

原著

題名 :

マルチモダリティ評価に基づく内頸動脈バルーン閉塞試験

Multimodal Assessment for Balloon Test Occlusion of the Internal Carotid Artery

著者名 :

松原功明¹⁾, 泉 孝嗣¹⁾, 岡本 奨¹⁾, 荒木芳生¹⁾, 新帯一憲¹⁾, 田島隼人¹⁾, 今井資¹⁾, 伊藤真史¹⁾,
西堀正洋¹⁾, 宮地 茂²⁾, 若林俊彦¹⁾

Noriaki MATSUBARA¹⁾, Takashi IZUMI¹⁾, Sho OKAMOTO¹⁾, Yoshio ARAKI¹⁾, Kazunori SHINTAI¹⁾,
Hayato TAJIMA¹⁾, Tasuku Imai¹⁾, Masashi ITO¹⁾, Masahiro NISHIHORI¹⁾, Shigeru MIYACHI²⁾,
Toshihiko WAKABAYASHI¹⁾

所属 :

1) 名古屋大学大学院医学系研究科脳神経外科

Department of Neurosurgery, Nagoya University Graduate School of Medicine, Nagoya, Aichi,
Japan

2) 大阪医科大学脳神経外科

Department of Neurosurgery, Osaka Medical College, Takatsuki, Osaka, Japan

筆頭演者連絡先 :

松原功明, 名古屋大学大学院医学系研究科脳神経外科(〒466-8550 名古屋市昭和区鶴舞町 65 番
地)

Noriaki Matsubara, M.D., Department of Neurosurgery, Nagoya University Graduate School of
Medicine, 65 Tsurumai-cho, Showa-ku, Nagoya, Aichi 466-8550, Japan

Tel: 052-744-2353, Fax: 052-744-2360, E-mail: mnoriaki0817@yahoo.co.jp

Key Words : balloon test occlusion, internal carotid artery, multimodal

バルーン閉塞試験, 内頸動脈, マルチモダリティー

本論文を、日本脳神経血管内治療学会機関誌「Journal of Neuroendovascular Therapy (脳神経血管内治療)」に投稿するにあたり、筆頭演者、共著者によって、国内外の他雑誌に掲載ないし投稿されていないことを誓約致します。

本文(文献含) : 約 6000 字. 日本語要旨 : 約 450 字. 英文抄録 : 約 350 語. 図 : 4 枚, 表 : 1 枚

要旨

目的: 内頸動脈の母血管閉塞術に伴う虚血耐性の評価のためにバルーン閉塞試験 (balloon test occlusion; BTO)が行われる。当施設では複数の評価方法を組み合わせることでBTOの耐性評価を行っており、マルチモダリティー評価に基づくBTOについて報告する。

方法: 50件のBTOの結果を後方視的に分析した。評価方法は、バルーン閉塞中の神経症状の有無(低血圧負荷を含む)、脳血管撮影所見(側副血行の程度、毛細血管相-静脈相の左右差)、Perfusion CT及びstump pressureであり、耐性評価のアルゴリズムに基づき判定した。

結果: BTO耐性あり33件、部分耐性6件、耐性なし11件と判断された。耐性評価に基づき選択された治療による血行動態機序による虚血性合併症は2例であった。1例はBTOにて部分耐性と評価されたが、患者の強い希望によりバイパスを行わず母血管閉塞術のみが行われた症例であった。

結論: マルチモダリティー評価に基づく内頸動脈BTOはより正確な耐性評価に有用である。

OBJECTIVE

Permanent therapeutic occlusion of the carotid artery is one of the treatment options for patients with a large/giant internal carotid artery aneurysm or tumor involving neck or skull base. Balloon test occlusion (BTO) is performed to predict the tolerance of parent artery occlusion (PAO). The authors combined various modalities to improve the sensitivity of BTO. The purpose of this study is to present the efficacy of the multimodal BTO.

METHODS

Between January 2008 and September 2014, a total of 50 patients (internal carotid aneurysms: 39; neck or skull base tumor: 8; others: 3; mean 58.4 years; range 7-81 years; 10 men and 40 women) underwent multimodal BTO. Tolerance of PAO was evaluated by the algorithm with various assessment modalities including neurological symptom with/without induced hypotension, finding of angiogram (collateral flow, venous phase laterality), perfusion CT, and stump pressure. Clinical data of patients with BTO were analyzed retrospectively. Procedures were performed in the angio/CT combination suite. BTO was performed in the usual fashion and when the patient passed the immediate test occlusion, perfusion CT was performed. Subsequently, the angiogram under balloon inflation was followed. If the patient did not show neurological symptoms for 20 minutes, hypotension was induced by intravenous injection of the vasodilator. Neurological symptoms were then checked for more than 30 minutes.

RESULTS

By multimodal assessment of BTO, 33 patients were considered tolerable, 6 were partially tolerable, and 11 were intolerable. Thirteen of 33 patients with predictive tolerance underwent PAO without bypass and all but one showed no hemodynamic ischemia postoperatively. Three of 6 patients with predictive partial tolerance were treated by PAO with extracranial-intracranial bypass, and they experienced no hemodynamic ischemia. In contrast, 1 with predictive partially tolerance treated by PAO without bypass developed ischemic events as feared.

