

11. 急性期脳梗塞診断標準化の重要性

清水 宏明¹⁾ 社本 博¹⁾ 藤原 悟¹⁾ 富永 悌二²⁾

広南病院 脳神経外科¹⁾
東北大学 神経外科学分野²⁾

はじめに

「脳卒中治療ガイドライン2004」⁴⁾が発表され、脳梗塞においても治療の質の確保に大きな貢献をするものと期待される。一方、本ガイドラインを有効に使用するためには、正しい診断が前提であるが、診断に関するガイドラインや標準化はなされておらず、各医師や施設にまかされているのが現状である。とくに、脳梗塞急性期の診断は必ずしも容易でなく、さらに可能な検査機器や検査結果の解釈などの点で施設や医師によるばらつきも大きい可能性がある。そこで当院では、急性期脳梗塞の診断に関する標準化を目指し、主に研修医をターゲットとし院内診断マニュアルを作成した。

当院における急性期脳梗塞患者の診療の流れ

本研究における急性期脳梗塞は発症3日以内のものとした。急性期脳梗塞患者来院後、経過や現症を聴取・把握しつつまずCTを施行。局所神経脱落症状が存在し、CTで出血を認めない場合に急性期脳梗塞の可能性ありと判断した。CTで梗塞巣がないか、あっても病態把握に不十分な場合、引き続き緊急MRIを施行した。MRIは“Stroke MRI”としてメニューをセット化し、拡散強調MRI(DWI)、T2強調MRI(T2WI)、T2*強調MRI(T2*WI)、頭蓋内および頸部MRAを必須とし、必要に応じてperfusion MRIを施行した。

脳梗塞の可能性ありとしてStroke MRIを施行しても明らかな所見を認めない場合や症状と合

致しない場合は、頸椎症、脳炎、MELAS、静脈性疾患などの鑑別に努めた。

急性期脳梗塞診断マニュアルの作成と運用

急性期脳梗塞診断マニュアルを作成するにあたり、脳梗塞分類はNINDS III(1990)に従い、ラクナ梗塞、アテローム血栓性梗塞、アテローム血栓性塞栓、心原性塞栓、動脈解離性梗塞、TIAに分類することを目標とした。他に未分類非ラクナ梗塞として機序不明の非ラクナ梗塞を扱う項目を設けた。TIAは症状や画像所見からラクナタイプ、心原性塞栓タイプ、アテローム血栓タイプに細分類した。マニュアルの詳細を次項に示した。

マニュアルを基に作成した急性期脳梗塞診断チェックリストをカルテに綴じ込むことにより、担当医がカルテに記載していく流れのなかで診断が可能となるように工夫した。

急性期脳梗塞診断マニュアル

(2005年5月版を一部改変)：参考文献^{1,2,3,5,6,7)}

1) ラクナ梗塞：A+BまたはA+C

A. 症状がラクナ梗塞として矛盾しない。

B. 大脳基底核、視床、放線冠、あるいは脳幹の長径15mm未満の単発梗塞。穿通枝が起始する主幹動脈の軽度動脈硬化(狭窄度50%未満)があってもよい。

C. 上記部位で長径15-20mmで穿通枝が起始する主幹動脈の動脈硬化所見なし。

*Bの部位の上記以外の小梗塞は、病理学的にはBranch atheromatous disease(BAD)と考え、

アテローム血栓性梗塞に含める。上記診断基準とBADの病理学的定義より、本基準では、BADはラクナと診断されることもアテローム血栓性と診断されることもある。

*striatecapsular infarction, 半卵円中心の小梗塞, subinsulaにかかるとのなど、非典型的的部位は、心原性塞栓・アテローム血栓性梗塞を疑って十分検査を行う。明らかな原因がなければ上記にしたがって診断する。責任穿通枝の起始部を含んで主幹動脈が閉塞している場合は梗塞の部位や大きさにかかわらずアテローム血栓性梗塞とする。

2) 心原性塞栓：A ①+B 3項目以上

心原性塞栓疑い=A ①+B 3項目以上+CまたはA ①+B 2項目またはA ②+B 3項目以上(C ②があればアテローム血栓性塞栓と診断)(*MR不可の場合も本基準に従う)

A. ①塞栓源となる心疾患(Af, 弁疾患, 心筋梗塞, 心筋症, 心房内血栓など)あり, ②①が確認できないが疑わしい。

B. ①突発完成型発症, ②心原性脳塞栓または他臓器塞栓(疑い含む)の既往・併発, ③発症時 somnolence (JCS 10 or GCS 12)以上の意識障害または皮質症状あり, ④特徴的な血管撮影所見(MRA, CTAまたはDSAにおいて以下のどれか): i) 栓子陰影, ii) 再開通(梗塞巣支配血管に狭窄閉塞なし), iii) 多発分枝閉塞(showering), iv) 動脈硬化所見に乏しい, ⑤特徴的CT/MR所見(以下のいずれか): i) 大脳皮質または小脳梗塞で境界明瞭または複数血管支配域, ii) 出血性梗塞, iii) hyperdense MCA sign.

