

การรักษาหลอดเลือดสมองโป่งพองชนิดซับซ้อนในตำแหน่งหลอดเลือดแดง vertebral ด้วยวิธีการจุกัลยกรรมโดยเทคนิค partial trapping

กิตติพงศ์ เตชศรีศักดิ์สกุล, พ.บ.

กิตติพร ศรีอมรรัตนกุล, พ.บ.

หน่วยประสาทศัลยศาสตร์ ภาควิชาศัลยศาสตร์
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช

บทคัดย่อ

หลอดเลือดสมองโป่งพองชนิดซับซ้อน (complex cerebral aneurysm) มีความยากลำบากในการรักษาและยังไม่มีวิธีการรักษาที่เป็นมาตรฐาน โดยส่วนมากมักไม่สามารถหนีบที่คอของ aneurysm โดยตรง โดยเก็บรักษาหลอดเลือดปกติไว้ได้ มักจำเป็นต้องทำการอุดหลอดเลือดปกติที่มี aneurysm อยู่ (sacrifice parent artery) การอุดหลอดเลือดมีทั้งการใช้เทคนิค complete trapping และ partial trapping บทความนี้เป็นการทบทวนการรักษาโดยเทคนิค partial trapping ในหลอดเลือดสมองโป่งพองชนิดซับซ้อนในตำแหน่งหลอดเลือดแดง vertebral (complex vertebral artery aneurysm) แสดงกลไกการรักษา ข้อดี และข้อควรระวังในการรักษาโดยใช้เทคนิคนี้

คำสำคัญ: หลอดเลือดสมองโป่งพองชนิดซับซ้อน, หลอดเลือดสมองโป่งพองที่ไม่สามารถรักษาด้วยวิธีการใส่คลิปหนีบหลอดเลือดสมองโป่งพอง, หลอดเลือดสมองโป่งพองที่หลอดเลือดแดง vertebral, หลอดเลือดสมองโป่งพองแบบฉีกเขาะที่หลอดเลือดแดง vertebral, partial trapping, การรักษาทางจุกัลยกรรม

Abstract

Microsurgical Partial Trapping for the Treatment of Complex Vertebral Artery Aneurysms

Treating complex cerebral aneurysms presents a significant challenge and lacks a well-established protocol. Most aneurysms cannot be directly clipped at the neck while preserving the parent artery. Often, sacrificing the parent artery is necessary to fully obliterate the aneurysm. The two most commonly employed techniques are complete trapping and partial trapping. This article seeks to review the partial trapping technique for addressing complex vertebral artery aneurysms, including the mechanisms behind aneurysm thrombosis, as well as the advantages and limitations of this approach.

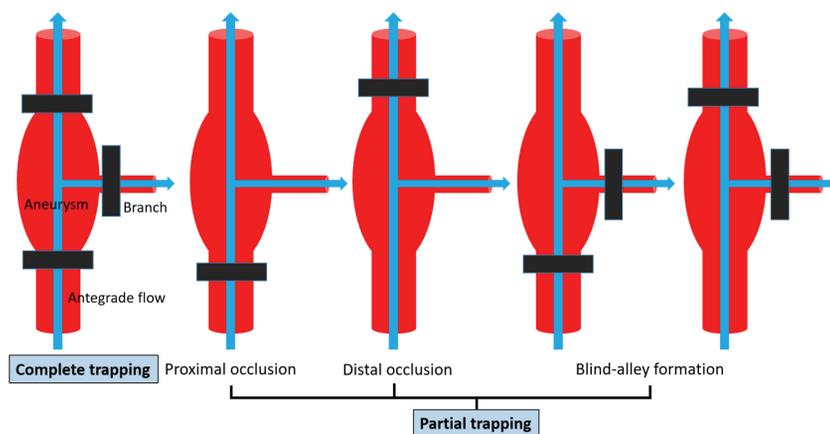
Key words: complex cerebral aneurysm, unclippable cerebral aneurysm, vertebral artery aneurysm, vertebral artery dissecting aneurysm, partial trapping, microsurgery

บทนำ

ปัจจุบันการรักษาโรคหลอดเลือดสมองโป่งพอง (cerebral aneurysm) บริเวณ posterior circulation (posterior circulation aneurysm) และหลอดเลือดสมองโป่งพองชนิดซับซ้อน (complex cerebral aneurysm) ซึ่งมักไม่สามารถให้การรักษาด้วยวิธีการใส่คลิปหนีบหลอดเลือดสมองโป่งพอง (aneurysm clip) โดยเก็บรักษาหลอดเลือดปกติไว้ได้ (unclippable cerebral aneurysm) สามารถรักษาได้โดยวิธีการรักษาทางสายสวนหลอดเลือดสมอง (endovascular technique) แต่ผลการรักษาในระยะยาวยังไม่สามารถสรุปผลได้ชัดเจน¹⁻⁴

โรคหลอดเลือดสมองที่ส่วนที่สี่ (V4 segment) ของ vertebral artery (VA) ที่ซับซ้อน (complex VA aneurysm: CVAA) ได้แก่ หลอดเลือดโป่งพองชนิดฉีกขาด (dissecting aneurysm) และหลอดเลือดสมองโป่งพองที่มีรูปร่างคล้ายกระสวย (fusiform aneurysm) ซึ่งมีลักษณะการโป่งพองออกตามแนวเส้นรอบวงของหลอดเลือด หรือหลอดเลือดสมองโป่งพองที่มีขนาดใหญ่ (large or giant aneurysm) การรักษาส่วนใหญ่จะพิจารณาทำด้วยวิธีทางสายสวนหลอดเลือดสมอง^{1-2,5-8} แต่การรักษาดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรงและมีอัตราการเสียชีวิตสูงโดยเฉพาะในรายที่หลอดเลือดสมองโป่งพองแตกแล้ว ภาวะแทรกซ้อนดังกล่าว ได้แก่ ภาวะหลอดเลือดสมองโป่งพองแตกซ้ำและหลอดเลือด

สมองตีบตัน (โดยเฉพาะภาวะหลอดเลือดแดง posterior inferior cerebellar [PICA] ขาดเลือด)⁹⁻¹¹ นอกจากนี้ผู้ป่วยที่ได้รับการใส่ท่อขดลวดหลอดเลือดสมองชนิด flow diverting stent จำเป็นต้องได้รับยาต้านเกล็ดเลือด 2 ชนิดก่อนและหลังการรักษา ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะเลือดออกซ้ำได้ในระยะฉับพลันของโรค¹¹ การผ่าตัดเปิด (open surgery) ด้วยวิธีการที่เหมาะสมจึงยังมีบทบาทสำคัญในการรักษาหลอดเลือดสมองชนิดดังกล่าวด้วยผลการรักษาที่ใกล้เคียงกัน^{12,13} การผ่าตัดด้วยเทคนิค complete trapping (รูปที่ 1) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสามารถหยุดของการไหลเวียนของเลือดเข้าสู่ aneurysm ได้ทันที ส่งผลให้ป้องกันการแตกซ้ำได้ทันทีเช่นกัน แต่การรักษาดังกล่าวมีความยากลำบากในการผ่าตัดเพื่อเข้าถึง VA ซึ่งอยู่ลึกและทำให้เกิดเส้นประสาทสมองส่วนล่าง (lower cranial nerves) ได้รับความเจ็บและก้านสมองส่วนล่าง (pons และ medulla oblongata) บาดเจ็บหรือขาดเลือดได้¹⁴⁻¹⁶ การผ่าตัดด้วยเทคนิค partial (incomplete) trapping จึงมีบทบาทในการรักษาหลอดเลือดสมองโป่งพองดังกล่าว การรักษาด้วยเทคนิค partial trapping ซึ่งประกอบไปด้วยวิธี proximal occlusion, distal occlusion และ blind-alley formation (รูปที่ 1) จึงเป็นวิธีการผ่าตัดรักษาที่เหมาะสมและมีภาวะแทรกซ้อนหลังผ่าตัดน้อย^{12-13,17-21} แต่ประสิทธิภาพและความปลอดภัยจากการผ่าตัดยังไม่แน่ชัด^{14,22}



รูปที่ 1 วิธีต่างๆ ในการทำ aneurysm trapping ได้แก่ complete trapping และ partial trapping ซึ่งแบ่งออกเป็น proximal occlusion, distal occlusion และ blind-alley formation

ในบทความนี้ จะกล่าวถึงการผ่าตัดรักษา CVAA โดยเน้นไปที่ vertebral artery dissecting aneurysm (VADA) ด้วยเทคนิค partial trapping ด้วยวิธีการต่างๆ และวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการผ่าตัดและภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นและเปรียบเทียบการรักษาด้วยเทคนิคอื่นๆ

