

Thai J Neurological Surg 2026: 17(2): 121-128

บทความปริทัศน์/Review Article

ภาวะเลือดไปเลี้ยงสมองมากเกินไปหลังการผ่าตัด ต่อหลอดเลือดสมองในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองโมยาโมยา

ภักพณร์ ยังสมิทธิ์, ชานน อริยประกาย, อิศร ภูมิเนาว์นิล, อติเทพ มงคลรัตน์นันต์

หน่วยประสาทศัลยศาสตร์, ภาควิชาศัลยศาสตร์, คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล,
มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช, กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

บทคัดย่อ

Moyamoya disease (MMD) คือภาวะที่มีการตีบหรือตันของหลอดเลือดแดง internal carotid artery (ICA) ที่บริเวณส่วนปลาย หรือ middle cerebral artery (MCA) หรือ anterior cerebral artery (ACA) ซึ่งทำให้ผู้ป่วยมีอาการได้ทั้งภาวะสมองขาดเลือด (cerebral ischemia) หรือ ภาวะเลือดออกในช่องกะโหลกศีรษะ (intracranial hemorrhage) การรักษาที่เป็นมาตรฐานในปัจจุบันคือการต่อหลอดเลือดสมอง (direct bypass) เชื่อมระหว่าง superficial temporal artery (STA) และ middle cerebral artery (MCA) ร่วมกับการทำ indirect bypass ซึ่งภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญของการทำ direct bypass คือภาวะเลือดไปเลี้ยงสมองมากเกินไป (cerebral hyperperfusion syndrome; CHS) ทำให้มีอาการหลังการผ่าตัดได้ตั้งแต่ ปวดศีรษะ, ภาวะชัก, ความผิดปกติทางระบบประสาท, หรือ ภาวะความรู้สึกตัวผิดปกติ โดยปัจจุบันยังไม่มีแนวทางการจัดการภาวะ CHS ที่ชัดเจนทั้งการวินิจฉัยและการรักษา ทางผู้เขียนและคณะจึงได้รวบรวมลักษณะอาการ, ปัจจัยเสี่ยง, แนวทางการวินิจฉัย, การรักษา, และการป้องกันเอาไว้ในบทความฉบับนี้

Keywords: ภาวะเลือดไปเลี้ยงสมองมากเกินไป, การผ่าตัดต่อหลอดเลือดสมอง, โรคหลอดเลือดสมองโมยาโมยา, ภาวะหลอดเลือดสมองตีบ

Received: March 26, 2026 | Revised: May 5, 2026 | Accepted: May 6, 2026

*Corresponding Author: Pakapon Yangsamit

Email: pakapon.yan@nmu.ac.th

Thai J Neurological Surg 2026: 17(2): 121-128

บทความปริทัศน์/Review Article

Cerebral hyperperfusion syndrome after STA-MCA bypass in moyamoya disease

Pakapon Yangsamit, Chanon Ariyaprakai, I-sorn Phoominaonin, Atithev Mongkolratnan

*Division of Neurosurgery, Department of surgery, Faculty of Medicine Vajira Hospital,
Navamindradhiraj University, Bangkok Thailand*

Abstract

Moyamoya disease (MMD) is a condition characterized by stenosis or occlusion of the internal carotid artery (ICA) at its bifurcation into the middle cerebral artery (MCA) and anterior cerebral artery (ACA). Patients may present with either cerebral ischemia or intracranial hemorrhage. The current standard treatment is cerebral revascularization surgery using direct bypass between the superficial temporal artery (STA) and the middle cerebral artery (MCA), often combined with indirect bypass procedures. One of the major complications of direct bypass surgery is cerebral hyperperfusion syndrome (CHS), which results from excessive cerebral blood flow following the operation. Clinical manifestations may occur immediately after surgery and include headache, seizures, neurological deficits, or altered consciousness. At present, there are still no clearly established guidelines for the diagnosis and management of CHS. Therefore, the authors reviewed the clinical manifestations, risk factors, diagnostic approaches, treatment, and prevention strategies of CHS in this article.

