหลอดเลือดดำในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลันพบว่า การให้ยาดังกล่าวในผู้ป่วยที่ตรวจพบ early infarct ขนาดใหญ่ หรือมีลักษณะ mass effect แล้วนั้น จะเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดเลือดออกหลังจากการให้ยาละลายลิ่มเลือดทางหลอดเลือดดำถึง 8 เท่า⁵ ดังนั้นในกรณีที่พบ early infarct ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 1/3 ของ cerebral hemisphere จึงเป็นข้อห้ามในการให้ยาละลายลิ่มเลือดทางหลอดเลือดดำ²

CT Angiography (CTA)

CTA เป็นวิธีใช้ตรวจหลอดเลือดสมองทั้งในและนอกสมอง (intracranial/ extracranial vessels) ที่ non-invasive สามารถตรวจในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองได้ทั้งในระยะเฉียบพลัน หรือระยะเรื้อรัง ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับหลอดเลือดว่ามีอุดตัน หรือ ตีบที่ตำแหน่งไหนหรือไม่ การตรวจ CTA สามารถตรวจลักษณะความผิดปกติของหลอดเลือดใหญ่ที่มีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับการตรวจด้วย digital subtraction angiography (DSA) โดยมีความไว 92%-100% และความจำเพาะ 91%-100% ในการวินิจฉัยหลอดเลือดในสมองอุดตัน⁶ แต่เนื่องจาก CTA จะให้ภาพหลอดเลือดเป็นภาพนิ่ง (static images) ซึ่งจะเป็นข้อด้อยกว่า DSA ซึ่งสามารถบอก flow rate และทิศทางการไหลของเลือดได้ด้วย

ในการประเมินหลอดเลือดด้วย CTA ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลันนั้น นอกจากจะช่วยบอกถึง ตำแหน่งหลอดเลือดที่อุดตัน ความรุนแรงของหลอดเลือดที่ตีบ แล้วยังช่วยบอก collateral flow ในผู้ป่วยรายนั้นๆ ด้วย การที่ทราบถึงตำแหน่งหลอดเลือดที่อุดตันในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลันมีประโยชน์อาจช่วยเลือกวิธีการรักษาเพื่อเปิดหลอดเลือดที่เหมาะสมกับผู้ป่วยนั้นๆ ได้ มีการศึกษาพบว่า การให้ยาละลายลิ่มเลือดทางหลอดเลือดดำสามารถเปิดหลอดเลือดได้ 44%, 30%, 30%, 27% และ 6% ในกรณีที่ตำแหน่งอุดตันอยู่ที่ M2 segment ของ MCA, basilar artery, M1 segment ของ MCA, tandem internal carotid-MCA และ terminal internal carotid artery ตามลำดับ ปัจจุบันมีการรักษาด้วย endovascular treatment (ได้แก่ intraarterial thrombolysis, mechanical thrombectomy ด้วย stent หรือ coil retrievers) มากขึ้น ซึ่งการรักษาดังกล่าวพบว่าสามารถเปิดหลอดเลือดใหญ่ที่อุดตันได้ดีกว่าการให้ยาละลายลิ่มเลือดทางหลอดเลือดดำ ดังนั้นการที่ทราบตำแหน่งและความรุนแรงของหลอดเลือดที่มีปัญหาอาจช่วยให้แพทย์เลือกวิธีการรักษาที่เหมาะสมกับผู้ป่วยรายนั้นๆ ได้ถูกต้อง

Perfusion CT

ผลการศึกษาในระยะหลังพบว่าข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่ง ขนาดและความรุนแรงของสมองที่ขาดเลือดในระยะเฉียบพลันมีความสำคัญหรืออาจเทียบเท่ากับความต้องการรู้ระยะเวลาที่สมองขาดเลือดเลย ในการที่จะช่วยพยากรณ์ผลการรักษาและอาจช่วยในการตัดสินใจวิธีหรือแนวทางการรักษาผู้ป่วยอีกด้วย การที่พบลักษณะขาดเลือด แต่ยังไม่ตาย หรือ penumbral tissue จะเป็นเป้าหมายสำคัญที่จะให้การรักษาเพื่อเปิดหลอดเลือดที่อุดตัน (recanalization และ reperfusion) หรือการให้ยากลุ่ม neuroprotection เพื่อหวังผลรักษาเพื่อช่วยให้สมองส่วนที่ขาดเลือดฟื้นกลับมาเป็นปกติอีกครั้ง อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าผลการตรวจ perfusion CT มีประโยชน์ แต่การตรวจดังกล่าวไม่ควรทำให้ระยะเวลาที่ให้การรักษาด้วยยาละลายลิ่มเลือดหรือเปิดหลอดเลือดช้าออกไป ดังนั้นควรมีการจัดตั้งระบบการทำงาน (care pathway) อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ผู้เขียนได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ multimodal CT ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลันที่โรง

พยาบาลธรรมชาติศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ พบว่าใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 12 นาทีในการตรวจ multimodal CT และเห็นผลเบื้องต้น

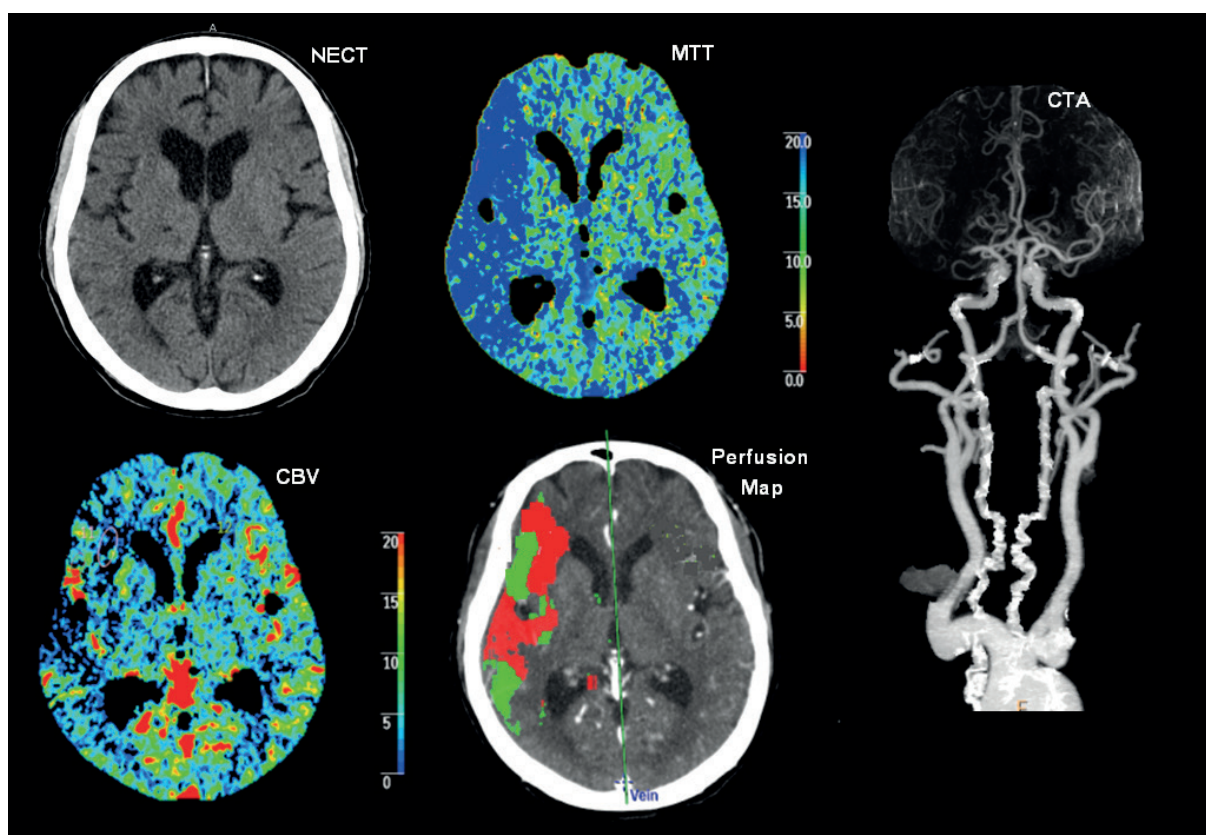
Brain perfusion imaging จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ regional cerebral hemodynamics จาก parameters ต่างๆ ใน perfusion CT จะใช้ข้อมูลที่ได้จาก cerebral blood flow (CBF), cerebral blood volume (CBV) และ mean transit time (MTT) มาประมวลผลและให้ข้อมูลว่าสมองบริเวณไหน ขาดเลือด (penumbra) หรือ บริเวณไหนน่าจะตายไปแล้ว (infarct)