อุบัติการณ์และปัจจัยเสี่ยง

อุบัติการณ์ที่แท้จริงของ CVAA ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัด จากการศึกษาของ Yamamura และคณะพบหลอดเลือดสมองโป่งพองชนิดฉีกเขาะที่ตำแหน่ง vertebral artery (VADA) พบเป็นร้อยละ 10.4 ของ posterior circulation aneurysm โดยอายุเฉลี่ยของผู้ป่วยคือ 51.8 ปีและพบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง 2 เท่า²³ ปัจจัยเสี่ยงที่พบได้แก่ ภาวะความดันโลหิตสูง โรคของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น Ehlers-Danlos syndrome, Marfan's syndrome, fibromuscular dysplasia (FMD), Polycystic kidney disease และการติดเชื้อ (พบมากในผู้ป่วยเด็ก)²³⁻²⁴

อาการและอาการแสดง

CVAA โดยเฉพาะอย่างยิ่ง VADA มักจะมีอาการแสดงทางระบบประสาทที่หลากหลายจากภาวะสมองขาดเลือดและภาวะเลือดออกใต้ชั้น arachnoid (subarachnoid hemorrhage) อาการมีตั้งแต่อาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณท้ายทอย หรือหมดสติ ภาวะสมองขาดเลือดอาจมีอาการแสดงของกลุ่มอาการ Wallenberg (Wallenberg syndrome) ตลอดจนความผิดปกติเส้นประสาทสมองและก้านสมองจากภาวะสมองขาดเลือดหรือการกดเบียดจากหลอดเลือดสมองโป่งพองซึ่งอาจทำให้มีอาการหน้าเบี้ยว ปากเบี้ยว ชาบริเวณใบหน้า กลืนลำบาก พูดไม่ชัด หรืออ่อนแรงได้²⁴⁻²⁶

การวินิจฉัย

การวินิจฉัยด้วยภาพถ่ายทางรังสีหลอดเลือดสมอง ได้แก่ computed tomography angiography (CTA), magnetic resonance angiography (MRA) หรือ digital-subtraction cerebral angiography (DSA) ในกลุ่ม VADA จะพบลักษณะของการตีบคอดของหลอดเลือด (string sign) หรือการโป่งพองแบบกระสวยของหลอดเลือด (fusiform dilatation) มีแผ่นเนื้อเยื่อของชั้นอินทิมา (intimal flap) เห็นสารทึบรังสีในผนังหลอดเลือด (double lumen) หรือพบการตีบคอดและโป่งพองร่วมกันเรียกว่า pearl and string sign ซึ่งพบได้มากกว่าในรายที่มีหลอดเลือดสมองโป่งพองแตก²³⁻²⁵

การรักษา CVAA

1. การรักษาทางจุลศัลยกรรม (microsurgical treatment)

งานวิจัยต่างๆเกี่ยวกับการรักษาด้วยการผ่าตัด (open surgery) ใน CVAA พบว่ามีผลลัพธ์ในการรักษาที่ดีที่สุดถึงร้อยละ 86.4 มีอัตราการเกิด complete aneurysm obliteration สูงถึงร้อยละ 95 -100^{12,31-32} และมีภาวะแทรกซ้อนต่ำที่ร้อยละ 7³²

1.1 การผ่าตัด CVAA ด้วยเทคนิค partial trapping

กลยุทธ์ในการผ่าตัด (surgical strategies)

การรักษา CVAA มีเป้าหมายเพื่อการป้องกันไม่ให้เกิดเลือดออกซ้ำในกรณีที่หลอดเลือดโป่งพองแตกแล้ว และป้องกันการแตกหรือการเกิดลิ่มเลือดอุดตันที่หลอดเลือดสมองส่วนปลายในกรณีที่หลอดเลือดโป่งพองยังไม่แตก ด้วยการชักนำให้เกิดลิ่มเลือดภายในหลอดเลือดส่วนที่โป่งพอง ขณะเดียวกันต้องสามารถรักษาการไหลเวียนของเลือดที่ไปเลี้ยงก้านสมองและสมองน้อยให้เป็นไป

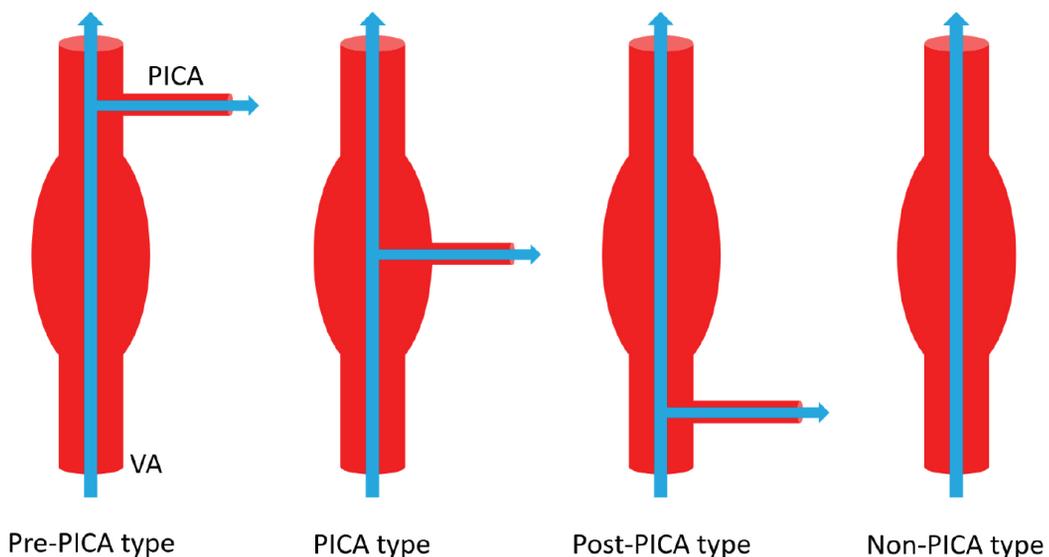
อย่างเพียงพอ พยาธิสภาพของ CVAA มักกินบริเวณโดยรอบของผนังหลอดเลือดเป็นบริเวณกว้าง เช่น fusiform aneurysm และ large หรือ giant aneurysm ส่วนหลอดเลือดโป่งพองชนิด dissecting aneurysm เกิดจากการฉีกขาดภายในผนังหลอดเลือดโดยรอบ ทำให้ไม่สามารถให้การรักษาโดยวิธีหนีบที่ส่วนคอของหลอดเลือดสมองโป่งพอง (aneurysm neck clipping) ได้ ทำให้จำเป็นต้องอุดหลอดเลือดที่มีพยาธิสภาพทั้งทั้งเส้น (sacrifice parent artery) โดยต้องรักษาการไหลเวียนของเลือดไปยังก้านสมองได้ด้วย ในกรณีที่ VA ด้านตรงข้ามหรือ posterior communicating artery (PcoA) มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะให้เลือดไปเลี้ยงก้านสมอง (VA ฝั่งตรงข้ามมีขนาดไม่น้อยกว่า 1.7 มม. หรือ PcoA ทั้งสองเส้นมีขนาดไม่น้อยกว่า 1 มม.) สามารถอุด VA ข้างที่มีพยาธิสภาพได้โดยไม่ต้องทำ flow replacement bypass¹²

การผ่าตัดอุด VA ข้างที่มีพยาธิสภาพด้วยเทคนิค complete trapping เป็นตัวเลือกแรกที่ดีที่สุดเนื่องจากสามารถหยุดการไหลเวียนเลือดไปยังหลอดเลือดส่วนที่โป่งพองได้ทันที แต่อาจไม่สามารถทำได้จริงในหลายกรณี

เช่น อาจมีแขนงหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงก้านสมองอยู่ในหรือใกล้กับบริเวณหลอดเลือดที่มีพยาธิสภาพ หรือไม่สามารเข้าถึงส่วนของหลอดเลือดทั้งหมดที่จะทำการ complete trapping ได้ ดังนั้นการรักษาด้วยเทคนิค partial trapping จึงเป็นทางเลือกที่สำคัญ กลยุทธ์ในการผ่าตัดรักษา CVAA ด้วยเทคนิค partial trapping ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหลอดเลือดโป่งพองเมื่อเทียบกับจุดแตกแขนงของ PICA (PICA origin)¹²