CONCLUSIONS

The multimodal BTO is helpful to evaluate the tolerance of PAO and is a reliable predictor of postoperative ischemic events. It reduces risks and increases treatment safety for permanent therapeutic occlusion of the carotid artery.

緒言

巨大内頸動脈瘤や血栓化動脈瘤の治療の一つとして内頸動脈 (internal carotid artery: ICA) の母血管閉塞術が選択される。治療による内頸動脈閉塞に伴う虚血耐性やバイパス手術の必要性の評価のためにバルーン閉塞試験 (balloon test occlusion; BTO)が行われる¹⁾。また、頸部悪性腫瘍や頸動脈小体腫瘍のように頸部手術による血管合併切除や血管閉塞の可能性がある場合にも BTO が行われている²⁾。一方で BTO の手技や評価方法については施設ごとに様々であり画一されていない。当施設では複数の評価方法を組み合わせることで BTO の耐性評価を行っている。当施設におけるマルチモダリティ評価に基づく BTO とその結果について報告する。

方法

対象

2008 年-2014 年の 7 年間に行われた 50 件の内頸動脈 BTO を後方視的に分析した。男性 10 例で女性 40 例、平均年齢は 58.4 才±16.7 才 (7-81 才)であった。対象疾患は、内頸動脈瘤 39 例、頸部動脈瘤/頸部腫瘍 8 例、頭蓋底腫瘍 1 例、内頸動脈海綿静脈洞瘻 1 例であった。神経合併症の程度は治療 2 ヶ月後の modified Rankin Scale (mRS)にて評価した。

バルーン閉塞試験手技

局所麻酔下に手技を行い、正確な神経学的評価のため基本的には鎮静剤は使用しなかった。ICA 閉塞用のバルーンカテーテルを大腿動脈から、閉塞中の血管撮影のための診断カテーテルを上腕動脈から挿入した。閉塞用バルーンカテーテルは、5Fr のダブルルーメンタイプ (セレコン MP カテーテル, テルモクリニカルサプライ, 岐阜) を使用した。基本的にバルーンカテーテルを頸部 ICA に誘導し頸部での BTO を行った。アクセスルートや頸動脈プラークの存在、ICA の蛇行の程度によっては、PercuSurge GuardWire (Medtronic, Santa Rosa, CA, USA) にて代用し頸部 ICA を一時閉塞した³⁾。また、初期の症例を除き persistent primitive artery (PPA) が存在する場合は、バルーンカテーテルによる頸部 ICA での閉塞に加え、マイクロバルーンカテーテル (HyperForm/HyperGlide, Covidien, Irvine, CA, USA) を用いて PPA 分岐部やより末梢部の ICA で閉塞した。ICAバルーン閉塞直後に神経症状がない場合、画像診断として血管撮影と perfusion CT を行った。ICA 閉塞中に、対側の総頸動脈 (common carotid artery: CCA)撮影、同側の CCA 撮影 (ICA が遮断されており実際は ECA 撮影)、椎

骨動脈 (VA)撮影を行い側副血行の有無を調べるとともに血行動態の評価を行った。
当施設での perfusion CT の概略を示す。CT 装置は TOSHIBA AREX-VT800A/Multi-slice CT Asterion 4 列(東芝メディカルシステム, 栃木)を使用した。脳血管撮影室内に CT が設置されている、いわゆる angio-CT system である^{4,5)}。解析ソフトは Perfusion Mismatch Analyzer (PMA) (ASIST-Japan)を使用した。脳血流量 (cerebral blood flow: CBF)、脳血液量 (cerebral blood volume: CBV)、平均通過時間 (mean transit time: MTT)、ピーク到達時間 (time to peak: TTP) を定性的に画像化した。
動脈圧測定ラインにて ICA 閉塞中の stump pressure を測定した^{6,7,8)}。ICA 閉塞前後の stump pressure の圧変化で ICA が確実に閉塞できているか確認した。
約 20 分間の ICA 閉塞にて神経症状がないことが確認された場合、低血圧負荷を行った^{2,9)}。ニカルジピンを静脈注射し、収縮期血圧を約 30% (もしくは 80-90mmHg 台まで) 低下させ神経症状の有無を確認した。低血圧負荷を含む約 30 分間の ICA 閉塞時における神経症状の有無を確認した。

複合評価による耐性の評価

耐性の有無については、以下の項目を総合的に判断し判定した。以下の 1 から 4 の数値は優先順位を示す。1. 低血圧負荷なしでの神経症状の有無。2. 低血圧負荷での神経症状の有無。3. 脳血管撮影所見。4. Perfusion CT 及び stump pressure。低血圧負荷における神経症状と脳血管撮影所見を重視している。脳血管撮影では、前交通動脈や後交通動脈からの側副血行の程度を評価するとともに¹⁰⁾、バルーン閉塞中の毛細血管相～静脈相の左右差により耐性を判断した^{8,11,12)}。左右差が 2 秒以上で耐性なし、1-2 秒を境界域、1 秒以内を耐性ありと判断した。