Keywords: Cerebral hyperperfusion syndrome; STA-MCA bypass, Direct bypass; Moyamoya disease; Intracranial Internal carotid artery stenosis

Received: March 26, 2026 | Revised: May 5, 2026 | Accepted: May 6, 2026

*Corresponding Author: **Pakapon Yangsamit**

Email: pakapon.yan@nmu.ac.th

บทนำ

Moyamoya disease (MMD) คือภาวะที่มีการตีบหรือตันของหลอดเลือดแดง internal carotid artery (ICA) ที่บริเวณส่วนปลาย หรือ middle cerebral artery (MCA) หรือ anterior cerebral artery (ACA) ซึ่งทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการได้ทั้ง cerebral ischemia ที่มักพบในเด็กเนื่องจากหลอดเลือดสมองยังเชื่อมกันได้ดี หรือ intracranial hemorrhage ซึ่งมักพบมากกว่าในผู้ใหญ่ซึ่งเกิดจากการฉีกขาดของหลอดเลือดชั้นใน (intimal tear)¹⁻⁴

การรักษา MMD ที่เป็นมาตรฐานในปัจจุบัน คือการต่อหลอดเลือดสมอง (direct bypass) เชื่อมระหว่าง superficial temporal artery (STA) และ MCA หรือที่เรียกว่า STA-MCA bypass ร่วมกับการทำ indirect bypass ได้แก่ encephaloduroarteriosynangiosis (EDAS) หรือ encephaloduroarteriosynangiosis (EDMS) ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดสมองขาดเลือดและเลือดออกในสมองจาก MMD ได้⁵⁻⁸

ถึงแม้การรักษาด้วย STA-MCA bypass จะได้ผลดี แต่ภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญหลังการทำ STA-MCA bypass คือภาวะ cerebral hyperperfusion syndrome (CHS) ซึ่งมักทำให้เกิดความพิการจากภาวะสมองขาดเลือดหรือเลือดออกในสมองหลังผ่าตัดตามมาหากไม่ได้รับการวินิจฉัยและการรักษาที่ถูกต้อง

อาการแสดงและปัจจัยเสี่ยงของการเกิด CHS

CHS สามารถมีอาการแสดงได้หลายรูปแบบตั้งแต่ปวดศีรษะ, ภาวะชัก, ความผิดปกติทางด้านภาษา, อ่อนแรงครึ่งซีกหรือชาครึ่งซีก ซึ่งมีลักษณะอาการแสดงคล้ายภาวะสมองขาดเลือด, เลือดออกในเนื้อสมอง, หรือเลือดออกใต้เยื่อหุ้มสมองชั้น arachnoid โดยอาการส่วนมากมักเป็นชั่วคราว และสามารถหายเองได้^{2, 9-13}

Yu และคณะ ได้ทำการศึกษาพบว่า อาการที่พบได้มากที่สุด ใน CHS คือ transient neurological deficits (TNDs) ซึ่งพบได้ 70.2% ของอาการแสดงทั้งหมด¹³

อัตราการเกิด CHS และช่วงเวลาของการเกิด CHS จากงานวิจัยต่างๆ มีดังนี้ Shi และคณะ พบว่า อัตราการเกิด CHS พบได้ 7.5% และมักเกิดภายใน 2 วันหลังจากการทำ direct revascularization⁹ ขณะที่ Fujimura และคณะ พบว่า อัตราการเกิดของ CHS สูงถึง 27.5% และมักเกิดภายใน 9 วัน

หลังจากการทำ direct revascularization¹⁰, Pang และคณะ พบว่า อัตราการเกิดของ CHS คือ 4.7% และทุกเคสเกิดภายใน 4 วันหลังการทำ direct revascularization¹², Yu และคณะ พบว่าอัตราการเกิดของ CHS อยู่ที่ 16.5%¹³

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยเสี่ยงในการเกิด CHS ดังที่ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งผลการศึกษาของ Fujimura และคณะ พบว่า adult onset MMD (อายุ > 16 ปี), อาการแสดงด้วยภาวะเลือดออกในสมอง เป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิด CHS หลังทำ direct revascularization¹⁰, ขณะที่ Shi และคณะ พบว่าความหนาแน่นของหลอดเลือด moyamoya และการผ่าตัดสมองด้านซ้ายเป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิด CHS⁹, Nishizawa และคณะ พบว่าความเสี่ยงในการเกิด CHS คือ hemispheric MRA score > 3.5 คะแนน มีความเสี่ยงในการเกิด CHS หลังผ่าตัดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ¹¹, Bai และคณะ พบว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ STA และ MCA หลังผ่าตัดที่มากเป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิด CHS¹⁴, Yu และคณะ พบว่าปัจจัยเสี่ยงในการเกิด CHS ที่สำคัญ คือ adult onset MMD¹³