CVAA แบ่งเป็น 4 ประเภทตามตำแหน่งเมื่อเทียบกับ PICA origin (รูปที่ 2) ได้แก่

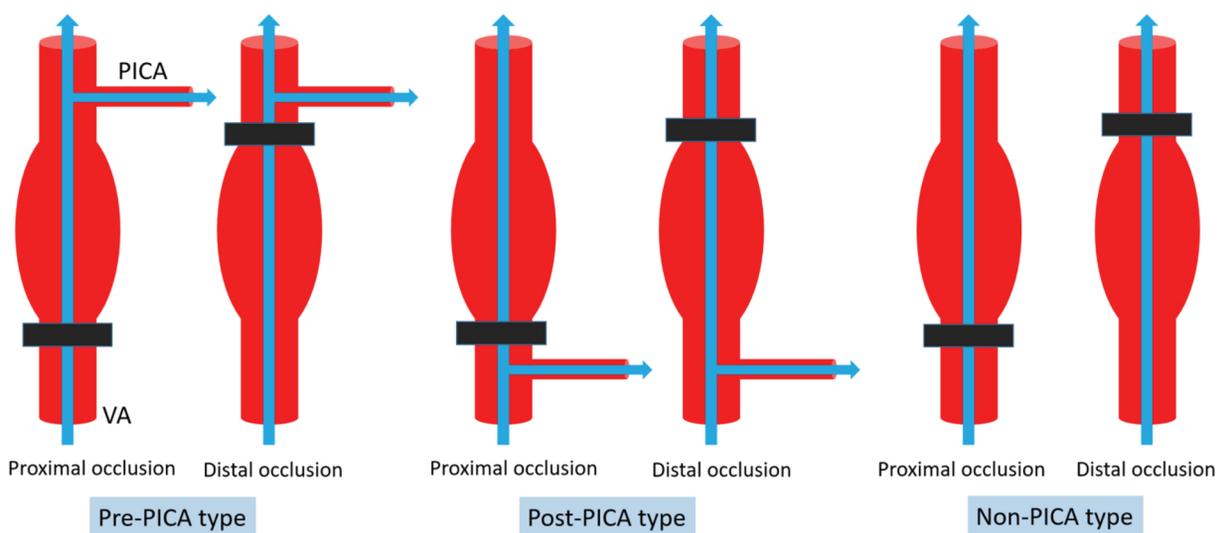
1. **Pre-PICA type:** ตำแหน่งหลอดเลือดที่มีพยาธิสภาพอยู่ส่วนต้น (proximal) กว่า PICA origin
2. **PICA type:** มี PICA origin ออกจากตำแหน่งหลอดเลือดที่มีพยาธิสภาพ
3. **Post-PICA type:** ตำแหน่งหลอดเลือดที่มีพยาธิสภาพอยู่ส่วนปลาย (distal) กว่า PICA origin
4. **Non-PICA type:** ไม่มี PICA origin ออกจากตำแหน่งหลอดเลือดที่มีพยาธิสภาพ



รูปที่ 2 ประเภทของ complex vertebral artery (VA) aneurysm เทียบกับตำแหน่งของ posterior inferior cerebellar artery (PICA) origin

การรักษา CVAa ประเภท pre-PICA, post-PICA และ non-PICA type จะทำการปิดหลอดเลือด VA ส่วนต้น (proximal) ต่อหลอดเลือดส่วนที่มีพยาธิสภาพ เรียกว่า proximal occlusion (หรือบางงานวิจัยเรียกว่า proximal trapping) เป็นตัวเลือกแรกซึ่งมักจะปิดหลอดเลือดส่วนที่ใกล้กับพยาธิสภาพให้มากที่สุดโดยไม่มี PICA มาก่อนจึงมักปิดที่ส่วน V4 (V4 segment) ของ VA และหากไม่สามารถทำได้จะทำการปิด VA ส่วนปลาย (distal)

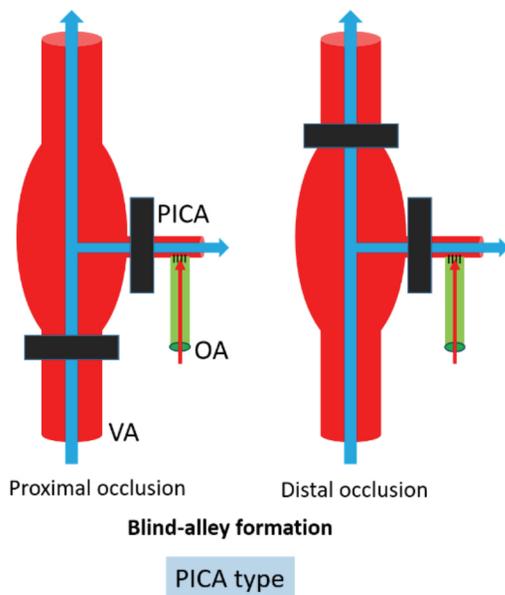
ต่อหลอดเลือดส่วนที่มีพยาธิสภาพ เรียกว่า distal occlusion (หรือบางงานวิจัยเรียกว่า distal trapping) เป็นตัวเลือกถัดมา (รูปที่ 3) การปิดหลอดเลือดด้วยวิธี proximal หรือ distal occlusion ใกล้กับพยาธิสภาพก่อนที่จะมี PICA ออกจะทำให้หลอดเลือดที่มีพยาธิสภาพอยู่ในทางตัน (blind alley หรือ stump) ซึ่งทำให้เกิดลิ่มเลือด (thrombosis) ในหลอดเลือดส่วนนั้น²¹



รูปที่ 3 การรักษา complex vertebral artery (VA) aneurysm ประเภท pre-PICA, post-PICA และ non-PICA type ด้วยเทคนิค partial trapping ด้วยวิธี proximal และ distal occlusion
PICA: posterior inferior cerebellar artery

ส่วนการรักษา CVAa ประเภท PICA type จำเป็นต้องปิดทั้งหลอดเลือด VA ส่วน V4 ไม่ว่าจะเป็นส่วนต้น (proximal occlusion) หรือส่วนปลาย (distal occlusion) ต่อพยาธิสภาพ และปิด PICA origin ด้วยเพื่อให้

เกิดทางตัน (blind-alley formation) หลังจากการทำ flow-replacement bypass ไปยัง PICA ไม่ว่าจะ เป็น occipital artery-PICA bypass (OA-PICA bypass) หรือ PICA-PICA bypass²¹ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 การรักษา complex vertebral artery (VA) aneurysm ประเภท PICA type ด้วยเทคนิค partial trapping ด้วยวิธี blind-alley formation โดย proximal และ distal occlusion หลังจากการทำ flow-replacement bypass ไปยัง posterior inferior cerebellar artery ด้วย occipital artery (OA)

PICA: posterior inferior cerebellar artery

เทคนิคการผ่าตัด

การผ่าตัดจำเป็นจะต้องอุด VA ที่มีพยาธิสภาพโดยยังรักษาการไหลเวียนของเลือดไปยังก้านสมองได้ ให้พิจารณาขนาดของ VA ด้านตรงข้าม หาก VA ด้านตรงข้ามมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1.7 มม.²¹ หรือ PCoA ทั้ง 2 ข้างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 มม.¹⁵ สามารถอุด VA ที่มีพยาธิสภาพได้โดยความเสี่ยงน้อยมากต่อการเกิดก้านสมองขาดเลือด (brainstem ischemia)

หาก VA ด้านตรงข้ามและหลอดเลือด PcoA มีขนาดไม่เพียงพอที่จะรักษาการไหลเวียนของเลือดของก้านสมอง จะต้องทำการผ่าตัด flow-replacement bypass ไปยัง posterior cerebral artery (PCA) ด้วย external carotid artery-radial artery-P2 segment ของ PCA (ECA-RA-P2 bypass) หรือ V3 segment ของ VA-radial

artery-P2 segment ของ PCA (V3-RA-P2 bypass)¹² หากไม่จำเป็นต้องทำ flow-replacement bypass ไปยัง PCA จะเลือกการผ่าตัดแบบ far lateral approach ด้วยเทคนิค transcondylar fossa หรือ transcondylar ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหลอดเลือดสมองโป่งพองเมื่อเทียบกับ hypoglossal canal^{21,27-28} นอกจากนี้ในกรณีที่ CVAA เบี่ยงไปยังด้านตรงข้ามผ่านเส้นกึ่งกลางอาจเลือกใช้ far lateral approach จากด้านตรงข้ามได้ด้วย²⁹⁻³⁰ จากนั้นทำการปิดหลอดเลือดแดงด้วย aneurysm clip ให้ใกล้กับส่วนที่มีพยาธิสภาพมากที่สุดโดยไม่ให้เกิดการแตกของหลอดเลือดที่โป่งพอง (intraoperative aneurysm rupture)