C. 除外項目: ①塞栓源となる全身疾患あり(プロテインC, S異常, 抗カルジオリピン抗体など), ②責任血管中枢側に塞栓源となる病変あり(ulcerを伴う動脈硬化病変, NASCET法で50%以上の高度狭窄, 解離など。これらはA-A embolismと診断)。

3) アテローム血栓症

アテローム血栓性梗塞: A+B 2項目以上 or BADと思われる小梗塞(定義は上記)。

A. 責任血管が閉塞し, 心原性塞栓・アテローム血栓性塞栓に該当しない。

B. ①突発完成型発症でない, ②梗塞巣は責任

血管の支配領域の一部, ③塞栓源となる心疾患がない, ④他の血管に動脈硬化強い。

アテローム血栓性塞栓: Aが1項目+Bが2項目以上。

A. ①梗塞巣の責任血管が閉塞し, それより中枢側に50%以上狭窄を認める。

*中枢側病変はCC, IC, VA, BA, subclavai, aortaの場合閉塞でも可, ②梗塞巣の責任血管に異常ないがその中枢側に50%以上狭窄を認める(*同)。責任血管閉塞が小動脈で確認できないか再開通したと推測できる。

B. ①発症が突発完成型か階段状増悪型であり, 緩徐進行型でない, ②梗塞巣は閉塞血管の支配領域ほぼ全体を占める, ③同一血管支配領域に複数の梗塞がある(同時非同時は不問), ④塞栓源となる心疾患がない, ⑤他の血管に動脈硬化が強い。

血行力学性梗塞: もともと主幹動脈閉塞あり, その領域に血栓性梗塞を起こした場合(多くは脱水や低血圧による)。これ以外で急性期に血行力学性梗塞と診断するのは困難。

4) 動脈解離性梗塞: A+B 1項目以上

A. 突発発症

B. 症状と一致した特徴的DSA/MRA所見: ①double lumen or intimal flap, ②stenosis with dilatation (pearl and string sign), ③stenosisを伴わないdilatation: 壁内血栓要確認(手術で動脈壁変色またはT1Wの動脈周辺の高信号), ④dilatationを伴わないstenosis(string sign)やocclusion(tapered occlusion): 初回検査に比べfollow up検査で改善。

5) 未分類非ラクナ梗塞

上記いずれとも診断できない場合。とくに急性期に心原性塞栓とアテローム血栓症とを鑑別できない場合, 数日後にDWI, MRAを再検し病変部位, 再開通の有無などにより診断を再考する。

6) TIA: 入院時 or 入院後, 24時間以内の症状消失。治療開始後消失例は含まない。

A. ラクナタイプTIA: 下記すべてを満たす(画像上のラクナ梗塞の有無は問わない)。i) 皮質症状なく, ラクナ症候群として矛盾しない。ii) 画像上, 大脳皮質・小脳梗塞・subinsula梗塞・半卵円梗塞でない。

B. 心原性塞栓タイプTIA, C. アテローム血栓

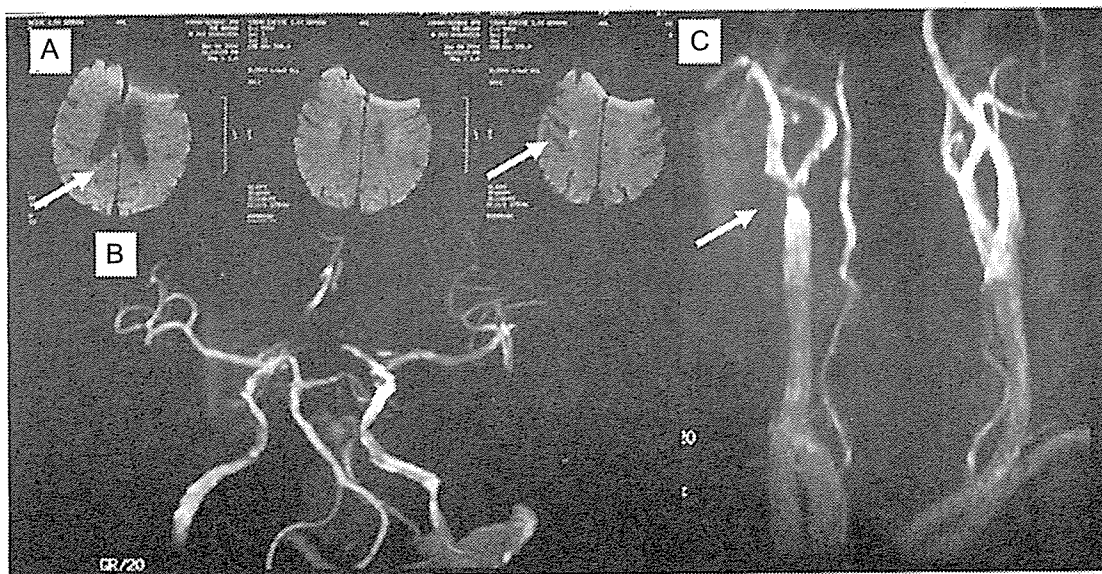


Fig. 1 心房細動のある76歳男性(AcomAN clip後)
 突発性の軽度左片麻痺と軽度意識障害で来院。発症約3時間後のA:
 DWI, B: Willis輪MRA, C: 頸部MRA

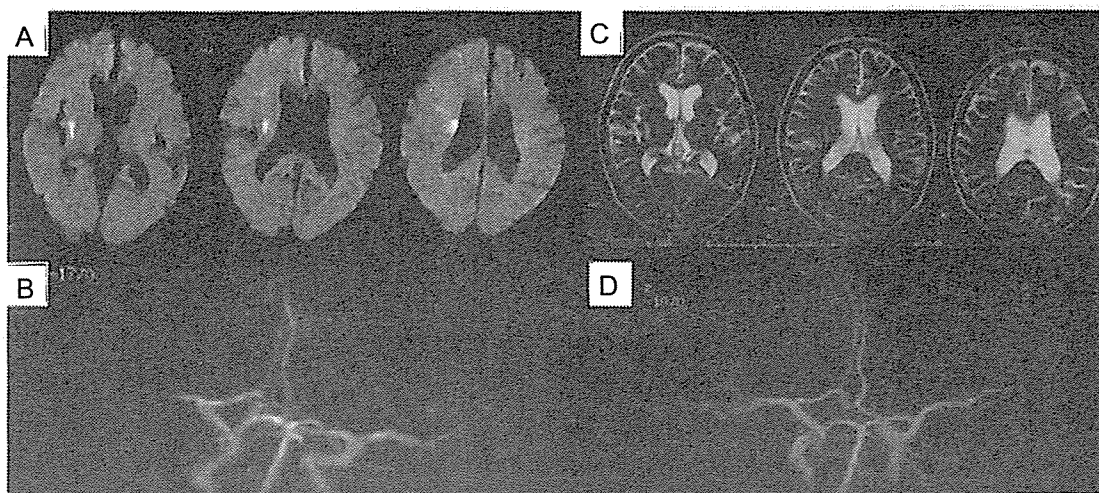


Fig. 2 心房細動のある46歳男性
 突発性に左片麻痺, JCS 1. A: 発症約2時間のDWI, B: 同Willis輪
 MRA, C: 発症10日目T2WI, D: 同Willis輪MRA