ข้อดีของ perfusion CT เมื่อเทียบกับ perfusion MRI คือ มีเครื่อง CT ใช้แพร่หลายมากกว่า ใช้เวลาในการตรวจเร็วกว่า และข้อห้ามในการตรวจ CT น้อยกว่า แต่ข้อเสียคือมีความเสี่ยงจาก ionizing radiation และ contrast-induced nephropathy การศึกษาของ Hopyan JJ และคณะ⁷ เกี่ยวกับการเกิด contrast-induced nephropathy (CIN) ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะเฉียบพลันที่ได้รับการทำ CTA และ perfusion CT 198 คน พบว่าเกิด CIN ในผู้ป่วยร้อยละ 2 แต่ไม่มีผู้ป่วยที่

ติดตามแล้วเป็นโรคไตเรื้อรังหรือจำเป็นต้องทำ dialysis ข้อจำกัดอีกอย่างของ perfusion CT คือ limited brain coverage (ข้อมูล regional cerebral hemodynamics ที่ได้จากบางส่วนของสมอง เช่น สมองส่วน supratentorial หนา 4 (4-8 cuts of CT) เซนติเมตร) โดยเฉพาะเครื่อง CT รุ่นเก่า แต่ถ้าใช้เครื่องรุ่นใหม่ 256-slice CT หรือ 320-slice CT สามารถดูได้ทั้งสมอง (whole-brain coverage)

Perfusion CT Parameters หลักๆ ที่ควรรู้ ได้แก่

1. Cerebral blood flow (CBF) จะวัดปริมาณเลือดที่วิ่งผ่านสมองในเวลาที่กำหนด หรือ ปริมาณเลือด (ซีซี)/ เนื้อสมอง 100 กรัม/ นาที โดย $CBF = CBV / MTT$
2. Cerebral blood volume (CBV) จะวัดปริมาณเลือดที่ผ่านสมอง หรือ เท่ากับ ปริมาณเลือด (ซีซี) / เนื้อสมอง 100 กรัม
3. Mean transit time (MTT) วัดเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการที่เลือดผ่านเนื้อสมองปริมาณที่กำหนด [รูปที่ 3]



รูปที่ 3 ผู้ป่วยชายอายุ 75 ปี มีอาการแขนขาอ่อนแรงขณะเล่นกอล์ฟ 2 ชั่วโมงก่อนมาโรงพยาบาล, CTP shows increased MTT at right frontal, parietal and temporal area, corresponding to right MCA territory. CBV map shows decreased CBV at right temporal lobe, some part of right frontal lobe. Area of MTT/CBV mismatch could represent penumbra as shown as green in the perfusion map. CTA reveals right M1 segment of MCA occlusion.

ในภาวะปกติ CBF และ CBV ในเนื้อสมองส่วน gray matter จะสูงกว่าที่ white matter ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลัน ความรุนแรงของ

การขาดเลือดในสมองต่างกัน ภาพ perfusion CT ในแต่ละ parameters จะพบต่างกันดังตารางข้างล่าง

	MTT	CBF	CBV	NECT
Penumbra	Increased	Decreased	Normal or mildly increased	Normal findings or minimal brain swelling
Infarct	increased	Markedly decreased	Markedly decreased	Hypoattenuating parenchyma

ปัจจุบันมีการพัฒนา computer-automated generation of penumbra maps ซึ่งจะช่วยให้การประเมินบริเวณ penumbra และ infarct ง่ายขึ้น โดยตั้งค่าจุดตัดค่าผิดปกติ (threshold) ของ parameters ปัจจุบันแต่ละการศึกษาใช้ threshold ต่างกันเล็กน้อย ส่วนใหญ่ MTT threshold ที่ใช้คือ increased MTT มากกว่า 145% หรือ 150% ที่จะบ่งบอกถึง penumbra (บริเวณสีเขียวจาก perfusion map) และ CBV threshold ที่ต่ำกว่า 2 ซีซี/100 กรัม/ นาที ที่จะบ่งถึง infarct (บริเวณสีแดงจาก perfusion map)

การศึกษา systemic review⁸ ซึ่งได้รวบรวมและวิเคราะห์ 15 การศึกษา (จำนวนผู้ป่วยทั้งหมด 1,107 คน) เพื่อประเมินความแม่นยำในการวินิจฉัยสมองขาดเลือดในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลันพบว่า perfusion CT มีความไว 80% และความจำเพาะ 95% ในการวินิจฉัยบริเวณสมองขาดเลือดโดยประมาณ 2/3 ของ false negative studies พบใน small infarcts, subcortical infarcts หรือตำแหน่งของ infarct ไม่ได้อยู่ในบริเวณที่ตรวจ (limited coverage of perfusion CT)