Perfusion CT は定性評価にて CBF、CBV、MTT、TTP を総合的に判断したが、CBF 所見を主な判断項目とし、左右差なしを耐性、軽度の左右差を境界域、左右差ありを不耐性とした。Perfusion CT 所見は 2 名の脳血管内治療専門医にて評価し判断した。

Stump pressure は 50mmHg 以上を耐性、30-50mmHg を境界域、30mmHg 未満を不耐性とした。耐性評価のアルゴリズムを Fig.1 に示す。

結果

BTO に伴う合併症

BTO に伴う虚血性合併症が 3 例 (6.0%) でみとめられた。2 例で shower embolism が発生し、

そのうち 1 例で軽度の麻痺が残存した (mRS 2)。1 例でバルーン閉塞の解除後に中大脳動脈末梢に血栓性塞栓性閉塞がみとめられたが無症候性で経過した。虚血性合併症 3 例は、いずれも ICA 遮断中もしくは低血圧負荷にて神経症状を呈した不耐性の症例であった。その他、バルーンカテーテル誘導時のワイヤー操作による動脈解離が 1 例みとめられたが無症候性であった。

BTO による耐性の評価

35 例が低血圧負荷を含む 30 分間の ICA 閉塞にて神経症状を示さなかった。このうち 2 例は脳血管撮影所見での左右差をみとめたため「BTO 部分耐性」と判断された。したがって 33 例が「BTO 耐性あり」と判断された。

低血圧負荷にて神経症状を呈したものが 5 例みとめられた。1 例は脳血管撮影所見と perfusion CT での左右差をみとめ stump pressure が低値だったことから「BTO 耐性なし」と判断した。残る 4 例が「BTO 部分耐性」と判断された。

ICA 閉塞のみで神経症状を示したものが 10 例みとめられた。6 例では ICA 遮断直後から神経症状をみとめた。この 10 例は「BTO 耐性なし」と判断された。

以上をまとめると、「BTO 耐性あり」が 33 例、「BTO 部分耐性」が 6 例、「BTO 耐性なし」が 11 例と判断された。Fig.2 に Fig.1 のアルゴリズムにもとづいた BTO の評価結果について示す。Fig.3 に BTO 耐性、Fig.4 に BTO 部分耐性の一例を示す。

治療方法と合併症

Table 1 に BTO 耐性評価と選択された治療方法、治療に伴う合併症について示す。

「BTO 耐性あり」と判断された 33 例の治療法と合併症

33 例中 11 例で母血管閉塞のみが施行され、3 例で母血管閉塞+ high-flow bypass、3 例で母血管閉塞+ STA-MCA bypass が行われた。13 例は母血管閉塞を伴わない方法で治療が行われた。また、3 例が経過観察となった。母血管閉塞の方法は internal trapping が 9 例、直達手術が 1 例であった。

母血管閉塞のみが行われた 11 例のうち 1 例 (9.1%) に血行動態機序による症候性虚血性合併症が出現した。本例は ICA と脳底動脈の間に primitive trigeminal artery (PTA) が存在しており、PTA の存在により評価が不十分であった。また、internal trapping 中の血栓塞栓性機序による虚血性合併症が 1 例みとめられた。いずれも後遺症なく症状は軽快した (mRS 0)。

上記2例以外の5例においてMRI拡散強調画像での小さな高信号域がみとめられた。虚血巣の所見から、術中の血栓塞栓機序が2例、血行動態機序が5例と考えられた。

「BTO耐性あり」と判断されたが、high-flow bypassが選択された3例の理由は、若年者が1例、対側の動脈瘤の存在が2例であった。1例でbypass部の虚血により症候性合併症が出現したが回復した(mRS 0)。

STA-MCA bypassが選択された3例の理由は、術者の意向(2例)と患者希望(1例)であった。症候性合併症は出現しなかった。

「BTO部分耐性」と判断された6例の治療法と合併症

6例中3例で母血管閉塞術+ STA-MCA bypassが行われた。1例は母血管閉塞を伴わない方法で治療が行われ、1例が経過観察となった。1例はSTA-MCA bypassを勧めたものの患者の強い希望にて母血管閉塞術(internal trapping)のみが施行された(Fig.4)。この1例は母血管閉塞直後より血圧低下に伴い神経症状が繰り返し出現し、MRIにて分水嶺に虚血巣が認められたため、緊急にSTA-MCA bypassが追加された。最終的に軽度の神経症状が残存した(mRS 1)。STA-MCA bypassの1例で軽度の虚血症状が出現したが1週間で回復した。MRI拡散強調画像で虚血巣はみとめなかった(mRS 0)。

「BTO耐性なし」と判断された11例の治療法と合併症

11例中6例でhigh-flow bypassと母血管閉塞による治療が施行され、4例は母血管閉塞を伴わない方法での治療が行われた。1例が経過観察となった。

High-flow bypass施行例は6例中2例で永続的合併症がみとめられた。1例で過灌流により軽度の麻痺と失語が残存した(mRS 1)。1例は頸部ICAの結紮不全により虚血性合併症が出現し記憶力障害が残存した(mRS 2)。上記以外のイベントとしては、1例で合併していた未破裂前交通動脈瘤が破裂し死亡した(mRS 6)。