กลไกในการเกิดการอุดตันของหลอดเลือดสมองโป่งพองด้วยเทคนิค partial trapping

ตำแหน่งที่ทำ partial trapping (ทั้ง proximal หรือ distal occlusion ร่วมกับการพิจารณาปิด PICA origin) รวมถึงการเลือกว่าจะทำ flow-replacement bypass หรือไม่นั้น จะพิจารณาจากตำแหน่งของหลอดเลือดที่มีพยาธิสภาพ ตำแหน่งของ PICA origin และความสามารถในการเข้าถึงได้ (accessibility) ในระหว่างผ่าตัดหลอดเลือดโป่งพอง^{12-15,26,39}

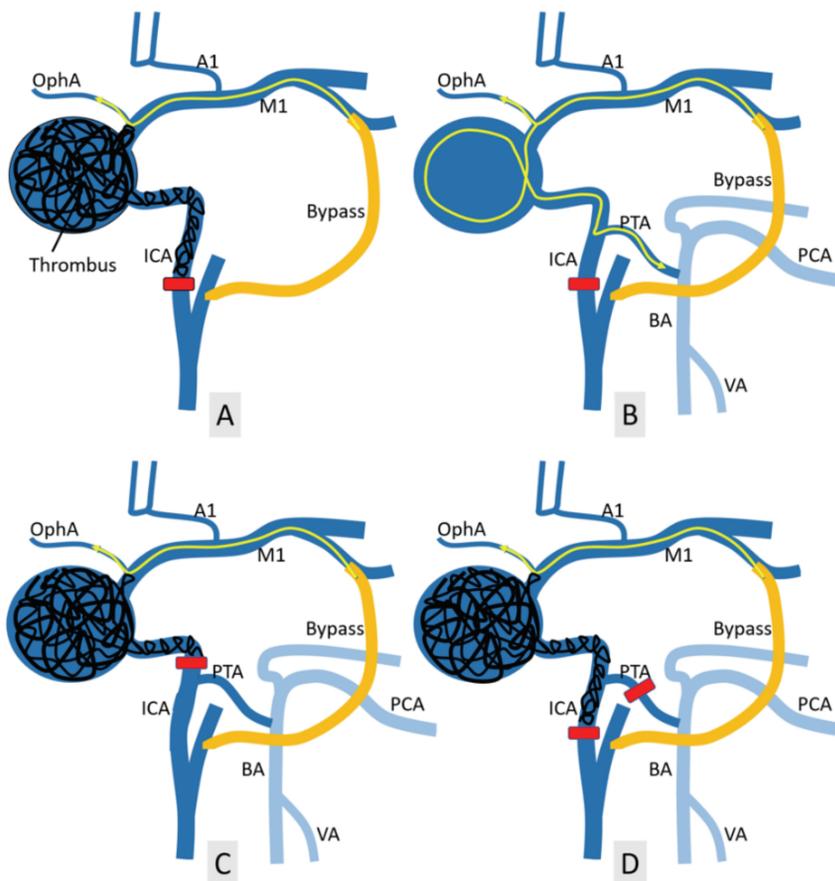
กลไกส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิด thrombosis ของหลอดเลือดส่วนที่โป่งพองคือ การเกิดทำให้เกิดการหยุดนิ่ง (stasis) ของเลือดในหลอดเลือดที่เป็นทางตัน (blind alley หรือ blind end หรือ stump) ซึ่งเป็นผลจากการสร้างหลอดเลือดแบบทางตันโดยการใส่ aneurysm clip หรือที่เรียกว่า blind-alley formation^{13,33} การทำ partial trapping โดยให้ตำแหน่งของการปิดหลอดเลือดอยู่ใกล้กับพยาธิสภาพมากที่สุดเพื่อให้ตำแหน่งของพยาธิสภาพนั้นอยู่ในหลอดเลือดที่เป็นทางตัน

1.2 Partial trapping ในการรักษาหลอดเลือดสมองโป่งพองในตำแหน่งอื่น

เทคนิค partial trapping นี้เคยถูกนำมาใช้ในการรักษาหลอดเลือดโป่งพองบริเวณอื่น เช่น หลอดเลือดโป่ง

พองขนาดใหญ่ (large) หรือใหญ่มาก (giant) ในส่วน cavernous ของหลอดเลือด internal carotid artery (ICA) โดยการทำให้ high-flow bypass ร่วมกับการปิดหลอดเลือด ICA ส่วนคอ (cervical ICA ligation) (รูปที่ 5A) ตั้งแต่ปี 1999³⁴⁻³⁶ แต่ Ishikawa และคณะรายงานกรณีที่มีลิ่มเลือดในการรักษา โดยรายที่มีลิ่มเลือดนั้นมี persistent trigeminal artery (PTA) ซึ่ง PTA นี้เชื่อมต่อ ICA ส่วน petrous กับ basilar artery การผูกหลอดเลือด ICA ส่วนคอเพียงอย่างเดียวไม่น่าเพียงพอที่จะทำให้เกิด blind alley เนื่องจากยังมีการไหลย้อนกลับ (retrograde flow) จาก bypass graft ผ่านมายัง ICA เข้าสู่ aneurysm ไปออกที่ PTA ซึ่งทำให้หลอดเลือดโป่ง

พองยังคงมีเลือดไหลผ่าน (PTA กลายเป็นทางออกของการไหลเวียนเลือดหรือ flow outlet) (รูปที่ 5B) ในกรณีนี้กลยุทธ์ที่ได้ผลในการทำให้ aneurysm อยู่ใน blind alley คือการปิดหลอดเลือด ICA ส่วนที่อยู่ถัด (distal) จาก PTA เพียงอย่างเดียว (รูปที่ 5C) หรือการปิดหลอดเลือดทั้ง ICA ส่วนคอ (cervical ICA) และ PTA (รูปที่ 5D) ซึ่งทั้งสองวิธีสามารถทำให้เกิด blind alley ได้³⁷ Miyamoto และคณะรายงานการใช้เทคนิคนี้เพื่อรักษาหลอดเลือดโป่งพองขนาดใหญ่ที่บริเวณ basilar tip โดยการหนีที่หลอดเลือด basilar artery, origin ของ superior cerebellar artery (SCA) ทั้งสองข้างและหลอดเลือด PCA ส่วน P1 ข้างเดียว³⁸



รูปที่ 5 การรักษา giant cavernous internal carotid artery (ICA) aneurysm ด้วยเทคนิค partial trapping และ high-flow bypass (A) cervical ICA ligation ในผู้ป่วยที่ไม่มี persistent trigeminal artery (PTA) (B-D) แสดงผู้ป่วยที่มี PTA (C) การรักษาโดย cervical ICA ligation ไม่ได้ผล (C) การรักษาโดยการปิด ICA ส่วนที่อยู่ distal ต่อ origin ของ PTA (D) การรักษาโดยการปิด cervical ICA และ PTA

A1: A1 segment of anterior cerebral artery; BA: basilar artery; M1: M1 segment of middle cerebral artery; OphA: ophthalmic artery; PCA: posterior cerebral artery; VA: vertebral artery

Wongsuriyanan และคณะรายงานการใช้เทคนิคนี้ร่วมกับการทำ OA-PICA bypass เพื่อรักษา CVAA's ประเภท PICA type โดยทำการปิดหลอดเลือด VA ที่อยู่ต้นทาง (proximal) ต่อหลอดเลือดโป่งพองและปิด origin ของ PICA เพื่อให้หลอดเลือดโป่งพองอยู่ใน blind alley²¹ การปิดหลอดเลือด VA เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะชักนำให้เกิดลิ่มเลือด (thrombosis) อย่างสมบูรณ์ในหลอดเลือดโป่งพองเนื่องจากยังมีการไหลย้อนกลับ (retrograde flow) จาก VA ฝั่งตรงข้ามผ่าน VA ข้างที่มีพยาธิสภาพ ผ่าน aneurysm ไปยัง PICA ซึ่งทำให้หลอดเลือดโป่งพองมีเลือดไหลผ่านอยู่โดยมี PICA ทำหน้าที่เป็น flow outlet¹⁶

Nussbaum รายงานการทำ distal occlusion เพื่อสร้าง blind alley ในการรักษาหลอดเลือดโป่งพองที่ไม่สามารถเข้าถึงหลอดเลือดส่วนต้น (proximal) ได้³⁹