Pathophysiology of CHS

- ปัจจุบันยังไม่มี pathophysiology ที่ชัดเจนของ CHS มีการศึกษาพบว่าผู้ป่วยที่มี CHS มี cerebral blood flow และ cerebral autoregulation ที่ผิดปกติจากการที่ผู้ป่วยอยู่ในสภาวะสมองขาดเลือดเป็นเวลานาน ทำให้สมองไม่สามารถปรับตัวกับการเปลี่ยนแปลงของ hemodynamic ที่เกิดขึ้นได้^{2, 15}

- อีก pathophysiology ที่สำคัญคือการเพิ่มขึ้นของ oxygen free radical ซึ่งเกิดจากการ reperfusion หลังการทำ direct revascularization ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ vascular permeability ซึ่งส่งเสริมการเกิด CHS^{16, 17} มีการศึกษาพบว่า matrix metalloproteinase-9 (MMP-9) ที่มีปริมาณมากขึ้นในผู้ป่วยที่เป็น MMD และ MMP-9 มีส่วนในการทำให้เกิดสมองบวมและเลือดออกในเนื้อสมองหลังจาก reperfusion injury^{17, 18}

ภาพถ่ายทางรังสีที่ใช้ในการวินิจฉัย CHS (Imaging for CHS)

- Computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), magnetic resonance

angiography (MRA) สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงของสมอง และสามารถเป็น indirect evidence ของ CHS ได้ เช่น การมี cerebral edema ที่เกิดบริเวณ anastomosis site, การมี new onset of intracranial hemorrhage (ICH) หรือ subarachnoid hemorrhage (SAH) ใกล้กับบริเวณที่เป็น anastomosis และ MRA, computed tomography angiography (CTA) สามารถบอกได้ว่า bypass graft ยังมีเลือดวิ่งหรือไม่และบ่งบอกคุณภาพของ bypass graft ได้

- Positron emission tomography (PET) เป็นภาพถ่ายทางรังสีที่ใกล้เคียงกับ gold standard ในการวินิจฉัย CHS ที่สุดในปัจจุบันสามารถบอก cerebral blood flow, cerebrovascular reserve ได้ แต่มีไม่กี่โรงพยาบาลที่สามารถทำได้ และไม่สามารถทำได้ตลอดเวลา

- Single photon emission computed tomography (SPECT) สามารถบอก cerebral blood flow และ cerebrovascular reserve ได้ สามารถทำได้ทันที แต่ไม่สามารถบอก selective arterial perfusion ได้ และยังไม่ได้มีทุกโรงพยาบาล

- CT perfusion และ MR perfusion สามารถบอก cerebral blood flow ได้ และสามารถประมาณ cerebrovascular reserve ได้ ซึ่งทั้งสองวิธีมีการใช้งานที่แพร่หลาย

กว่า SPECT แต่มีข้อด้อยคือไม่สามารถทำ selective arterial perfusion ได้

- Doppler flowmetry สามารถประเมินความเสี่ยงในการเกิด CHS ได้โดยการเปรียบเทียบ cerebral blood flow (CBF) หลังผ่าตัดเทียบกับก่อนผ่าตัด^{2, 19}

การวินิจฉัย CHS หลังการผ่าตัด STA-MCA bypass ในผู้ป่วย moyamoya disease

การวินิจฉัย CHS สามารถทำได้ต่อเมื่อคนไข้มีอาการแสดงของ CHS ร่วมกับมี imaging findings ดังนี้

1. มีการเพิ่มของ CBF บริเวณที่ทำการต่อหลอดเลือดอย่างมีนัยสำคัญซึ่งวัดโดยการทำ PET scan, SPECT, CT perfusion ปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์ค่าที่แน่นอนในการวินิจฉัยในบางการศึกษาใช้ 100%, บางการศึกษาใช้ 150%