考察

BTO手技による合併症

BTOの手技自体による合併症に関する過去の報告では、全合併症率が3.2-4.2%、そのうち神経症状を呈するものが1.6-1.7%、永続的な神経症状が0.3-0.8%であった^{13,14,15)}。合併症

の原因は、本シリーズと同様に手技中の血栓塞栓性閉塞や内頸動脈の解離であった。本シリーズにおいては BTO に伴う合併症が 4 例 (8.0%) でみとめられた。そのうち 2 例 (4.0%) で虚血による神経症状を呈し 1 例 (2.0%) で症状が残存した。虚血性合併症はいずれも ICA 遮断途中もしくは低血圧負荷にて神経症状を呈した不耐性の症例であった。Shower embolism がみとめられており不耐性に関係し生じたものと考えられた。一方、ICA 遮断直後から神経症状を呈するような明らかな不耐性例や、30 分以上の ICA 遮断への耐性例には虚血性合併症はみとめられなかった。明らかな不耐性例では ICA 遮断が逆に短時間となり虚血性合併症が起きにくい、ICA 遮断途中での不耐性例では血行動態機序による虚血性合併症に注意する必要がある。検査前の MRA/3D-CTA の所見から Willis 動脈輪の発達具合を評価し不耐性が想定される場合には¹⁰⁾、より注意して手技を行うべきであろう。当施設では、虚血性合併症を防ぐために、検査中の全身へパリン化を十分に行うことと (activated clotting time 250-300 秒を目標としている) バルーン閉塞中のカテーテル先端からのヘパリン加生理食塩水による灌流をしっかりと行うことを心がけている。

BTO による耐性の評価

BTO は一過性に内頸動脈の閉塞状態を作成することで、永久閉塞後の神経症状や血行動態を予測する手技である。BTO の結果を基に治療方針が決定されるが、閉塞後の状態を完全にシミュレーションできるわけではない。正確に予測するのは困難であるが、結果の信頼性を高めるために、神経学的評価以外に様々な方法が用いられている。

BTO のモニタリングとしてこれまでに様々な方法が報告されている。まず、ICA 遮断時の神経症状の有無を評価することが最も重視される¹⁾。それに加え低血圧負荷時における神経症状の有無の評価が行われる^{2,9)}。脳血管撮影所見としては、ICA 遮断時における静脈相の左右差や循環時間^{8,11,12)}、Willis 動脈輪の発達具合 (前交通動脈や後交通動脈からの側副血行)¹⁰⁾が評価されている。また、ICA 閉塞断端の stump pressure 値が測定される^{6,7,8)}。脳血流の測定機器としては、SPECT^{6,16)}、perfusion CT^{17,18,19)}、経頭蓋超音波ドプラ²⁰⁾、PET-CT²¹⁾ 等、様々な機器が用いられている。これは逆に、虚血耐性評価のための脳血流検査として普遍的な測定機器が定まっていないということでもある。現状では各施設の状況に応じてこれらのモニタリング機器が使用され、先述の評価項目を様々な組み合わせで評価が行われている。当施設では、先に述べたように、低血圧負荷を含む神経症状の有無、脳血管撮影所見、perfusion CT 及び stump pressure の結果を複合的に評価し耐性を判断している (マルチモダリティーBTO)。当施設においては perfusion CT は補助的な役割だが、SPECT や PET-CT のように脳血流検査のために検査室に移動する必要がないことは利点である。

文献的には、神経学評価のみでは偽陰性が 13-15%、脳血流検査を評価に加えた場合は偽陰

性が3-10%との報告されている^{2,22)}。本シリーズでは「BTO 耐性」と判断され母血管閉塞のみが行われた11例中1例のみ(9.1%)血行力学的機序による虚血性合併症が出現した。ただ、虚血性合併症を生じた1例はPPTAを伴う症例であり後方視的に見るとBTOの方法自体が不十分であった。本症例を経験してからは、PPAが存在する場合、頸部ICA閉塞に加えPPA分岐部以降での閉塞を行う方法にした。頸部ICAでBTOを行う場合、頸部から実際の閉塞部位までのICAから出る分枝を介する側副血行が残るため、偽陰性となる可能性を念頭に置く必要がある²³⁾。

「BTO 部分耐性」と判断されたものの母血管閉塞術のみが施行された1例で術後に血行力学的機序による虚血症状を生じておりBTO評価から予見された通りの結果であった。本シリーズでは、母血管閉塞を伴わない方法が選択された症例が多くあり(50例中23例)、治療法の選択においてバイアスが存在した可能性があるものの、母血管閉塞による虚血耐性について十分に評価できていたと考えられる。

神経学的評価・脳血管撮影所見・stump pressureに現状では各施設の事情に応じた脳血流検査を組み合わせたマルチモダリティによるBTO (Fig.1)は有用な虚血耐性に対する評価方法である。

BTOの対象となるような内頸動脈瘤においては、対側ICAにも動脈瘤を有する例が少なくない。母血管閉塞を行った場合に血流の変化に伴い既存の動脈瘤にストレスがかかる可能性があり、虚血耐性以外の問題の一つである²⁴⁾。Pipeline等のフローダイバーターは母血管を温存した上で動脈瘤を閉塞させることができる理想的な治療であるが、血栓塞栓症や出血性合併症等、解決されていない部分が残っている²⁵⁾。現状では、BTOにて虚血耐性があれば、母血管閉塞は圧迫症状への速効性や動脈瘤の根治性が高く²⁶⁾第一に考慮されるべき治療法である。