1.3 ประโยชน์ของเทคนิค partial trapping

แม้ว่าเทคนิค complete trapping จะสามารถหยุดการไหลเวียนของเลือดเข้าสู่หลอดเลือดโป่งพองได้อย่างทันทีแต่กระบวนการผ่าตัดเพื่อให้ได้ผลดังกล่าวอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้ป่วย¹⁷⁻²⁰ โดยพบว่า complete trapping มีความสัมพันธ์กับการบาดเจ็บของเส้นประสาทสมองคู่ล่าง (lower cranial nerve injury) และการอุดตันของหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงก้านสมอง (brainstem perforators) ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดก้านสมองส่วนเมดัลลาขาดเลือด (medullary infarction) ในอัตราร้อยละ 5.6-47 ตามที่ระบุไว้ในงานวิจัยหลายฉบับและความเสี่ยงนี้จะเพิ่มขึ้นตามความยาวของหลอดเลือดที่ถูก complete trapping^{1,40,41} ด้วยเทคนิค complete trapping ของ VA aneurysms นั้น การวางคลิปเพื่อปิดหลอดเลือดในตำแหน่ง V4 ส่วนปลาย (distal) ของ VA ซึ่งอยู่ในบริเวณที่มีเส้นประสาทสมองคู่ล่างหลายเส้นและมี perforators จาก VA บางแขนง อาจทำให้หลอดเลือดเหล่านั้นถูก trap ไปด้วย²¹ นอกจากนั้น การอุดหลอดเลือดตำแหน่งที่อยู่ลึกอาจก่อให้เกิดการแตกของหลอดเลือดสมองโป่งพอง

ขณะที่ทำการผ่าตัดได้ ดังนั้นสำหรับหลอดเลือดโป่งพองที่ยาว (long segment) มีขนาดใหญ่หรือขนาดใหญ่มาก (large หรือ giant aneurysms) การเลือกใช้ proximal หรือ distal occlusion เพียงด้านเดียว (partial trapping) อาจเป็นทางเลือกเพื่อลดการบาดเจ็บต่อ lower cranial nerves ลดโอกาสการเกิด medullary infarction และลดความเสี่ยงของการแตกของหลอดเลือดโป่งพองระหว่างผ่าตัดได้^{42,43,46}

เทคนิค partial trapping โดยทั่วไปมักสามารถป้องกันไม่ให้ perforators เกิดลิ่มเลือดอุดตันได้ อย่างไรก็ตามก็ตามลิ่มเลือดที่เกิดขึ้นบริเวณปลายต้นของหลอดเลือดที่ถูกปิด (stump หรือ blind alley) อาจนำไปสู่การอุดตันของ perforators โดยเฉพาะในรายที่ perforator มีขนาดเล็กมาก^{44,45} อย่างไรก็ตามพบอุบัติการณ์การเกิดลิ่มเลือดอุดตัน perforator พบได้น้อยด้วยเทคนิค partial trapping^{12,21}

ในบางกรณีของหลอดเลือดโป่งพองที่ซับซ้อนซึ่งไม่สามารถเข้าถึงหลอดเลือดต้นทาง (proximal artery) ได้ (จึงไม่สามารถทำ proximal occlusion ได้) การรักษาโดยใช้เทคนิค partial trapping ด้วยวิธี distal occlusion เพียงอย่างเดียว ถือเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้⁴⁷ วิธีการนี้ไม่เพิ่มความดันภายในหลอดเลือดโป่งพองแต่จะทำให้การไหลเวียนของเลือดภายในหลอดเลือดที่โป่งพองลดลงทันที³⁹

จากประสบการณ์ของผู้เขียน เทคนิค partial trapping ในผู้ป่วย CVAA พบว่ามีอัตราการเกิด complete aneurysm obliteration ได้ถึงร้อยละ 96.3 และพบว่ามีเกิดการอุดตันของหลอดเลือดสมองโป่งพองทันทีหลังจากผ่าตัดถึงร้อยละ 77.8 เมื่อติดตามผู้ป่วยกลุ่มนี้ที่ 3 เดือนหลังจากการผ่าตัด พบว่ามีผลลัพธ์ที่ดี (Glasgow outcome score 4-5) ที่ร้อยละ 85.2⁴⁸ เทคนิค partial trapping สามารถทำให้หลอดเลือดโป่งพองยุบตัวได้เทียบเท่ากับ complete trapping จึงถือเป็นทางเลือกที่ดีในการลดภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดจาก complete

trapping รวมถึงลดความเสี่ยงจากกระบวนการผ่าตัดที่ซับซ้อน

1.4 ความปลอดภัยของเทคนิค partial trapping

Takai และคณะรายงานผู้ป่วยรายหนึ่งที่มี VADA ประเภท PICA type ที่ได้รับการรักษาโดย proximal occlusion เพียงอย่างเดียว (ไม่ได้ปิด PICA origin) แต่มีภาวะเลือดออกซ้ำหลังการผ่าตัด⁴⁹ Iwabushi และคณะรายงานผู้ป่วยที่มีหลอดเลือดโป่งพองขนาดใหญ่บริเวณ VA ประเภท PICA type ซึ่งได้รับการรักษาโดยการปิดหลอดเลือดด้วยบอลูน (proximal balloon occlusion) แต่เกิดภาวะเลือดออกซ้ำ 10 วันหลังผ่าตัด²² สันนิษฐานว่า สาเหตุของการมีเลือดออกซ้ำคือหลอดเลือดโป่งพองซึ่งเป็น PICA type ยังคงได้รับ retrograde flow จาก VA ฝั่งตรงข้ามเข้าสู่ PICA การทำ OA-PICA bypass ตามด้วยการปิดหลอดเลือด VA ที่ตำแหน่ง V4 (ใกล้หลอดเลือดโป่งพอง) และ PICA origin ช่วยสร้างลักษณะปลายตัน (blind alley) ซึ่งอาจช่วยชักนำให้เกิดลิ่มเลือดภายในหลอดเลือดโป่งพองได้ดีกว่าการทำ proximal occlusion เพียงอย่างเดียว

Kawamata และคณะรายงานผู้ป่วย VADA ประเภท post-PICA type ซึ่งได้รับการรักษาด้วยวิธี proximal occlusion และ occlusion of PICA origin แต่เกิดเลือดออกซ้ำหลังผ่าตัด โดยไม่สามารถระบุกลไกได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามพวกเขาเสนอว่า complete trapping เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดและการควบคุมความดันโลหิตอย่างเข้มงวดอาจช่วยป้องกันเลือดออกซ้ำหลัง proximal occlusion¹⁴

Li และคณะรายงานการรักษาผู้ป่วย VADA ประเภท post-PICA type ที่ประสบความสำเร็จโดยทำ proximal occlusion ถัดจากจุดกำเนิดของ PICA⁵⁰ Kanematsu และคณะรายงานการรักษาผู้ป่วย VADA ประเภท PICA type 4 ราย ซึ่งได้รับการรักษาโดยการทำ OA-PICA bypass ตามด้วย proximal occlusion และอุด PICA origin ผลการรักษาได้ผลดีในผู้ป่วยทุกราย โดย

พบ complete aneurysm obliteration ในผู้ป่วยทุกราย⁴⁶

จากประสบการณ์ของผู้เขียนในการรักษา unclippable VA aneurysm โดยเทคนิค partial trapping⁴⁸ พบว่ามี complete aneurysm obliteration ร้อยละ 96.3 โดยเกิดทันทีหลังผ่าตัดร้อยละ 77.3 ที่เหลือเกิดภายใน 7 วันหลังผ่าตัดและไม่พบเลือดออกซ้ำในผู้ป่วยใดเลยหลังการทำ partial trapping โดยมีผู้ป่วย 1 ราย (คิดเป็นร้อยละ 3.7) ที่หลอดเลือดโป่งพองหายไปเกือบทั้งหมด (nearly complete obliteration) เนื่องจากมี flow reversal เกิดขึ้นจากการอุด VA ที่ส่วน V3 ใน post-PICA type การควบคุมความดันโลหิตอย่างเข้มงวดในช่วงระหว่างและหลังผ่าตัดมีความสำคัญมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังการทำ partial trapping อย่างไรก็ตาม มีภาวะแทรกซ้อนเกิดขึ้นในบางรายในกลุ่มผู้ป่วยนี้ ภาวะสมองน้อยบวมทั้งสองข้างหลังผ่าตัด ผู้ป่วยอีก 2 รายมีภาวะขาดเลือดของก้านสมองส่วน medulla (medullary infarction) หลังผ่าตัดซึ่งอาจเกิดจากลิ่มเลือดอุดตันแขนง perforators และผู้ป่วยอีก 1 ราย (PICA type) ได้รับการรักษาด้วย OA-PICA bypass ร่วมกับ proximal occlusion และ occlusion of PICA origin พบเส้นเสียงเป็นอัมพาต (vocal cord paralysis) ด้านเดียวหลังผ่าตัดแบบชั่วคราวเนื่องจาก caudal loop ที่อยู่สูง (high-riding caudal loop) ทำให้ OA-PICA ทำได้ยากและเป็นสาเหตุของการบาดเจ็บต่อเส้นประสาท vagus nerve

เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาเทคนิค partial trapping ถูกนำมาใช้ในผู้ป่วย CVAA บางรายเท่านั้น และการรายงานผลลัพธ์ในการผ่าตัดด้วยเทคนิคนี้โดยภาพรวมกับเทคนิคอื่นๆ Church และคณะได้ทำการผ่าตัดด้วยจลศัลยกรรมในผู้ป่วย 31 จากทั้งหมด 84 ราย และจำนวน 8 ราย (ร้อยละ 26) ที่ได้รับการรักษาด้วยเทคนิค partial trapping แต่ไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการผ่าตัด³¹ Frisoli และคณะรายงานผู้ป่วย VADA จำนวน 42 ราย ซึ่งได้รับการรักษาด้วยจลศัลยกรรมโดย

มีผู้ป่วย 6 ราย (ร้อยละ 14) ที่ได้รับการรักษาด้วยเทคนิค partial trapping³² Durongwatana และคณะรายงานผู้ป่วย VADA จำนวน 22 ราย และได้รับการรักษาด้วย

จุกศัลยกรรม โดยในจำนวนนั้นมีถึง 18 ราย (ร้อยละ 81.8) ที่ได้รับการรักษาด้วยเทคนิค partial trapping¹² ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบงานวิจัยที่ใช้เทคนิค partial trapping ในผู้ป่วย complex vertebral artery aneurysm

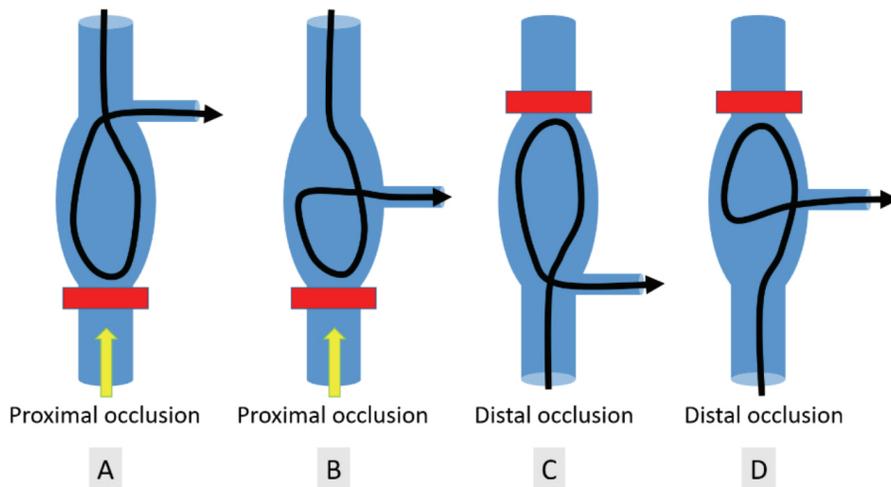
งานวิจัย	จำนวนผู้ป่วย	จำนวนผู้ป่วยที่รักษาด้วยเทคนิค partial trapping	อัตราการรอดต้นของหลอดเลือดโป่งพอง (ร้อยละ)	อัตราผู้ป่วยที่มีผลลัพธ์ที่ดี (ร้อยละ)
Church และคณะ (2022)	84	8	83 ^a	82 ^a
Frisoli และคณะ (2021)	42	6	95 ^a	48 ^a
Durongwatana และคณะ (2022)	22	18	100 ^a	86.4 ^a
Techasrisaksakul และคณะ (2024)	27	27	96.3	85.2

^aผลลัพธ์การรักษาโดยรวม

1.5 ข้อควรระวังของเทคนิค partial trapping

หากในบริเวณที่ทำ partial trapping มีแขนงหลอดเลือดออกมาจากบริเวณที่หลอดเลือดโป่งพองหรือใกล้เคียงกับหลอดเลือดโป่งพองแล้ว อาจทำให้เกิดลิ้มเลือดอุดตันได้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากยังมีการไหลเวียนของเลือดผ่านหลอดเลือดส่วนที่โป่งพองผ่านไปยังแขนงหลอดเลือด

เลือดดังกล่าว ทำให้เกิดลักษณะของหลอดเลือดโป่งพองแบบ side-wall aneurysm ขึ้นมาแทน^{16,22} การรักษาจำเป็นต้องปิดแขนงหลอดเลือดเหล่านี้และทำ bypass เพื่อคงรักษาการไหลเวียนของเลือดหากเป็นแขนงหลอดเลือดที่สำคัญ²¹



รูปที่ 5 การทำ partial trapping โดยวิธี proximal occlusion (A, B) และ distal occlusion (C, D) ในหลอดเลือดโป่งพองที่แขนงหลอดเลือดออกมาจากบริเวณที่หลอดเลือดโป่งพอง (B, D) หรือใกล้เคียงกับหลอดเลือดโป่งพอง (A, D) ทำให้เกิดลักษณะของหลอดเลือดโป่งพองแบบ side-wall aneurysm ขึ้นมาแทน

2. การรักษาด้วยวิธีทางสายสวนหลอดเลือด (endovascular treatment)

ปัจจุบันเทคนิคการรักษาด้วยวิธีทางสายสวนหลอดเลือดสมอง (endovascular techniques) มีบทบาทสำคัญในการรักษาผู้ป่วย CVAA lihora และคณะได้เสนอแนวทางการจัดการด้วย endovascular techniques สำหรับ VADA ทุกประเภท โดยแนะนำให้ใช้วิธีการอุดหลอดเลือดโป่งพองจากภายใน (internal trapping) สำหรับประเภท pre-PICA และ post-PICA type และส่วนประเภท PICA type แนะนำให้ทำ proximal occlusion ในระยะเฉียบพลันก่อน แล้วตามด้วย internal trapping ในส่วนที่มีพยาธิสภาพในภายหลัง โดยอาจทำ PICA revascularization แต่ไม่ได้มีการกล่าวถึง perforator infarction ในงานวิจัยดังกล่าว¹ Tanoue และคณะรายงานว่า VADA ประเภท non-PICA type ที่ได้รับการรักษาด้วย internal trapping นั้น มีความเสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนจากการขาดเลือดของก้านสมองเนื่องจากมี perforators จำนวนมากที่ออกจาก VA⁵¹ เนื่องจากวัสดุขดลวดที่ใช้ในกระบวนการนี้มีคุณสมบัติก่อการแข็งตัวของเลือด (thrombogenic) และสัมผัสกับผนังหลอดเลือดด้านในโดยตรง ทำให้มีความเสี่ยงต่อการอุดตันของ perforators จากการก่อตัวของลิ่มเลือดซึ่งเป็นลักษณะที่เรียกว่า VA stump syndrome ซึ่งมีความเสี่ยงมากกว่าการอุดหลอดเลือดด้วยคลิปหนีบ (aneurysm clip) ที่ยังคงรักษาชั้นเยื่อบุผนังหลอดเลือด (endothelial continuity) ไว้ได้^{52,53}

เนื่องจากความเสี่ยงของการอุดตัน perforator จาก internal trapping วิธี reconstructive technique จึงได้รับความนิยมมากขึ้นและให้ผลลัพธ์ที่ดี แต่อัตราการอุดตันของหลอดเลือดโป่งพองทันทีหลังผ่าตัด (immediate obliteration) และอัตราการกลับมาเป็นซ้ำ (recurrence rate) ยังคงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณา Kim และคณะรายงานว่าอัตราการกลับเป็นซ้ำหลังการรักษาทางสายสวนหลอดเลือดอยู่ที่ร้อยละ 13 (โดยใช้ overlapping stents ร่วมกับหรือไม่ร่วมกับการใส่ขดลวด, proximal occlusion