นอกจากนี้ในการแปลผลความผิดปกติจาก perfusion CT ให้ระวังในกรณีที่ผู้ป่วยมี ลักษณะ small vessel disease อยู่เดิม ซึ่งอาจทำให้พบ decreased CBV โดยพบ MTT ปกติในบริเวณดังกล่าวได้⁹ หรือในผู้ป่วยที่มี chronic infarct หรือมี extracranial/ intracranial significant stenosis หรือ old occlusion อยู่เดิมก็อาจทำให้แปลผล acute infarct / penumbra ผิดไปได้ ดังนั้นควรดูภาพจาก NECT เพื่อดูร่องรอยจาก chronic infarct หรือ small vessel disease เดิม เพื่อ

ช่วยในการแปลผล perfusion CT ด้วย หรือในกรณีที่ มี vasospasm ผล perfusion CT อาจพบลักษณะเหมือน penumbra ได้ หรือในผู้ป่วยที่ชัก status epilepticus หรือ มี postictal paralysis, perfusion CT อาจพบลักษณะเหมือนที่พบใน acute stroke ได้ คือ asymmetry perfusion โดยที่บริเวณ ictal area จะพบลักษณะ hyperperfusion¹⁰ ซึ่งทำให้เข้าใจผิดได้ว่าด้านตรงข้ามขาดเลือดได้ ดังนั้นในผู้ป่วยที่สงสัย non-convulsive status epilepticus อาจต้องตรวจคลื่นสมองเพื่อช่วยวินิจฉัยชักร่วมด้วย

ในส่วนของการ Clinical application ของ perfusion CT นั้น ปัจจุบันมีข้อมูลการศึกษาเพิ่มขึ้น โดยการศึกษาหนึ่งพบว่าปริมาณสมองตาย (infarct volume) ที่วินิจฉัยจากการตรวจ perfusion CT ตั้งแต่ระยะแรกสัมพันธ์กับ final infarct volume และผลการรักษาของผู้ป่วย โดยถ้าพบ infarct core มากกว่า 100 ซีซี ตั้งแต่แรก สามารถช่วยพยากรณ์โรคได้ว่าผลการรักษาในผู้ป่วยรายนั้นไม่ดี (predictive value 100%)¹¹ หรือในกรณีที่ perfusion CT พบ infarct core ใหญ่ โดยไม่มี penumbra เหลืออยู่ ควรหลีกเลี่ยงการให้ยาละลายลิ่มเลือดเนื่องจากอาจจะไม่ช่วยเรื่องการฟื้นตัวแล้ว ยังเพิ่มความเสี่ยงของเลือดออกในสมองตามมาอีกด้วย แต่ก็ยังไม่มีผลการศึกษาที่บอกว่าควรมีปริมาณ penumbra เหลืออยู่เท่าไร การรักษาจะได้ผลดี หรือมีปริมาณ infarct core เท่าไรที่การรักษาเพื่อเปิดหลอดเลือดในผู้ป่วยรายนั้นยังอาจจะได้ผลดี ปัจจุบันมีการศึกษานำ perfusion CT มาศึกษาในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลันที่ไม่ทราบเวลาเกิดเหตุชัดเจน เช่น มีอาการตั้งแต่ตื่นนอน (wake-up stroke) ว่าในผู้ป่วยดังกล่าวมี penumbra/ infarct

core ปริมาณเท่าไร ซึ่งผู้ป่วยดังกล่าวบางคนอาจจะยังได้ประโยชน์จากการรักษาเพื่อหวังผลเปิดหลอดเลือด (reperfusion therapy) ได้

American Stroke Association² ได้ให้คำแนะนำว่า การตรวจ perfusion CT หรือ MRI perfusion และ diffusion imaging รวมถึงการวัด infarct core และ penumbra อาจมีประโยชน์เพื่อช่วยในการเลือกผู้ป่วยที่จะได้รับการรักษา acute reperfusion therapy ในกรณีผู้ป่วยมาเกินระยะเวลาที่จะให้ยาละลายลิ่มเลือดทางหลอดเลือดดำได้ และการตรวจดังกล่าวอาจช่วยให้การวินิจฉัยโรค กลไกการเกิดโรค และความรุนแรงของโรคหลอดเลือดสมอง ซึ่งจะให้ข้อมูลช่วยในการตัดสินใจในการรักษาผู้ป่วยได้ (Class IIb, Level of Evidence B)