2. มีภาพถ่ายทางรังสีที่บ่งบอกว่าไม่มีการอุดตันหรือตีบของหลอดเลือดที่ทำการ bypass (vascular imaging เช่น MRA หรือ CTA)

3. ไม่พบความผิดปกติจากภาพถ่ายทางรังสีที่อธิบายอาการของคนไข้ เช่น สมองขาดเลือด, เลือดออกในเนื้อสมอง, กล้ามเนื้อ temporalis กดเบียดเนื้อสมอง^{2, 9-11}

ตารางที่ 1 Risk factors of postoperative cerebral hyperperfusion syndrome after STA-MCA bypass in MMD9-13

	Patients	Method	Results
Fujimura et al. ¹⁰	• 58 patients • 80 hemispheres	• Prospective • I-IMP-SPECT POD1, 7	• Adult onset(age> 16) • Hemorrhagic onset moyo-moya disease
Nishizawa et al. ¹¹	• 83 patients • 97 hemispheres	• Prospective • I-IMP SPECT POD1, 7	• Hemispheric MRA score > 3.5
Pang et al. ¹²	• 223 patients • 277 hemispheres	• Retrospective • RAPID perfusion CT (pre op)	• Advanced age(> 43.5 yrs) • Tmax > 6 sec(AUC>80.5 ml)
Shi et al. ⁹	• 160 patients	• Retrospective • DSA(moya vessel group) • CTP(CBV, CBF, MTT, TTP)	• Lt hemisphere • Dense moya vessel
Yu et al. ¹³	• 2225 patients • 27 cohort studies	• Meta-Analysis • SPECT, MRI, CT perfusion	• Adult onset moyo-moya disease

I-IMP-SPECT= Single-photon emission computed tomography with N-isopropyl[123I]-p-iodoamphetamine; POD = Postoperative day; RAPID = Rapid Processing of Perfusion and Diffusion CT software; Tmax = Time to maximum; AUC = Area under the curve; DSA = Digital Subtraction Angiography; CBV = Cerebral blood volume; MTT = Mean transit time; TTP = Time to peak , CBF = Cerebral blood flow

การรักษาและการป้องกันภาวะ CHS หลังการผ่าตัด STA-MCA bypass ในผู้ป่วย moyamoya disease

การรักษาปัจจุบันของ CHS หลังการผ่าตัด STA-MCA bypass ในผู้ป่วย moyamoya disease ได้แก่การควบคุมความดันโลหิต (intensive blood pressure control), การให้ยาในกลุ่ม free radical scavenger และการรักษาประคับประคองอื่นๆ

- การควบคุมความดันโลหิต (ntensive blood pressure control) ในปัจจุบันยังไม่มีตัวเลขหรือแนวทางการปฏิบัติที่ชัดเจนสำหรับการควบคุมความดันโลหิต ทางคณะผู้ประพันธ์จึงได้รวบรวมแนวทางการทำ intensive blood pressure control ไว้ดังตารางที่ 2 โดย Fujimura และคณะ ได้ทำการศึกษาพบว่า คนไข้ที่มีอาการของ symptomatic CHS เมื่อได้รับการทำ intensive blood pressure lowering <130 mmHg ช่วยทำให้อาการแสดงของ CHS ลดลงและช่วยลดอัตราการเกิดของ CHS โดยที่ไม่ได้เพิ่มอัตราการเกิดสมองขาดเลือด²⁰, Justin และคณะ แนะนำให้ควบคุมความดันระหว่าง 100-120 mmHg²¹, Uno และคณะ แนะนำ

ให้ควบคุมความดันระหว่าง 120-140 mmHg²² ส่วนระยะเวลาของการทำ intensive blood pressure control ยังไม่ได้มีแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน โดย Fujimura และคณะ ได้ทำการ intensive blood pressure control เป็นเวลา 7 วันหลังจากนั้น ทำ SPECT หลังการผ่าตัดในวันที่ 7 ถ้ายังมีลักษณะ imaging ของ CHS อยู่จะทำ intensive blood pressure control ต่อ หาก imaging ไม่มีลักษณะของ CHS จึงควบคุมความดันในค่าปกติ (systolic blood pressure 150-160 mmHg)²⁰