結論

マルチモダリティ評価に基づく内頸動脈BTOはより正確な虚血耐性評価に有用である。

本論文に関して開示すべき利益相反状態は存在しない。

文献

1. Mehta V, Mack WJ: Balloon test occlusion in the setting of vessel sacrifice: procedural refinements and adjunct assessment measures. *World Neurosurg* 2015; 83: 7-8.
2. Dare AO, Gibbons KJ, Gillihan MD, et al: Hypotensive endovascular test occlusion of the carotid artery in head and neck cancer. *Neurosurg Focus* 2003; 15; 14(3): e5.
3. 宮地茂: 技之章 動脈瘤 トラッピング 1)巨大内頸動脈瘤 ①内頸動脈閉塞試験 (balloon occlusion test: BOT). *脳血管内治療兵法書*. 大阪, メディカ出版, 2015, 172-175
4. 糸川博, 鈴木龍太, 森谷匡雄, 他: IVR-CT/angio system を用いた血管内手術手技中の脳循環評価. *No shinkei Geka* 2006; 34: 281-286.
5. Toshiba America Medical System: Products, Angiography, Angio-CT (<https://medical.toshiba.com/products/angiography/angio-ct/>) [Accessed 12 December 2015]
6. Kato K, Tomura N, Takahashi S, et al: Balloon occlusion test of the internal carotid artery: correlation with stump pressure and 99mTc-HMPAO SPECT. *Acta Radiol* 2006; 47: 1073-1078.
7. Kurata A, Miyasaka Y, Tanaka C, et al: Stump pressure as a guide to the safety of permanent occlusion of the internal carotid artery. *Acta Neurochir (Wien)* 1996; 138: 549-554.
8. Wang AY, Chen CC, Lai HY, et al: Balloon test occlusion of the internal carotid artery with stump pressure ratio and venous phase delay technique. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2013; 22: e533-e540.
9. Standard SC, Ahuja A, Guterman LR, et al: Balloon test occlusion of the internal carotid artery with hypotensive challenge. *Am J Neuroradiol* 1995; 16: 1453-1458
10. Kikuchi K, Yoshiura T, Hiwatashi A, et al: Balloon test occlusion of internal carotid artery: Angiographic findings predictive of results. *World J Radiol* 2014; 6: 619-624.
11. Abud DG, Spelle L, Piotin M, et al: Venous phase timing during balloon test occlusion as a criterion for permanent internal carotid artery sacrifice. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005; 26: 2602-2609.
12. van Rooij WJ, Sluzewski M, Slob MJ, et al: Predictive value of angiographic testing for tolerance to therapeutic occlusion of the carotid artery. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005; 26: 175-178.
13. 勝間田篤, 杉生憲志, 佐々原渉, 他: 内頸動脈閉塞試験の合併症 -119 例の経験から-. *脳神経外科ジャーナル* 2004; 13: 572-577.
14. Mathis JM, Barr JD, Jungreis CA, et al: Temporary balloon test occlusion of the internal carotid artery: experience in 500 cases. *AJNR Am J Neuroradiol* 1995; 16: 749-754.
15. Tarr RW, Jungreis CA, Horton JA, et al: Complications of preoperative balloon test

occlusion of the internal carotid arteries: experience in 300 cases. *Skull Base Surg* 1991; 1: 240-244.

16. Kaminogo M, Ochi M, Onizuka M, et al: An additional monitoring of regional cerebral oxygen saturation to HMPAO SPECT study during balloon test occlusion. *Stroke* 1999; 30: 407-413.

17. Ebara M, Murayama Y, Saguchi T, et al: Balloon Test Occlusion with Perfusion CT Imaging Utilizing Intraarterial Contrast Injection. *Interv Neuroradiol* 2006; 20;12(Suppl 1): 241-245.

18. Jain R, Hoeffner EG, Deveikis JP, et al: Carotid perfusion CT with balloon occlusion and acetazolamide challenge test: feasibility. *Radiology* 2004; 231: 906-913.

19. Zhu W, Tian YL, Zhou LF, et al; Treatment strategies for complex internal carotid artery (ICA) aneurysms: direct ICA sacrifice or combined with extracranial-to-intracranial bypass. *World Neurosurg* 2011; 75 3/4: 476-484.

20. Sorteberg A, Bakke SJ, Boysen M, et al. Angiographic balloon test occlusion and therapeutic sacrifice of major arteries to the brain. *Neurosurgery* 2008; 63: 651-660.

21. Brunberg JA, Frey KA, Horton JA, et al: [15O]H₂O positron emission tomography determination of cerebral blood flow during balloon test occlusion of the internal carotid artery. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994; 15: 725-732.

22. Linskey ME, Jungreis CA, Yonas H, Hirsch WL Jr, Sekhar LN, Horton JA, Janosky JE Stroke risk after abrupt internal carotid artery sacrifice: accuracy of preoperative assessment with balloon test occlusion and stable xenon-enhanced CT. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994; 15: 829-843.