สรุป

Multimodal CT เข้ามามีบทบาทมากขึ้น ปัจจุบันการตรวจดังกล่าวสามารถทำได้ในประเทศไทย และสามารถทำได้ในเวลาอันรวดเร็ว มีการนำมาใช้เวชปฏิบัติมากขึ้น ซึ่งจะมีประโยชน์มากโดยเฉพาะเลือกส่งในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลันที่สงสัยว่ามี acute large middle cerebral infarct ซึ่งผู้ป่วยเหล่านี้เป็นผู้ป่วยกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงที่จะพิการถ้าไม่ได้รับการรักษาอย่างทันท่วงทีและก็มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดเลือดออกในสมองตามหลังการให้ยาละลายลิ่มเลือดทางหลอดเลือดดำ ดังนั้นข้อมูลที่จะได้จาก perfusion CT เพื่อดูว่ามี penumbra เหลืออยู่เท่าไร หรือ infarct ไปมากแล้วหรือยัง รวมถึงข้อมูลจาก CTA ว่ามีหลอดเลือดตำแหน่งไหนอุดตัน มี collateral เพียงพอหรือไม่ จะช่วยตัดสินใจเลือกวิธีการรักษาที่เหมาะสมกับผู้ป่วยรายนั้นๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

1. Von Kummer R, Meyding-Lamade U, Forsting M, et al. Sensitivity and prognostic value of early CT in occlusion of the middle cerebral artery trunk. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994;15:9-15.
2. Jauch EC, Saver JL, Adams HP, et al. Guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: A guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/ American Stroke Association. *Stroke* 2013;44:870-947.
3. Barber PA, Demchuk AM, Zhang J, et al. Validity and reliability of a quantitative computed tomography score in predicting outcome of hyperacute stroke before thrombolytic therapy: ASPECTS Study Group: Alberta Stroke Programme Early CT Score. *Lancet* 2000;355:1670-4.
4. Barber PA, Demchuk AM, Hudon ME, et al. Hyperdense sylvian fissure MCA 'dot' sign: a CT marker of acute ischemia. *Stroke* 2001;32:84-8.
5. The National Institute of Neurological Disorders and Stroke rt-PA Stroke Study Group. Tissue plasminogen activator of acute ischemic stroke. *N Engl J Med* 1995;333:1581-7.
6. Skutta B, Furst G, Eilers J, et al. Intracranial stenooclusive disease: double-detector helical CT angiography versus digital subtraction angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999;20:791-9.
7. Hopyan JJ, Gladstone DJ, Mallia G, et al. Renal safety of the CT angiography and perfusion imaging in the emergency evaluation of acute stroke. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008;29:1826-30.
8. Biesbroek JM, Niesten JM, Dankbaar JW, et al. Diagnostic accuracy of CT perfusion imaging for detecting acute ischemic stroke: A systemic review and meta-analysis. *Cerebrovasc Dis* 2013;35:493-501.
9. Lui YW, Tang ER, Allmendinger AM, et al. Evaluation of CT perfusion in the setting of cerebral ischemia: patterns and pitfalls. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010;31:1552-63.
10. Royter V, Paletz L, Waters MF. Stroke vs status epilepticus: a case report utilizing CT perfusion. *J Neurol Sci* 2008;266:174-6.
11. Lev MH, Segal AZ, Farkas J, et al. Utility of perfusion-weighted CT imaging in acute middle cerebral artery stroke treated with intra-arterial thrombolysis: prediction of final infarct volume and clinical outcome. *Stroke* 2001;32:2021-28.

บทคัดย่อ

มัลติโมดอลเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สมองประกอบด้วย การตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สมองโดยไม่ฉีดสารทึบแสง เอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพอร์ฟิวชัน และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์หลอดเลือด มีการใช้เพิ่มขึ้นในการวิจัยและในเวชปฏิบัติ เอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพอร์ฟิวชันจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณและการไหลเวียนของเลือดไปเลี้ยงสมอง โดยจะมีตัววัดต่างๆดังนี้ วัดปริมาณเลือดไปเลี้ยงสมอง การไหลเลือดไปเลี้ยงสมอง และระยะเวลาของเลือดที่ไปถึงสมองบริเวณต่างๆ ข้อมูลตัววัดต่างๆเหล่านี้จะถูกรวบรวมและวิเคราะห์ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงบริเวณขาดเลือดและบริเวณสมองตาย ส่วนเอกซเรย์คอมพิวเตอร์หลอดเลือดจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับหลอดเลือดว่ามีการตีบหรืออุดตันหรือไม่ ความรุนแรงและตำแหน่งของหลอดเลือดที่ตีบ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะช่วยให้แพทย์เลือกการรักษาผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองขาดเลือดระยะเฉียบพลันที่เหมาะสมต่อไป