- Kawamata และคณะ ได้ทำการศึกษาโดยการทำ continuous strict blood pressure control under propofol sedation ทันทีหลังจากการผ่าตัด พบว่าสามารถควบคุมความดันได้ง่ายกว่า และมีอัตราการเกิด CHS น้อยลง²⁴

- การให้ยาในกลุ่ม free radical scavenger ได้แก่ยา edavarone และ minocycline พบว่ายา edavarone มีกลไกช่วยยับยั้งการทำงานของ lipid peroxidase และช่วยลด endothelial injury ซึ่งอาจช่วยบรรเทาภาวะ CHS ได้ แต่ยังไม่ได้มีได้แนวทางการปฏิบัติที่ชัดเจน^{10, 20, 25}

ตารางที่ 2 แนวทางการทำ intensive blood pressure control

	BP control	Others medication	Duration
Justin et al. ²¹	SBP 100-120 mmHg	-	-
Uno et al. ²²	SBP 120-14- mmHg	Glycerol, Steroids	-
Fujimara et al. ²⁰	SBP <130 mHg	ASA 100 mg OD	• If SPECT POD1 +hyperperfusion Keep SBP<120 mmHg • After POD7 return to normotensive
Fumihira et al. ²³	SBP <120 mmHg	IV Edavarone(free radical scavenger)	
Nishizawa et al. ¹¹	SBP 110-130 mmHg	IV minocycline ASA 100 mg OD Keppra 1000mg /Day Edavarone 60mg/day	• Until POD7 • Gradually return to normotensive within POD10
Pang et al. ¹²	SBP 100-140 mmHg If patients had hypertension keep SBP 120-150 mmHg	Keep Hb >10g/dl	

BP: Blood pressure; SBP: Systolic blood pressure; ASA: Aspirin; POD: Postoperative day; IV: Intravenous; ^{11, 12, 20-23}

ยา minocycline เป็นยาปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ free radical scavenger ร่วมด้วย Fujimura และคณะ พบว่าการให้ยา minocycline ทางหลอดเลือดดำ 200 mg/day ช่วยลดการเกิด focal neurological deficits เนื่องจาก CHS ได้อย่างมีนัยยะสำคัญ^{18, 25}

- การรักษาประคับประคองโดยทั่วไป เช่น การให้ยากันชัก หรือการให้ยาขับปัสสาวะเพื่อลดอาการสมองบวม
- การทำ barbiturate coma เพื่อลด cerebral metabolic rate โดยการรักษาประคับประคองเหล่านี้ยังไม่ได้มีหลักฐานเชิงประจักษ์ หรือแนวทางการปฏิบัติที่ชัดเจน^{2, 20}

เทคนิคการผ่าตัดที่ช่วยลดภาวะ: CHS

Hu และคณะ ได้ศึกษาการทำ flow controlled STA-MCA anastomosis โดยการ 1) เลือกหลอดเลือด donor ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง >1 mm และมีความยาว >10 cm, 2) เลือกหลอดเลือด recipient ที่มี flow velocity ใกล้เคียงกับ donor มากที่สุด และ 3) เลือก recipient artery ใกล้เคียง 1 mm ที่สุดและทำ arteriotomy ยาวน้อยกว่า 1.2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของ recipient artery พบว่าการทำ

flow controlled STA-MCA anastomosis ช่วยลดการเกิด CHS ได้อย่างมีนัยยะสำคัญ²⁶

บทสรุป

ภาวะ CHS ภายหลังการผ่าตัดต่อหลอดเลือดสมองแบบ STA-MCA bypass ในผู้ป่วย MMD พบได้ประมาณ 4.7-27.5% โดยมีอาการ transient neurological deficit เกิดขึ้นภายใน 9 วันหลังผ่าตัด และอาจรุนแรงถึงขั้นมีเลือดออกในสมองและเกิด permanent neurological deficit ได้หากไม่ได้รับการวินิจฉัยและรักษาที่รวดเร็วและถูกต้อง ปัจจัยเสี่ยงของการเกิดภาวะ CHS ได้แก่ adult onset MMD (อายุ > 16 ปี), การมีภาวะเลือดออกในสมองตั้งแต่ก่อนผ่าตัด, การผ่าตัดสมองด้านซ้าย และ hemispheric MRA score >3.5 การวินิจฉัยภาวะ CHS อาศัยการมีอาการแสดงที่เข้าได้กับ CHS ร่วมกับการพบการเพิ่มขึ้นของ CBF จากการทำ CT perfusion, MR perfusion หรือ SPECT เมื่อเกิดภาวะ CHS ขึ้นแล้วสามารถทำการรักษาได้โดยการควบคุมความดันโลหิตโดยให้ systolic blood pressure < 130 mmHg ร่วมกับการให้ยาในกลุ่ม free radical scavenger