23. Allen JW, Alastra AJ, Nelson PK. Proximal intracranial internal carotid artery branches: prevalence and importance for balloon occlusion test. *J Neurosurg* 2005; 102: 45-52.

24. Uozumi Y, Okamoto S, Araki Y, et al: Treatment of Symptomatic Bilateral Cavernous Carotid Aneurysms: Long-term Results of 6 Cases. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2015; 24: 1013-1018.

25. Kallmes DF, Hanel R, Lopes D, et al: International retrospective study of the pipeline embolization device: a multicenter aneurysm treatment study. *AJNR Am J Neuroradiol* 2015; 36: 108-115.

26. Turfe ZA, Brinjikji W, Murad MH, et al: Endovascular coiling versus parent artery occlusion for treatment of cavernous carotid aneurysms: a meta-analysis. *J Neurointerv Surg* 2015; 7: 250-255.

Figure legend

Fig.1

Multimodal assessment algorithm for balloon test occlusion of internal carotid artery.

Fig.2

BTO results of 50 cases depending on multimodal assessment.

Fig.3

65-year-old female with symptomatic large left ICA aneurysm.

A: Left internal carotid angiogram (A-P view).

B: 3D-DSA of left internal carotid angiogram (lateral view).

C: Perfusion CT image during BTO shows no asymmetry of CBF.

D and E: Right carotid angiogram of capillary and venous phase during BTO demonstrates synchronous filling between the two hemispheres.

The patient had tolerance during BTO with hypotension. Stump pressure was 67/49 (mean 60). She was considered to be tolerant for permanent ICA occlusion

F: Right carotid angiogram after internal trapping of left ICA. No neurological symptoms appeared postoperatively.

Fig.4

The patient is a 77-year-old female with symptomatic large left ICA aneurysm. Panel A and B show the left internal carotid angiogram (A-P view) and 3D-DSA, respectively. Perfusion CT image during BTO shows asymmetry and CBF decreases in left hemisphere (C). Right carotid angiogram of capillary (D) and venous phase (E) during BTO demonstrates asynchronous between the two hemispheres. The patient had no apparent neurological symptom during BTO and stump pressure was 55/42 (mean 48). She was considered to be partially tolerant for permanent ICA occlusion. The authors recommended ICA occlusion and STA-MCA bypass. However, the patient refused the bypass procedure; therefore, only internal trapping was performed. Postoperatively, the patient repeatedly presented transient ischemic symptoms, and MRI diffusion weighted image demonstrated high intensity spots in left watershed (F). Rescue STA-MCA bypass was performed and her symptom completely disappeared.

Table 1

BTO results (tolerance status), selected procedures and complications.

Tolerance status of BTO	Treatment	n	Neurological complication (n)	Cause of complication and mRS at 2 month follow-up
BTO Tolerance	Total	33		
	PAO	11	2	1; Ischemia, thromboembolic (mRS0) 1; Ischemia, hemodynamic (mRS0)
	PAO+ HFB	3	1	1; Ischemia, surgical site (mRS1)
	PAO+STA-MCA	3	0	None
	Treatment w/o PAO	13	0	None
	Observation	3	0	None
BTO Partial Tolerance	Total	6		
	PAO	1	1	1; Ischemia, hemodynamic (mRS1)
	PAO+ HFB	0	NA	NA
	PAO+STA-MCA	3	0	None
	Treatment w/o PAO	1	0	None
	Observation	1	0	None
BTO Intolerance	Total	11		
	PAO	0	NA	NA
	PAO+ HFB	6	3	1; Hyperperfusion (mRS1), 1; Ischemia, thromboembolic (mRS2), 1; Subarachnoid hemorrhage (mRS6)
	PAO+STA-MCA	0	NA	NA
	Treatment w/o PAO	4	0	None
	Observation	1	0	None

BTO: balloon test occlusion; PAO: parent artery occlusion; HFB: high-flow bypass; STA-MCA: superficial temporal artery- middle cerebral artery; NA: not available; mRS: modified Rankin Scale