タイプTIA, D. 未分類TIA: 各診断基準にほぼ合致し症状が24時間以内に消失。画像上の梗塞の有無は問わない。

急性期脳梗塞診断マニュアルの効果

代表症例を示す。Fig. 1では、2個の小梗塞が右大脳半球にみられ、Willis動脈輪のMRAのみでは症状を考慮しても十分な診断ができない。頸部MRAにおいて高度の同側頸動脈狭窄が認められ、アテローム血栓性塞栓、心原性塞栓のい

ずれに診断するかが問題となる。一般には主治医の判断となるが、マニュアルを適用すると誰が診断を行っても前者の診断となる。Fig. 2では、DWI上穿通枝領域梗塞であるが、放線冠からsubinsular regionに及んでおり、MRAでは同側中大脳動脈閉塞であった。他の動脈硬化病変がないことから心原性塞栓の可能性を念頭におきつつマニュアルに従って未分類非ラクナ梗塞と診断し、その後のMRAにて再開通を確認して心原性塞栓と診断した。

急性期脳梗塞患者連続 91 例に対しマニュアルを適用したところ、ラクナ梗塞 17 例、アテローム血栓症 38 例(血栓性梗塞 22, 血栓性塞栓 16)、心原性塞栓 26 例、未分類非ラクナ梗塞 8 例、TIA 2 例であった。従来はラクナ梗塞に分類されていたと思われる比較的大きな、あるいは責任血管の 50% 以上狭窄を伴う基底核部梗塞 8 例がアテローム血栓性に分類されたため、ラクナ梗塞が少なかったと推測された。心原性塞栓 26 例中 5 例は入院時にアテローム血栓症との鑑別が困難であり、数日後の MRA などを持って診断する必要があった。未分類非ラクナ梗塞 8 例のうち 5 例は心原性塞栓(奇異性含む)の可能性が高いと考えられたが、急性期には原因心疾患が特定できず診断できなかった。

なお、現在のところマニュアルによる診断が「必ず正しい」とは考えていない。マニュアルを用いた診断の妥当性・正確性に関しては今後十分検討していく必要があると考えている。

急性期脳梗塞診断マニュアルを用いることで以下のような利点があると思われた：1) 施行前は MRI 所見などをもとに表面的な情報のみでの診断がしばしばなされたが、施行後は常に患者の病態を総合的にみとうえて脳梗塞発生機序を考察することが無理なく可能となった。2) 研修医の誤りやすい点、疑問点や指導医との論点が明確となった。とくに軽症例においてしばしば機序の考察が不十分になりがちであった点が改善された。3) 院内診断がより均質化されることにより、治療効果の検討などにも役立つものと推測された。

一方、マニュアル使用上の問題点として次のような点が考えられた。1) 脳梗塞の病態に関する理解がなくてもマニュアルの項目をチェックしていくことで一応の診断が可能となる。しかしこのような場合、しばしばお互いに矛盾するような項目にチェックを入れるなどの問題があった。マニュアルを使用するうえで、脳梗塞に関する基本的理

解が前提とならなければならないと思われた。2) 心原性塞栓の急性期診断はしばしば困難で、その理由として診断には原因心疾患(疑い含む)を必須としたが急性期の循環器的評価は必ずしも容易でないことがあげられた。奇異性塞栓の急性期診断も今後の課題と思われた。3) 本マニュアルはいまだチェック項目の選択に迷うことも多く、改善の余地が大と思われる。また、導かれた診断の妥当性に関する検討とそれに基づいた定期的改訂が重要課題と考えている。

結 語

脳梗塞の急性期診断に関し、院内マニュアルの使用は診断の均質化、診療上の問題点の把握などに有効と思われた。今後は診断妥当性の検討に基づく改訂が必要である。

文 献

- 1) Jung DK, Devuyst G, Maeder P, *et al*: Atrial fibrillation with small subcortical infarcts. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 70: 344-349, 2001
- 2) 峰松一夫: 心原性塞栓症の現状。脳と循環 3: 293-297, 1998
- 3) Ohkuma H, Suzuki S, Ogane K: Dissecting aneurysms of intracranial carotid circulation. *Stroke* 33: 941-947, 2002
- 4) 篠原幸人, 吉本高志, 福内靖男, ほか: 脳卒中治療ガイドライン 2004。東京, 協和企画, 2004
- 5) Wong EH, Pullicino PM, Benedict R: Deep cerebral infarcts extending to the subinsular region. *Stroke* 32: 2272-2277, 2001
- 6) Yamaguchi T: Optimal intensity of warfarin therapy for secondary prevention of stroke in patients with nonvalvular atrial fibrillation: a multicenter, prospective, randomized trial. Japanese Nonvalvular Atrial Fibrillation-Embolic Secondary Prevention Cooperative Study Group. *Stroke* 31: 817-821, 2000
- 7) Yonemura K, Kimura K, Minematsu K, *et al*: Small centrum ovale infarcts on diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Stroke* 33: 1541-1544, 2002