References

1. Okada Y, Kawamata T, Kawashima A, Yamaguchi K, Ono Y, Hori T. The efficacy of superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis in patients with moyamoya disease complaining of severe headache: clinical article. *J Neurosurg.* 2012;116(3):672-9. doi:10.3171/2011.11.JNS11944
2. Zhao WG, Luo Q, Jia JB, Yu JL. Cerebral hyperperfusion syndrome after revascularization surgery in patients with moyamoya disease. *Br J Neurosurg.* 2013;27(3):321-5. doi:10.3109/02688697.2012.757294
3. Suzuki J, Kodama N. Moyamoya disease--a review. *Stroke.* 1983;14(1):104-9. doi:10.1161/01.STR.14.1.104
4. Dusick JR, Gonzalez NR, Martin NA. Clinical and angiographic outcomes from indirect revascularization surgery for moyamoya disease in adults and children: a review of 63 procedures. *Neurosurgery.* 2011;68(1):34-43. doi:10.1227/NEU.0b013e3181fc5ec2
5. Houkin K, Kamiyama H, Abe H, Takahashi A, Kuroda S. Surgical therapy for adult moyamoya disease. *Stroke.* 1996;27(8):1342-6. doi:10.1161/01.STR.27.8.1342
6. Patel NN, Mangano FT, Klimo P Jr. Indirect revascularization techniques for treating moyamoya disease. *Neurosurg Clin N Am.* 2010;21(3):553-63. doi:10.1016/j.nec.2010.03.008
7. Baaj AA, Agazzi S, Sayed ZA, Toledo M, Spetzler RF, van Loveren H. Surgical management of moyamoya disease: a review. *Neurosurg Focus.* 2009;26(4):E7. doi:10.3171/2009.01.FOCUS 08293

8. Kim T, Oh CW, Bang JS, Kim JE, Cho WS. Moyamoya disease: treatment and outcomes. *J Stroke*. 2016;18(1):21-30. doi:10.5853/jos.2015.01739
9. Shi Z, Wu L, Wang Y, Zhang H, Yang Y, Hang C. Risk factors of postoperative cerebral hyperperfusion syndrome and its relationship with clinical prognosis in adult patients with moyamoya disease. *Chin Neurosurg J*. 2023;9(1):10. doi:10.1186/s41016-023-00321-8
10. Fujimura M, Mugikura S, Kaneta T, Shimizu H, Tominaga T. Incidence and risk factors for symptomatic cerebral hyperperfusion after superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis in patients with moyamoya disease. *Surg Neurol*. 2009;71(4):442-7. doi:10.1016/j.surneu.2008.02.031
11. Nishizawa T, Fujimura M, Katsuki M, Mugikura S, Tashiro R, Sato K, et al. Prediction of cerebral hyperperfusion after superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis by three-dimensional-time-of-flight magnetic resonance angiography in adult patients with moyamoya disease. *Cerebrovasc Dis*. 2020;49(4):396-403. doi:10.1159/000509740
12. Pang CH, Lee SU, Lee Y, Kim WB, Kwon MY, Sunwoo L, et al. Prediction of hemorrhagic cerebral hyperperfusion syndrome after direct bypass surgery in adult nonhemorrhagic moyamoya disease: combining quantitative parameters on RAPID perfusion CT with clinically related factors. *J Neurosurg*. 2023;138(3):683-92. doi:10.3171/2022.5.JNS212838
13. Yu J, Zhang J, Li J, Zhang J, Chen J. Cerebral hyperperfusion syndrome after revascularization surgery in patients with moyamoya disease: systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg*. 2020;135:357-66.e4. doi:10.1016/j.wneu.2019.11.065
14. Bai J, Zhao YL, Zhao JZ, Wang R, Zhang D, Lin S, et al. Possible factors influencing postoperative temporary neurologic deterioration following standard superficial temporal artery-middle cerebral artery (STA-MCA) bypass surgery: diameter of STA and MCA (M4). *J Exp Stroke Transl Med*. 2012;5(1):11-21. doi:10.4172/1939-067X.1000137
15. Kim JH, Hong N, Kim H, Choi YH, Lee HC, Ha EJ, et al. Autoregulatory dysfunction in adult moyamoya disease with cerebral hyperperfusion syndrome after bypass surgery. *Sci Rep*. 2024;14(1):26451. doi:10.1038/s41598-024-76559-8
16. Fujimura M, Kaneta T, Mugikura S, Shimizu H, Tominaga T. Temporary neurologic deterioration due to cerebral hyperperfusion after superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis in patients with adult-onset moyamoya disease. *Surg Neurol*. 2007;67(3):273-82. doi:10.1016/j.surneu.2006.07.017
17. Fujimura M, Gasche Y, Morita-Fujimura Y, Massengale J, Kawase M, Chan PH. Early appearance of activated matrix metalloproteinase-9 and blood-brain barrier disruption in mice after focal cerebral ischemia and reperfusion. *Brain Res*. 1999;842(1):92-100. doi:10.1016/S0006-8993(99)01843-0
18. Fujimura M, Niizuma K, Inoue T, Sato K, Endo H, Shimizu H, et al. Minocycline prevents focal neurological deterioration due to cerebral hyperperfusion after extracranial-intracranialbypass for moyamoya disease. *Neurosurgery*. 2014;74(2):163-70. doi:10.1227/NEU.0000000000000238
19. Kawamata T, Kawashima A, Yamaguchi K, Hori T, Okada Y. Usefulness of intraoperative laser Doppler flowmetry and thermography to