หรือ internal trapping) และแนะนำว่าประเภท PICA type เป็นปัจจัยเสี่ยงเดียวที่สัมพันธ์กับการกลับมาเป็นซ้ำของหลอดเลือดโป่งพองหลังการรักษาด้วยวิธีทางสายสวนหลอดเลือด⁵⁴

ล่าสุดมีรายงานถึงความสำเร็จของการใช้ flow-diverting stent โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน PICA type ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดี^{55,56} วิธีนี้ช่วยเก็บรักษาหลอดเลือด VA ที่ผิดปกติไว้ได้โดยไม่เสี่ยงต่อภาวะขาดเลือดบริเวณก้านสมอง (brainstem ischemia) ต่างจากการผ่าตัดเปิดซึ่งจำเป็นต้องอุดหลอดเลือด VA ที่ผิดปกติ โดยเฉพาะในด้านหลัก (dominant VA) และต้องพิจารณาความเสี่ยงต่อ brainstem ischemia อย่างรอบคอบ¹²

การใช้ยาต้านเกล็ดเลือดชนิดคู่ (dual antiplatelet therapy) ทั้งก่อนและหลังการใส่ stent ร่วมกับอัตรา immediate obliteration ของหลอดเลือดโป่งพองที่ต่ำ (ร้อยละ 14.5) ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการแตกซ้ำ (rebleeding) ในกรณีของหลอดเลือดโป่งพองที่แตกแล้ว (ruptured CVAs)⁵⁷ ในทางตรงกันข้าม การผ่าตัดเปิดโดยใช้เทคนิค partial trapping มี immediate complete obliteration ของหลอดเลือดโป่งพองสูงถึงร้อยละ 77.8 โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการให้ยาต้านเกล็ดเลือดเลย

สรุป

การรักษาหลอดเลือดสมองโป่งพองบริเวณ VA ชนิดซับซ้อน (CVAA) สามารถให้รักษาได้ด้วยทั้งวิธีการทางสายสวนหลอดเลือดด้วย flow-diverting stent (ร่วมหรือไม่ร่วมกับการใส่ขดลวด) ซึ่งจำเป็นต้องได้ยาต้านเกล็ดเลือดชนิดคู่ และการผ่าตัดทางจุลศัลยกรรม กลยุทธ์ในการผ่าตัดทางจุลศัลยกรรมด้วยเทคนิค partial trapping ให้พิจารณาจากตำแหน่งของ PICA origin พบว่าวิธีนี้มีความปลอดภัยและได้ผลลัพธ์ในการรักษาที่ดี ภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดน้อย สามารถทำได้ทั้งในรายที่มาด้วยหลอดเลือดสมองโป่งพองแตกและหลอดเลือดสมองโป่งพองที่ยังไม่แตก

เอกสารอ้างอิง

1. Iihara K, Sakai N, Murao K, Sakai H, Higashi T, Kogure S, et al. Dissecting aneurysms of the vertebral artery: a management strategy. *J Neurosurg.* 2002;97(2):259-67.
2. Spetzler RF, McDougall CG, Zabramski JM, Albuquerque FC, Hills NK, Russin JJ, et al. The barrow ruptured aneurysm trial: 6-year results. *J Neurosurg.* 2015;123(3):609-17.
3. Tjahjadi M, Serrone J, Hernesniemi J. Should we still consider clips for basilar apex aneurysms? A critical appraisal of the literature. *Surg Neurol Int.* 2018;9:44.
4. Wallace AN, CreveCoeur TS, Grossberg JA, Kamran M, Osbun JW, Delgado Almandoz JE, et al. Impact of aneurysm morphology on safety and effectiveness of flow diverter treatment of vertebrobasilar aneurysms. *J Neuroradiol.* 2019;46(6):401-10.
5. Aboukaïs R, Zairi F, Boustia F, Bourgeois P, Leclerc X, Lejeune JP. Vertebral artery-posterior inferior cerebellar artery convergence aneurysms treated by endovascular or surgical treatment: mid- and long-term outcome. *Neurochir.* 2016;62(2):72-7.
6. Awad AJ, Mascitelli JR, Haroun RR, De Leacy RA, Fifi JT, Mocco J. Endovascular management of fusiform aneurysms in the posterior circulation: the era of flow diversion. *Neurosurg Focus.* 2017;42:E14.
7. Eller JL, Dumont TM, Mokin M, Sorkin GC, Levy EI, Snyder KV, et al. Endovascular treatment of posterior circulation aneurysms. *Neurol Res.* 2014;36(4):339-43.
8. Liu P, Li Z, Hu L, Liu Y, Li P, Zhu W, et al. Clinical characteristics, endovascular choices, and surgical outcomes of intracranial vertebral artery dissecting aneurysms: a consecutive series of 196 patients. *J Neurosurg.* 2022 Jun 3:1-8. Epub ahead of print.
9. Cerejo R, Bain M, Moore N, Hardman J, Bauer A, Hussain MS, et al. Flow diverter treatment of intracranial vertebral artery dissecting pseudoaneurysms. *J Neurointerv Surg.* 2017;9(11):1064-8.
10. Lee HJ, Choi JH, Kim BS, Shin YS. Symptomatic ischemic complications following endovascular treatment of vertebral artery dissecting aneurysms. *Acta Neurochir (Wien).* 2022;164(6):1645-51.
11. Maybaum J, Henkes H, Aguilar-Pérez M, Hellstern V, Gühr GA, Härtig W, et al. Flow diversion for reconstruction of intradural vertebral artery dissecting aneurysms causing subarachnoid hemorrhage—a retrospective study from four neurovascular centers. *Front Neurol.* 2021;12:700164.
12. Durongwatana N, Sriamornrattanakul K, Wongsuriyanan S, Akharathamachote N. Microsurgical treatment of vertebral artery dissection: surgical strategies and treatment outcomes. *World Neurosurg.* 2022;159:e375-e388.
13. Tsunoda S, Inoue T. Microsurgical treatment strategy of vertebral artery fusiform aneurysm—from the standpoint of hemodynamic integrity and perforator preservation. *Front Neurol.* 2021;12:728176.
14. Kawamata T, Tanikawa T, Takeshita M, Onda H, Takakura K, Toyoda C. Rebleeding of intracranial dissecting aneurysm in the vertebral artery following proximal clipping. *Neurol Res.* 1994;16(2):141-4.
15. Steinberg GK, Drake CG, Peerless SJ. Deliberate basilar or vertebral artery occlusion in the treatment of intracranial aneurysms. *J Neurosurg.* 1993;79(2):161-73.
16. Yamada K, Hayakawa T, Ushio Y, Iwata Y, Koshino K, Bitoh S, et al. Therapeutic occlusion of the vertebral artery for unclippable vertebral aneurysm: relationship between site of occlusion and clinical outcome. *Neurosurg.* 1984;15(6):834-8.
17. Esposito G, Fierstra J, Regli L. Partial trapping strategies for managing complex intracranial aneurysms. *Acta Neurochir Suppl.* 2016;123:73-5.
18. Graffeo CS, Srinivasan VM, Cole TS, Lawton MT. Double-barrel STA-MCA bypass and partial trapping of a ruptured mycotic MCA aneurysm with flash fluorescence technique. *Neurosurg Focus Video.*