1. EC-IC バイパス術後の経時的脳血流 SPECT 所見

清水 宏明¹⁾ 社本 博¹⁾ 藤原 悟¹⁾
松本 康史²⁾ 富永 悌二³⁾

広南病院 脳神経外科¹⁾
同 血管内脳神経外科²⁾
東北大学 神経外科学分野³⁾

はじめに

EC-IC バイパス術は脳主幹動脈閉塞症のみならず、クリッピング困難な内頸動脈(IC)瘤などの治療においても施行されることがある。手術手技として、proximalあるいはdistal STA-MCA バイパス術や vein あるいは arterial graft を用いた high flow バイパス術などがある。虚血性疾患におけるバイパス術の適応は JET study¹⁾ により、高度脳循環不全を有する患者と考えられるが、この適応を満たす場合ほどむしろ術後急性期の脳循環動態の変化は大きく術後管理に注意が必要とも考えられる。また、クリッピング困難な IC 動脈瘤においてバイパス術を併用した親動脈閉塞術を行う場合も、術後急性期の循環動態が不安定な可能性がある。今回、これらさまざまなバイパス術後急性期の経時的な脳血流 SPECT 所見について検討したので報告する。

対象と手術方法

1) 虚血性疾患群：JET study の criteria を満たす脳主幹動脈閉塞症においてバイパス術を施行した 22 例である。内訳は MCA の M2 ないし M3 を recipient とする proximal STA-MCA バイパス術が 5 例(全例男性, 平均 63 歳), MCA の M3-4 移行部ないし脳表の M4 を recipient とする distal STA-MCA バイパス術が 17 例(男性 15 例, 女性 2 例, 平均 58 歳)であった。

2) 動脈瘤群：未破裂 IC 動脈瘤治療のため IC 閉塞との組み合わせで行った proximal STA-MCA バイパス術が 6 例(全例女性, 平均 62 歳), 同じく vein graft バイパス術が 6 例(男性 1 例, 女性 5 例, 平均 59 歳)であった。バイパス術施行後ただちに、結紮, クリップ閉塞, 血管内塞栓のいずれかあるいはその組み合わせにより親動脈術を閉塞した。なお, バイパス術式選択にあたっては, 術前に balloon test occlusion (BTO) を行って, 以下のように判定した。BTO に伴い虚血症状が出る場合は high flow バイパス術とし, 虚血症状が出ない場合は, BTO 中に行った ^{99m}Tc-ECD SPECT にて決定した。すなわち数個の関心領域のいずれかにおいて対側の約 70-75% 未満に血流が低下する場合は high flow バイパス術, 70-75% 以上 90% 未満の場合は STA-MCA バイパス術を原則とした。すべての領域で 90% 以上の場合は他の条件次第でバイパスなしも可としたが今回の症例には該当例がなかった。

脳血流評価方法

術当日を day 0 とし, day 1-2, day 3-5, day 7-14 にそれぞれ ¹²³I-IMP SPECT を施行し, 半定量的に評価した。手術側の血流が対側に比べ 110% 以上のとき SPECT 上の hyperperfusion, 95% 未満のとき, SPECT 上の hypoperfusion と判定した。

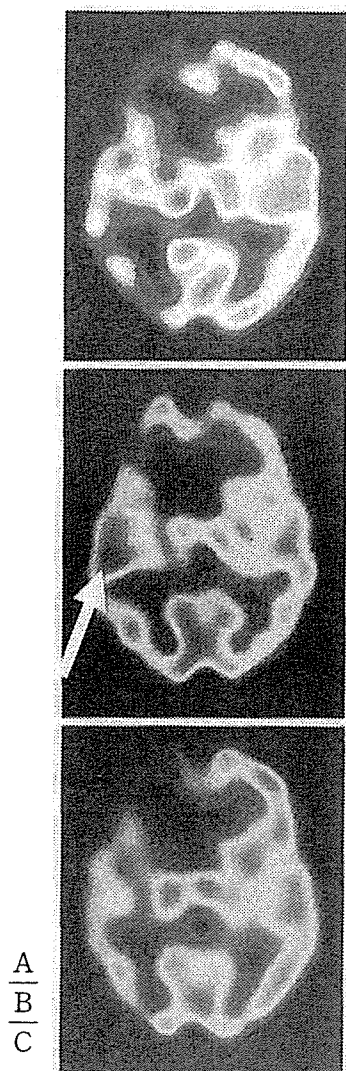


Fig. 1 61歳男性，右内頸動脈閉塞

A: 術前 ^{123}I -IMP SPECT. 右大脳の高度血流低下を呈する. B: 右 proximal STA-MCA バイパス術翌日 ^{123}I -IMP SPECT. →で示す領域を中心に比較的広範囲の SPECT 上の hyperperfusion を認める. C: 術後 day 4 の ^{123}I -IMP SPECT. Hyperperfusion が消退し，術前に近い血流像を呈する.

結 果

1) 虚血性疾患群のうち，proximal STA-MCA バイパス術施行例では，5 例中 4 例が術後 1-2 日目の SPECT で術側の半球性過灌流を呈し，動脈ラインの収縮期血圧が 120 mmHg を超えないよう厳密な降圧を行うことにより数日で軽快した (Fig. 1). うち 1 例では CT や MRI の FLAIR 像にて同部の SAH 様所見を呈したためプロポフォルを用いた鎮静下に厳密な血圧管理