- predict a risk of postoperative hyperperfusion after superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass for moyamoya disease. *Neurosurg Rev.* 2011;34(3):355-62. doi:10.1007/s10143-011-0331-8
20. Fujimura M, Inoue T, Shimizu H, Saito A, Mugikura S, Tominaga T. Efficacy of prophylactic blood pressure lowering according to a standardized postoperative management protocol to prevent symptomatic cerebral hyperperfusion after direct revascularization surgery for moyamoya disease. *Cerebrovasc Dis.* 2012;33(5):436-45. doi:10.1159/000336765
 21. Turpin J, Lynch DG, White T, Shah KA, Yang K, Katz JM, et al. Hyperperfusion syndrome after superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass for non-moyamoya stenocclusive disease. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2023;32(8):107222. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2023.107222
 22. Uno M, Nakajima N, Nishi K, Shinno K, Nagahiro S. Hyperperfusion syndrome after extracranial-intracranial bypass in a patient with moyamoya disease: case report. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 1998;38(7):420-4. doi:10.2176/nmc.38.420
 23. Matano F, Murai Y, Mizunari T, Adachi K, Kobayashi S, Morita A. Intracerebral hemorrhage caused by cerebral hyperperfusion after superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass for atherosclerotic occlusive cerebrovascular disease. *NMC Case Rep J.* 2017;4(1):27-32. doi:10.2176/nmccrj.cr.2016-0043
 24. Kawamata T, Okada Y, Kawashima A, Yoneyama T, Yamaguchi K, Ono Y, et al. Postcarotid endarterectomy cerebral hyperperfusion can be prevented by minimizing intraoperative cerebral ischemia and strict postoperative blood pressure control under continuous sedation. *Neurosurgery.* 2009;64(3):447-54. doi:10.1227/01.NEU.0000339110.73385.8A
 25. Farooq MU, Goshgarian C, Min J, Gorelick PB. Pathophysiology and management of reperfusion injury and hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy and carotid artery stenting. *Exp Transl Stroke Med.* 2016;8:7. doi:10.1186/s13231-016-0021-2
 26. Hu M, Yu J, Zhang J, Chen J. Designing a flow-controlled STA-MCA anastomosis based on the Hagen-Poiseuille law for preventing postoperative hyperperfusion in adult moyamoya disease. *Ther Adv Chronic Dis.* 2023;14:20406223231181492. doi:10.1177/20406223231181492