Fig.1

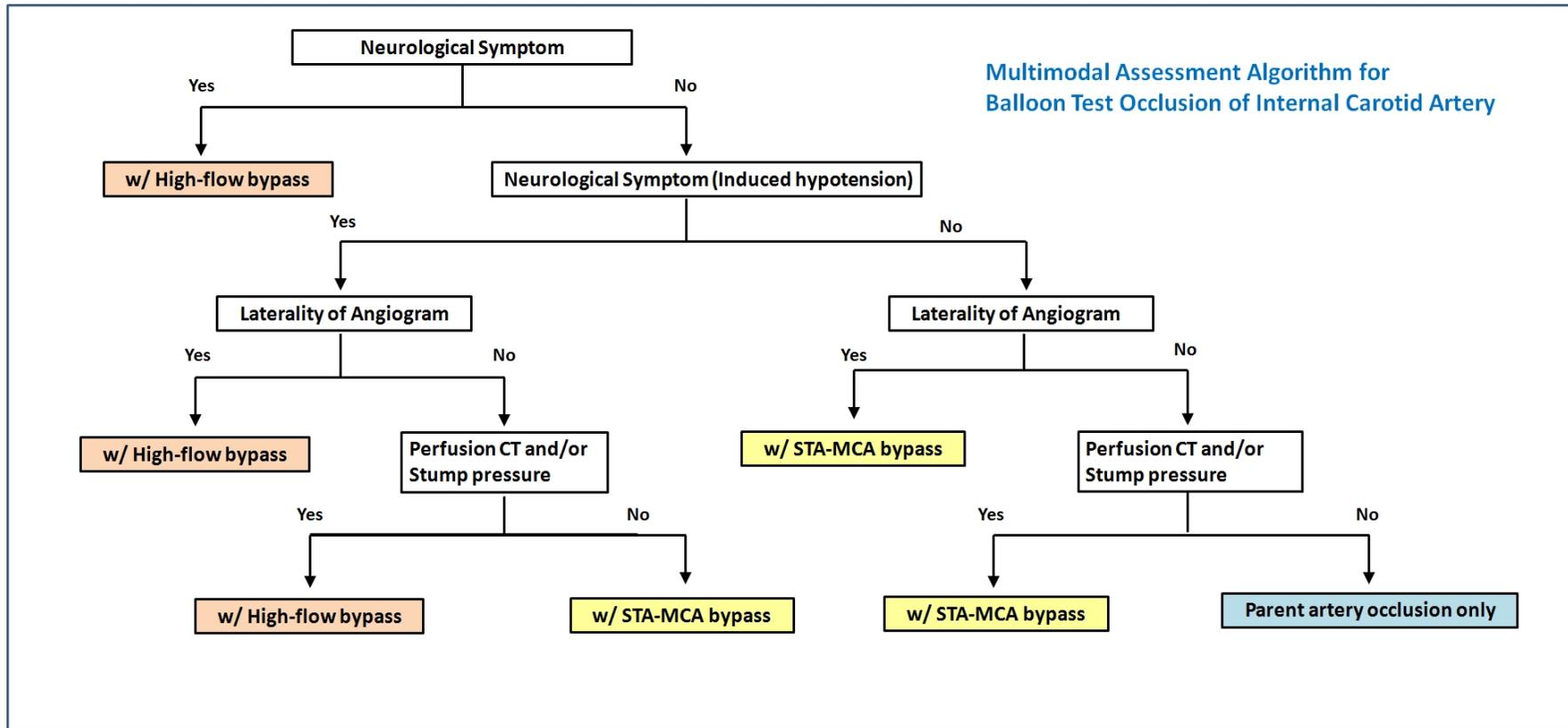


Fig.2

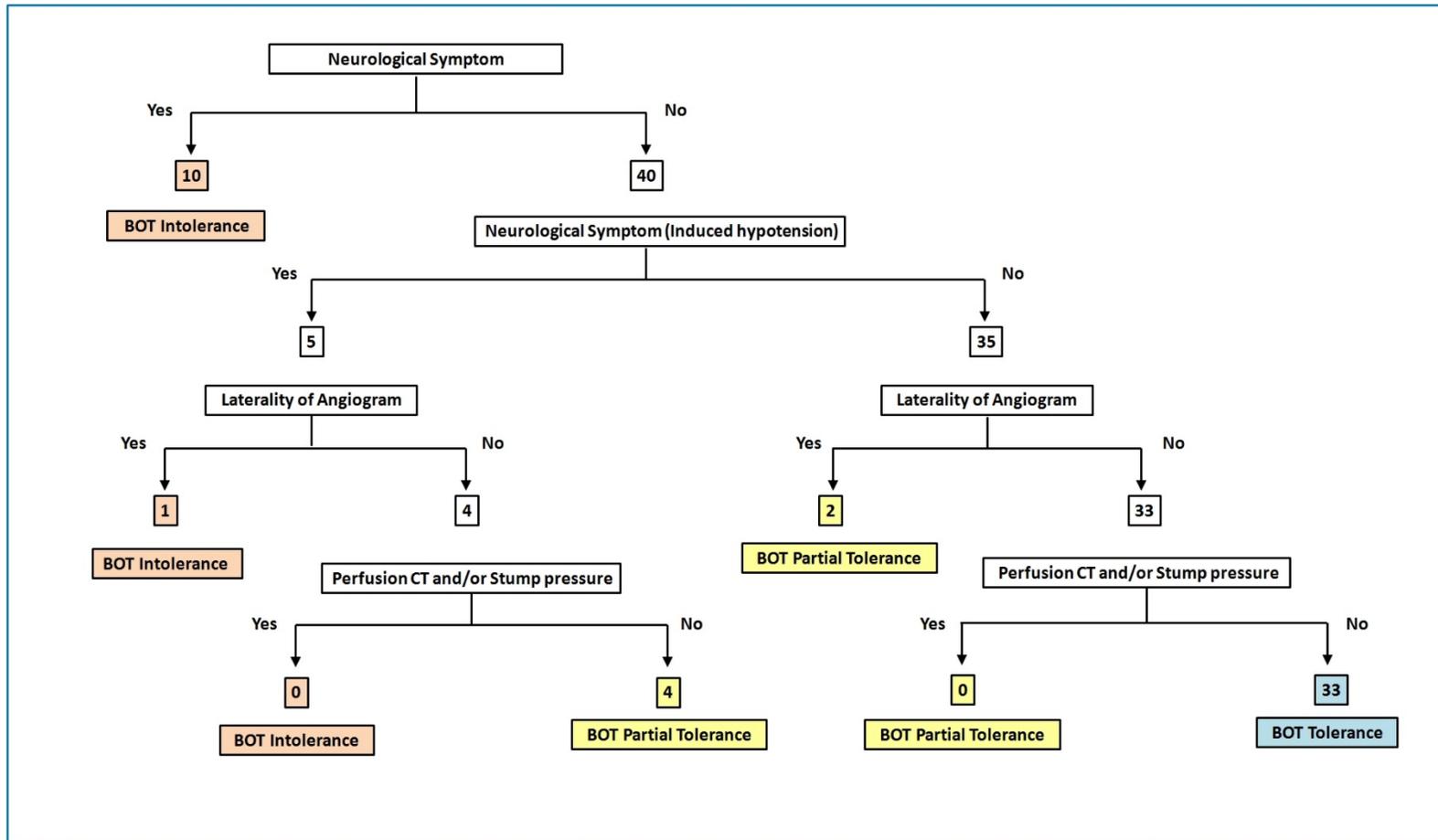