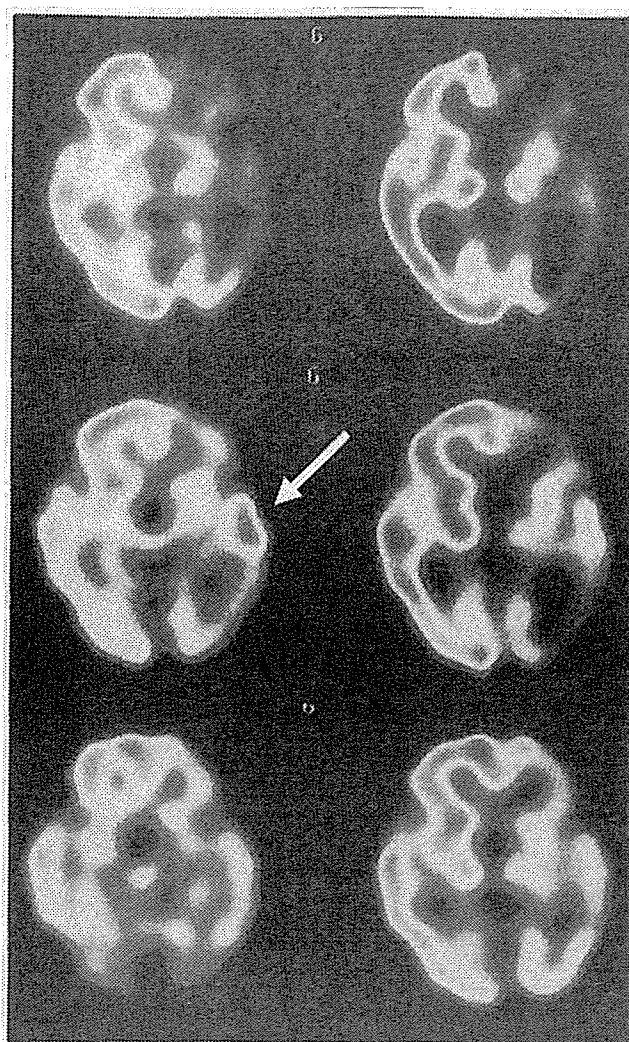


Fig. 2 58歳男性，左内頸動脈閉塞

A: 術前 ^{123}I -IMP SPECT. 左大脳の高度血流低下を呈する. B: 左 distal STA-MCA バイパス術翌日 ^{123}I -IMP SPECT. →で示す領域に recipient の灌流域に局限した SPECT 上の hyperperfusion を認める. その周囲の同側大脳の血流はわずかな血流増加にとどまっている. C: 術後 day 4 の ^{123}I -IMP SPECT. 限局性 hyperperfusion が消退し，周囲脳の血流は平均的に軽度増加している.

を行ったところ，対側の無症候性内頸動脈閉塞が血圧低下に伴って一過性に症候性となった. 血圧管理をややゆるめることで改善し，最終的には神経脱落症状を残さず回復した.

Distal STA-MCA バイパス術施行例では，17 例中 12 例において術後 day 1-2 の SPECT で recipient の灌流領域のみの hyperperfusion がみられ，このとき術側の他の部位は術前に比べわずかな血流増加にとどまった. 正常血圧を保つことにより，術後数日で hyperperfusion が改善する

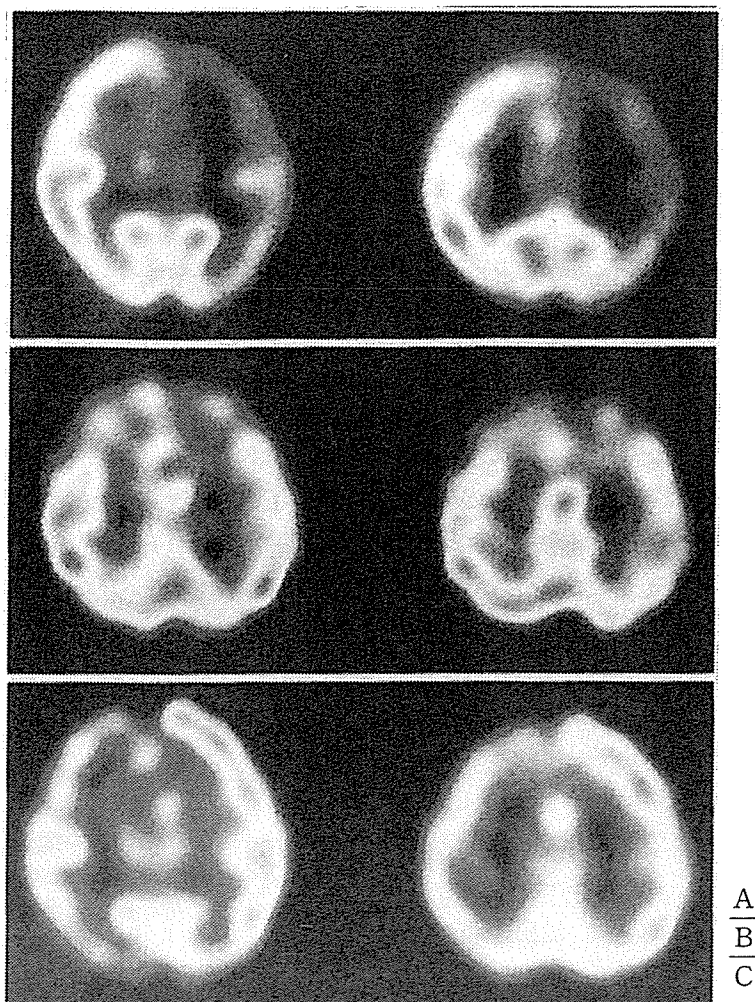


Fig. 3 50歳女性，左視力低下で発症した傍前床突起部巨大内頸動脈瘤
A: Balloon test occlusionによる左内頸動脈閉塞時の ^{99m}Tc -ECD SPECT. 左大脳の高度血流低下を認め，治療的内頸動脈閉塞に先立って high flow バイパス術が必要と判定された. **B:** 同バイパス術後 day 2 の ^{123}I -IMP SPECT. 左大脳血流は軽度低下傾向を示す. **C:** 同バイパス術後 day 7 の ^{123}I -IMP SPECT. 左大脳は中等度の hyperperfusion を示す. これら術後の血流変化を反映する臨床徴候はみられなかった. 半年以降の再検時には左右差は消失していた.

とともにその周辺脳ではさらにわずかながら血流が増加し対側との差が縮小した (Fig. 2). 術後2週間以上経過すると，術側脳血流は術後数日目に比べ軽度低下，術前に比べ軽度増加の状態で安定した.