- 2022;6(1):V15.
19. Scherschinski L, Srinivasan VM, Labib MA, Karahalios K, Baranoski JF, Lawton MT. Left callosomarginal to right pericallosal in situ bypass, partial trapping, and thrombectomy of a giant anterior communicating artery aneurysm: 2-dimensional operative video. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2022;23(3):e162.
 20. Torné R, Rodríguez-Hernández A, Tercero-Uribe A, et al. Rescue surgery in the flow diverter era: partial trapping plus revascularization technique for a giant carotid-ophthalmic aneurysm. *World Neurosurg*. 2020;143:73–78.
 21. Wongsuriyanan S, Sriamornrattanakul K. Blind-alley formation and occipital artery-posterior inferior cerebellar artery bypass for the treatment of unclippable vertebral artery aneurysms with posterior inferior cerebellar artery involvement. *World Neurosurg*. 2020;138:e539–e550.
 22. Iwabuchi S, Yokouchi T, Kimura H, Ueda M, Samejima H. Rupture of a large vertebral artery aneurysm following proximal occlusion. *Interv Neuroradiol*. 2005;11(1):51-8.
 23. Yamaura A, Ono J, Hirai S. Clinical picture of intracranial non-traumatic dissecting aneurysm. *Neuropathology*. 2000 Mar;20(1):85-90.
 24. Kitanaka C, Sasaki T, Eguchi T, Teraoka A, Nakane M, Hoya K. Intracranial vertebral artery dissections: clinical, radiological features, and surgical considerations. *Neurosurgery*. 1994;34(4):620-627.
 25. Debette S, Compter A, Labeyrie MA, et al. Epidemiology, pathophysiology, diagnosis, and management of intracranial artery dissection. *Lancet Neurol*. 2015;14(6):640-654.
 26. Arimura K, Iihara K. Surgical management of intracranial artery dissection. *Neurol Med -Chir*. 2016;56(9):517–523.
 27. Matsushima T, Matsukado K, Natori Y, Inamura T, Hitotsumatsu T, Fukui M. Surgery on a saccular vertebral artery-posterior inferior cerebellar artery aneurysm via the transcondylar fossa (supracondylar transjugular tubercle) approach or the transcondylar approach: surgical results and indications for using two different lateral skull base approaches. *J Neurosurg*. 2001;95(2):268–274.
 28. Sriamornrattanakul K, Akharathamachote N, Chonhenchob A, et al. Course of the V3 segment of the vertebral artery relative to the suboccipital triangle as an anatomical marker for a safe far lateral approach: a retrospective clinical study. *Surg Neurol Int*. 2022;13:304.
 29. Ota N, Tanikawa R, Miyama M, et al. A contralateral transcondylar fossa approach with bilateral V3 segment exposure for repairing complex vertebral artery aneurysms. *World Neurosurg*. 2017;99:340–347.
 30. Sriamornrattanakul K, Akharathamachote N, Wongsuriyanan S, Mongkolratnan A. Contralateral transcondylar fossa approach with bilateral V3 segment exposure for clipping of vertebral artery aneurysm which deviates across midline: a case report and review article. *Asian J Neurosurg*. 2019;14(3):930–934.
 31. Church EW, Bigder MG, Sussman ES, et al. Treatment of posterior circulation fusiform aneurysms. *J Neurosurg*. 2020;134(6):1894–1900.
 32. Frisoli FA, Srinivasan VM, Catapano JS, et al. Vertebrobasilar dissecting aneurysms: microsurgical management in 42 patients. *J Neurosurg*. 2021;137(2):1–9.
 33. Takahashi JC, Murao K, Iihara K, et al. Successful “blind-alley” formation with bypass surgery for a partially thrombosed giant basilar artery tip aneurysm refractory to upper basilar artery obliteration. *J Neurosurg*. 2007;106(3):484–487.
 34. Houkin K, Kamiyama H, Kuroda S, Ishikawa T, Takahashi A, Abe H. Long-term patency of radial artery graft bypass for reconstruction of the internal carotid artery. *J Neurosurg*. 1999;90(4):786–790.
 35. Sriamornrattanakul K, Akharathamachote N. Massive epistaxis from non-traumatic cavernous carotid aneurysm treated by high-flow bypass and cervical internal carotid artery ligation: a case report and review of the literature. *World Neurosurg*.

- 2019;128:23–28.
36. Sriamornrattanakul K, Sakarunchai I, Yamashiro K, et al. Surgical treatment of large and giant cavernous carotid aneurysms. *Asian J Neurosurg.* 2017;12(3):382–388.
 37. Ishikawa T, Yamaguchi K, Anami H, Sumi M, Ishikawa T, Kawamata T. Treatment of large or giant cavernous associated with persistent trigeminal artery: case report and review of literature. *World Neurosurg.* 2017;108:996.e11–996.e15.
 38. Miyamoto S, Funaki T, Iihara K, Takahashi JC. Successful obliteration and shrinkage of giant partially thrombosed basilar artery aneurysms through a tailored flow reduction strategy with bypass surgery. *J Neurosurg.* 2011;114(4):1028–1036.
 39. Nussbaum ES. Surgical distal outflow occlusion for the treatment of complex intracranial aneurysms: experience with 18 cases. *Neurosurgery (Baltim).* 2015;11 (Suppl 2):8–16. ; discussion 16.
 40. Hamasaki O, Ikawa F, Hidaka T, Kurokawa Y, Yonezawa U. Treatment of ruptured vertebral artery dissecting aneurysms: a short report. *Intervent Neuroradiol.* 2014;20 (3):304–311.
 41. Katsuno M, Matsuno A. Aneurysm trapping by both direct and endovascular surgery for vertebral artery dissection: a case report. *Surg Neurol Int.* 2018;9:10.
 42. Jahromi BR, Dashti R, Rustemi O, et al. Slow-closing clip for the treatment of nonsaccular vertebrobasilar aneurysms: a retrospective case series. *World Neurosurg.* 2022 Oct 12;168:e645–e665. S1878-8750(22)01435-8. Epub ahead of print.
 43. Yanagisawa T, Kinouchi H, Sasajima T, Shimizu H. Long-term follow-up for a giant basilar trunk aneurysm surgically treated by proximal occlusion and external carotid artery to posterior cerebral artery bypass using a saphenous vein graft. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2016;25(11):e212–e213.
 44. Kado K, Hirai S, Kobayashi S, et al. Potential role of the anterior spinal artery in preventing propagation of thrombus in a therapeutically occluded vertebral artery: angiographic studies before and after endovascular treatment. *Neuroradiology.* 2002; 44(4):347–354.
 45. Murakami K, Shimizu H, Matsumoto Y, Tominaga T. Acute ischemic complications after therapeutic parent artery occlusion with revascularization for complex internal carotid artery aneurysms. *Surg Neurol.* 2009;71(4):434–441. ; discussion 441.
 46. Kanematsu Y, Satomi J, Korai M, et al. Flow alteration therapy for vertebral artery dissecting aneurysms involving the posterior inferior cerebellar artery. *Neurol Med -Chir.* 2018;58(8):341–349.
 47. Kivipelto L, Niemelä M, Meling T, Lehecka M, Lehto H, Hernesniemi J. Bypass surgery for complex middle cerebral artery aneurysms: impact of the exact location in the MCA tree. *J Neurosurg.* 2014;120(2):398–408.
 48. Techasrisaksakul K, Sriamornrattanakul K, Akharathammachote N, Chonhenchob A, Mongkolratnan A, Ariyaprakai C. Microsurgical partial trapping for the treatment of unclippable vertebral artery aneurysms: Experience from 27 patients and review of literature. *World Neurosurg X.* 2023 Dec 5;21:100256.
 49. Takai N, Ezuka I, Sorimachi T, Kumagai T, Sano K. Vertebral artery dissecting aneurysm rebleeding after proximal occlusion—case report. *Neurol Med -Chir.* 1993; 33(11):765–768.
 50. Li Y, Horiuchi T, Nakagawa F, Hongo K. Vertebral artery dissecting aneurysm treated by proximal occlusion and posterior inferior cerebellar artery reconstruction with fenestrated clips—case report. *Neurol Med -Chir.* 2010;50(8):655–658.
 51. Tanoue S, Endo H, Hiramatsu M, et al, JSNET VADA study group. Delineability and anatomical variations of perforating arteries from normal vertebral artery on 3D DSA: implications for endovascular treatment of dissecting aneurysms. *Neuroradiology.* 2021;63(4):609–617.
 52. Aihara M, Naito I, Shimizu T, et al. Predictive factors of medullary infarction after endovascular internal trapping using coils for vertebral artery dissecting

- aneurysms. *J Neurosurg.* 2018;129(1):107–113.
53. Endo H, Matsumoto Y, Kondo R, et al. Medullary infarction as a poor prognostic factor after internal coil trapping of a ruptured vertebral artery dissection. *J Neurosurg.* 2013;118(1):131–139.
54. Kim BM, Shin YS, Kim SH, et al. Incidence and risk factors of recurrence after endovascular treatment of intracranial vertebrobasilar dissecting aneurysms. *Stroke.* 2011;42(9):2425–2430.
55. Mahajan A, Goel G, Das B, Narang KS. Dissecting aneurysm of vertebral artery involving the origin of posteroinferior cerebellar artery treated with retrograde stent placement and coil embolization in the era of flow diverter. *Asian J Neurosurg.* 2018; 13(3):910–913.
56. Shi L, Xu K, Sun X, Yu J. Therapeutic progress in treating vertebral dissecting aneurysms involving the posterior inferior cerebellar artery. *Int J Med Sci.* 2016;13 (7):540–555.
57. Cohen JE, Gomori JM, Moscovici S, et al. Flow-diverter stents in the early management of acutely ruptured brain aneurysms: effective rebleeding protection with low thromboembolic complications. *J Neurosurg.* 2021;135(5):1394–1401.