Fig.3

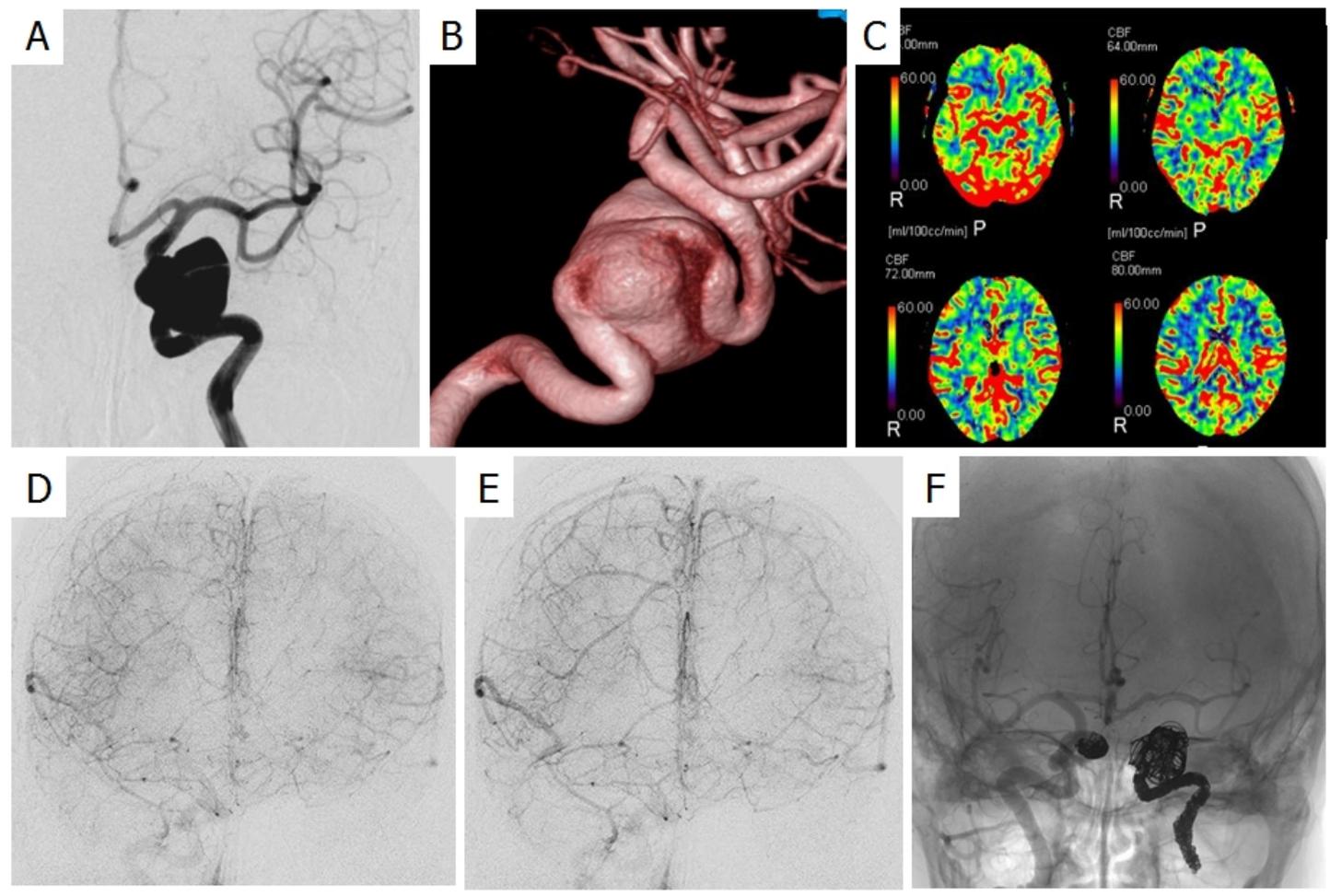


Fig.4