2) 動脈瘤群の12例はすべて術後 day 1-2 の SPECT で術側の軽度 hypoperfusion を認めたが，これによる症状はみられなかった. 術後 3-11日に再検できた7例中5例 (STA-MCA 2, vein graft 3) で軽度から中等度の hyperperfusion を呈し (Fig. 3), 頭痛1例，失語様症状が1例み

られた. その後，半年以降の再検時には左右差は消失していた.

考 察

1) 虚血性疾患に proximal STA-MCA バイパス術を施行すると，術後高頻度に SPECT 上の広範囲の hyperperfusion が生じた. 通常は適切な血圧コントロールなどにより，臨床的な問題を呈することなく改善すると考えられるが，時に血圧を下げることで他部位の問題を生ずることがあり注意が必要と考えられた. われわれの経験した

症例は、対側の無症候性内頸動脈閉塞が血圧低下により症候性となったが、同様のことはあらゆる動脈系に生ずる可能性があり、とくに術前から腎機能が低下している症例では術中、術後の低血圧は危険なことがあるため、proximalバイパス術の適応は慎重にすべきと考えられた。

2) 虚血性疾患に distal STA-MCA バイパス術を施行した場合には、recipient が灌流する領域のみの hyperperfusion が主に術翌日にみられた。その周囲の同側大脳は比較的低血流のままであるため、この時期にむやみに血圧を下げると周囲脳の虚血性障害をきたす可能性があるものと推測した。われわれの経験では正常血圧を保つことで大きな問題を生ずることなく術後管理が可能であった。

3) 動脈瘤群では、STA-MCA バイパス術でも high flow バイパス術でも、術後 day 1-2 の術側脳血流は軽度の低下を呈した。この原因は確定できなかったが、開頭手術操作の脳に対する影響、recipient や donor の mechanical spasm の残存、バイパス血流の不足などの可能性があると考えた。数日後にはかえって hyperperfusion を呈する症例がみられる原因としては、血流低下をうけての postischemic hyperperfusion, donor 血管からの microembolism 後の再開通による hyperperfusion, subclinical seizure などの可能性を考

えたが、いずれも証拠はなく推測の域を出ない。くも膜下出血症例において脳血管攣縮緩解期に hyperperfusion を呈することがあるとの報告があり²⁾、類似点があるかもしれないとも思われた。これらの機序は明らかでないが、いずれにしてもなんらかの病態を反映しているものと推測され、動脈瘤群のバイパス術後 1-2 日以内に、むやみに血圧を下げることは危険な可能性がある一方、術後数日以降の高血圧や症状変化には注意を要するものと考えた。

結 論

EC-IC バイパス術後の脳血流は、術後約 2 週間の間ダイナミックに変化すること、またその変動は対象となった疾患や用いたバイパス術式に左右されることを念頭におき病態に応じた術後管理が望まれる。

文 献

- 1) JET study group: Japanese EC-IC bypass trial (JET study). 中間解析結果(第二報). 脳卒中の外科 30: 434-437, 2002
- 2) 刈部 博, 清水宏明, 藤原 悟, ほか: くも膜下出血後脳血管攣縮期の脳血流 SPECT で観察される hyperperfusion. 経頭蓋ドップラーとの関連について. 東北脳 SPECT 研究会講演集 14: 34-37, 2005

血行再建術を用いた脳動脈瘤治療における Balloon test occlusion の有用性と問題点

清水 宏明¹, 松本 康史², 江面 正幸³
高橋 明³, 富永 悌二⁴

Balloon Test Occlusion as a Preoperative Evaluation for Cerebral Aneurysms Treated with Bypass Surgery

Hiroaki SHIMIZU, M.D.,¹ Yasushi MATSUMOTO, M.D.,² Masayuki EZURA, M.D.,³
Akira TAKAHASHI, M.D.,³ and Teiji TOMINAGA, M.D.⁴

Departments of ¹Neurosurgery and ²Neuroendovascular Therapy, Kohnan Hospital, and
Department of ³Neuroendovascular Therapy and ⁴Neuroendovascular, Tohoku University
Graduate School of Medicine, Sendai, Japan

Summary: For the treatment of patients with complex internal carotid artery (ICA) aneurysms, it may be necessary to occlude the parent artery following a bypass surgery. The bypass surgery may be low or high flow bypass, but selection criteria have not been established. We retrospectively analyzed our method using preoperative balloon test occlusion (BTO).

Thirty-five patients with ICA aneurysms, 15 ruptured and 20 unruptured, were treated with parent artery occlusion with bypass surgery. Preoperative BTO was performed in 27 cases (all unruptured and 7 ruptured, chronic stage cases). When ischemic symptoms occurred during BTO, high flow bypass was performed followed by parent artery occlusion. Otherwise, single-photon emission computed tomographic findings during BTO were used for the bypass selection. If ipsilateral residual blood flow was 70–75% or less of the contralateral hemisphere, high flow bypass was chosen and if between 70–75% and 90%, superficial temporal artery-middle cerebral artery (STA-MCA) bypass was employed. In the acute stage of 8 ruptured cases, BTO was not performed and bypass selection was made according to angiographic findings only. After completion of the bypass, ipsilateral ICA occlusion (ICO) was performed either by direct or intravascular technique. The site of ICO was determined to completely block the blood flow into the aneurysm considering both conventional angiography and BTO findings.

A total of 15 STA-MCA and 20 high flow bypasses were performed followed by ICO. There was no mortality or morbidity in unruptured cases. In ruptured cases, there were 3 complications related to surgical procedure such as perforator injury, but no patients showed insufficient ipsilateral cerebral blood flow postoperatively. One asymptomatic cerebral infarction developed due to BTO. In 5 cases, petrous portion collateral flow from external to internal carotid artery was seen, and the ICO was performed above the collateral using intravascular embolization.

Key words:

- balloon test occlusion
- bypass
- complex aneurysm
- internal carotid artery

Surg Cereb Stroke

(Jpn) 34: 317–322, 2006

¹ 広南病院 脳神経外科, ² 同 血管内脳神経外科, ³ 東北大学大学院 神経病態制御学分野, ⁴ 同 神経外科学分野 (受稿日 2006. 1. 16) (脱稿日 2006. 2. 10) [連絡先: 〒982-8523 宮城県仙台市太白区長町南 4-20-1 広南病院 脳神経外科 清水宏明] [Address correspondence: Hiroaki SHIMIZU, M.D., Department of Neurosurgery, Kohnan Hospital, 4-20-1 Nagamachi-minami, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi 982-8523, Japan]

In patients with complex ICA aneurysms to be treated with bypass surgery and ICO, BTO may provide a reliable tool to determine the bypass method and the site of ICO.

はじめに

クリッピングも瘤内塞栓も困難な内頸動脈(IC)瘤に対し、治療的内頸動脈閉塞術(ICO)が必要な場合がある³⁾⁴⁾¹⁰⁾¹³⁾。単にICOを行うと1/3前後に虚血性脳障害が生ずるとされ、balloon test occlusion (BTO)で症状が出なかった症例においても3.3-10%に脳梗塞が生じたと報告されている⁶⁾。したがって、ICOにあたって、正常脳を灌流する親動脈にかわる血行をあらかじめバイパス術により確保することが多い(bypass+ICO)。バイパス術式として、浅側頭動脈(STA)-中大脳動脈(MCA)バイパス術やsaphenous vein graftあるいはradial artery graftを用いたhigh flowバイパス術があるが、その選択方法に関する十分な検討はなされていない。

当科では、ICOに伴うバイパス術の必要性と術式選択についてBTOを用いて判断してきた。今回、bypass+ICOを施行した症例をretrospectiveに検討し、BTOの役割と問題点に関し文献的考察を含めて報告する。

対象と方法

対象は、最近5年間に経験したbypass+ICOにより治療した内頸動脈瘤35例であり、女性32例、男性3例、年齢は35-73歳、平均58歳である。20例は未破裂動脈瘤、15例は破裂動脈瘤であった。動脈瘤の部位は、未破裂では海面静脈洞部14、眼動脈分岐部4、上下垂体動脈分岐部2、破裂では海面静脈洞部2(鼻血1、動静脈瘻1)、眼動脈分岐部3、上下垂体動脈分岐部3、C2部5、後交通動脈分岐部2であった。未破裂例の症状は眼球運動障害15、視力低下5、三叉神経痛3、画像上の増大1であった(重複あり)。

バイパス術の必要性や術式選択のため、未破裂例や破裂後慢性期例では術前にBTOを施行した(27例)。ヘパリン5000IUの静脈内投与下に、7Frの親カテを通じて5FrのモイヤンバルーンカテーテルをIC内に導入し、ICのテスト閉塞を行った。明らかな虚血症状が出現すれば、その時点でテスト終了とし、再開通した。明らかな症状が出なければ、約10分間閉塞を継続し、この間に局所脳酸素飽和度(rSO₂)、短潜時体性感覚誘発電位(SEP)の測定と症状観察を繰り返しつつ、遮断中の側副血行をみるために3ないし4 vessel angiographyを行った。その後スペクト室に移動し、acetazolamide 1gを静注し、8分後にICを再度テスト閉塞し、^{99m}Tc-LL-ethyl cysteinatate dimer (ECD)

を静注した。静注後IC遮断を解除し、スペクト画像収集を行った。

バイパス術選択は原則として、BTOに伴い虚血症状が出る場合はhigh flowバイパス術とし、虚血症状が出ない場合は、BTO中に行ったECDスペクトにて決定した。すなわち数個の関心領域のいずれかにおいて対側の約70-75%未満に血流が低下する場合はhigh flowバイパス術、70-75%以上90%未満の場合はSTA-MCAバイパス術を原則とした。すべての領域で90%以上の場合はバイパスなしも可としたが年齢などを考慮して決定することとした(対象期間中に2例あったが今回の症例には含まなかった)。

破裂例の急性期手術(8例)では、頸動脈を頸部で用手圧迫して施行した血管撮影上の側副血行を定性的に評価しバイパス術を選択した。BTOを行った症例との比較のため検討に加えた。

バイパス術は、原則としてM2のうち側頭葉を灌流する枝が分岐した直後のM3をrecipientとした。術中血管撮影を用い、吻合完成後にただちにICOを行い、その後止血を確認して閉創した。ICOの部位は、原則として海面静脈洞部では頸部内頸動脈結紮、それ以外の部位では瘤近傍で血管内塞栓やクリップを用いてICごと閉塞した。BTO中の同側総頸動脈撮影でのみ確認できるEC-IC間の頭蓋底付近の側副血行路がみられる場合¹⁾¹²⁾、この側副血行がICに合流する部位より末梢で血管内塞栓によりICOを行った。

結 果

15例にSTA-MCAバイパス術、20例にhigh flowバイパス術を施行した。退院時Glasgow outcome scale (GOS)はgood recovery (GR) 29, moderate disability (MD) 3, severe disability (SD) 3であった。そのうち、未破裂の20例では全例でBTOを行い、9例にSTA-MCAバイパス術、11例にhigh flowバイパス術を施行、退院時GOSは全例GRであった。術前症状のうち眼球運動障害と視力低下は改善したが一部残存、三叉神経痛は消失した。破裂15例では慢性期の7例でBTOを施行、急性期8例ではBTOを行わず、6例にSTA-MCAバイパス術、9例にhigh flowバイパス術を施行した。退院時GOSはGR 9, MD 3, SD 3であった。予後不良原因は、くも膜下出血による脳障害(primary injury) 3, 手術合併症3(頭蓋内内頸動脈閉塞に伴う穿通枝障害1, clipping中に動脈瘤から出血

し親動脈閉塞後にバイパスを施行した症例における一時遮断による脳虚血1, 血管内手技に伴う末梢への塞栓1)であった。

BTOに伴う合併症は、症候性のもではなく、無症候性大脳皮質梗塞を1例(4%)に認めた。

5例において、BTO中の同側総頸動脈撮影で外頸-内頸動脈間の頭蓋底付近の側副血行路がみられ¹²⁾、この合流部位より末梢で血管内塞栓によりICOを行った。

代表症例をFig. 1-3に示す。Fig. 1はSTA-MCAバイパス術後ICOを行った典型例を示す。Fig. 2, 3は、いずれもBTOでhigh flowバイパス術が必要と判定された海绵静脈洞部動脈瘤であり、Fig. 2ではバイパス術後、頸部頸動脈結紮のみで治療したが、Fig. 3の症例では外頸-内頸動脈間の頭蓋底付近の側副血行路のため、頸動脈閉塞は血管内手技を用いてこの側副血行路も閉塞できる位置で行った。

考 察

クリッピング、瘤内塞栓のいずれも困難な内頸動脈瘤に対するbypass+ICOの報告は多いが³⁾⁴⁾¹⁰⁾¹³⁾、バイパス術の必要性や術式選択基準、ICOの部位と方法などにつき、まとまった検討はなされていない。

急性ICOに伴う虚血性合併症は26-49%に生ずるとされ¹⁾⁶⁾、従来臨床的BTO(症状出現の有無を指標としたBTO)で症状が発現する場合にあらかじめバイパス術を施行することが勧められた¹¹⁾。しかし、臨床的BTOのfalse negative, すなわち症状が出現しなくてもICO後脳梗塞が出現する頻度は3.3-10%程度に及ぶことが報告され⁶⁾、症状以外の指標が必要とされてきた。症状とDSA上の造影遅延を指標にしたところ、いずれもない場合にはバイパス術なしでも虚血性合併症はないが、症状がなくても造影遅延がある場合はバイパス術を行うべきことを示唆する報告¹⁵⁾や、BTO時患側CBFが30 ml/100 g/min以上あれば、ICOにより脳梗塞を生じないとの報告がある²⁾⁷⁾。ただし、これらは、ICOによる直接の症状や梗塞の有無を問題としており、これらがなくても慢性脳虚血が残存する可能性については議論されていない。われわれは、無症候性であっても高度の血流低下が将来の脳梗塞発生のリスクを上げたり⁹⁾、高次脳機能障害をきたす可能性が否定できない現状では、できるだけ脳血流を維持するためのバイパス術を併用すべきと考えている。

一方、なんらかの指標に基づいてバイパス術を行う場合、術式の選択肢には、STA-MCAバイパス術やsaphenous vein graftあるいはradial artery graftを用いたhigh flowバイパス術があり、一長一短がある。STA-MCAは簡便で安全性も高いが、供給できる血流量はICAの血流量よりかなり少ない範囲にとどまる。high flowバイパス術で

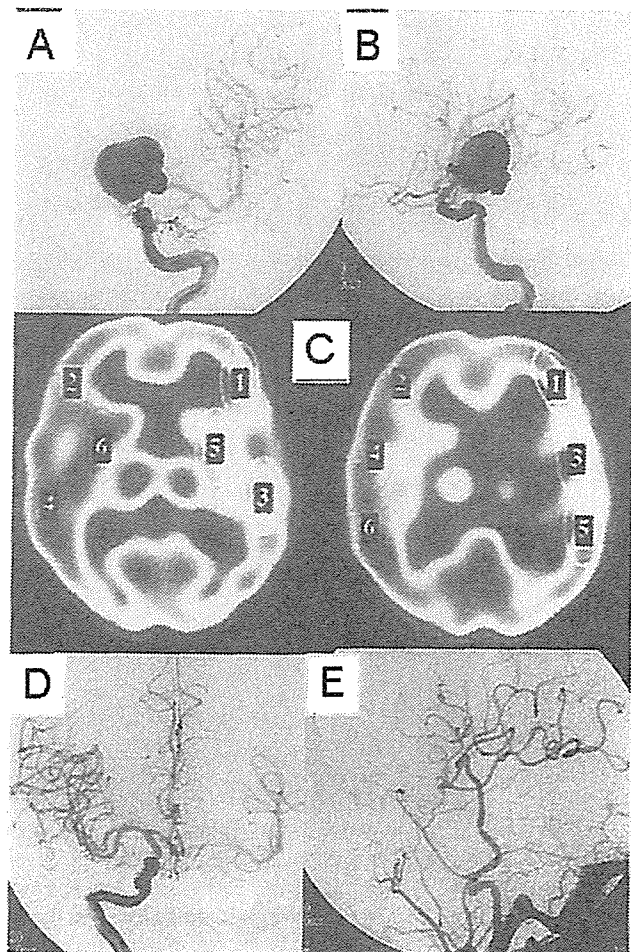


Fig. 1 A 63-year-old man who had left visual disturbance. A and B: Left internal carotid angiography showing a giant paraclinoid internal carotid artery (ICA) aneurysm. C: A ^{99m}Tc-L-ethyl cysteinyl dimer (ECD) SPECT during balloon test occlusion (BTO) of left (right of the figure) ICA showing modest flow reduction in the left cerebral hemisphere (residual flow >75% of the contralateral region in all the regions of interest). D: Right ICA angiography during BTO of left ICA showing moderate collateral flow through anterior communicating artery. E: Postoperative left common carotid arteriography showing patent superficial temporal-middle cerebral artery bypass and no opacification of the aneurysm.

はICAにみあった血流量が供給できるが、手術手技はより煩雑となる。いずれを採用すべきかを決定する手段についてまとまった報告はこれまでみられない。

今回の検討で、われわれはBTO時の症状とSPECT所見に基づいてバイパス術の施行の有無と種類を選択した。選択したバイパス術でバイパス血流不足を生じた例はなく、high flowバイパス術群、STA-MCAバイパス術群のいずれも短期成績は良好であった。したがって今回の選択基準では、少なくとも十分な安全域を持って血行再建を行

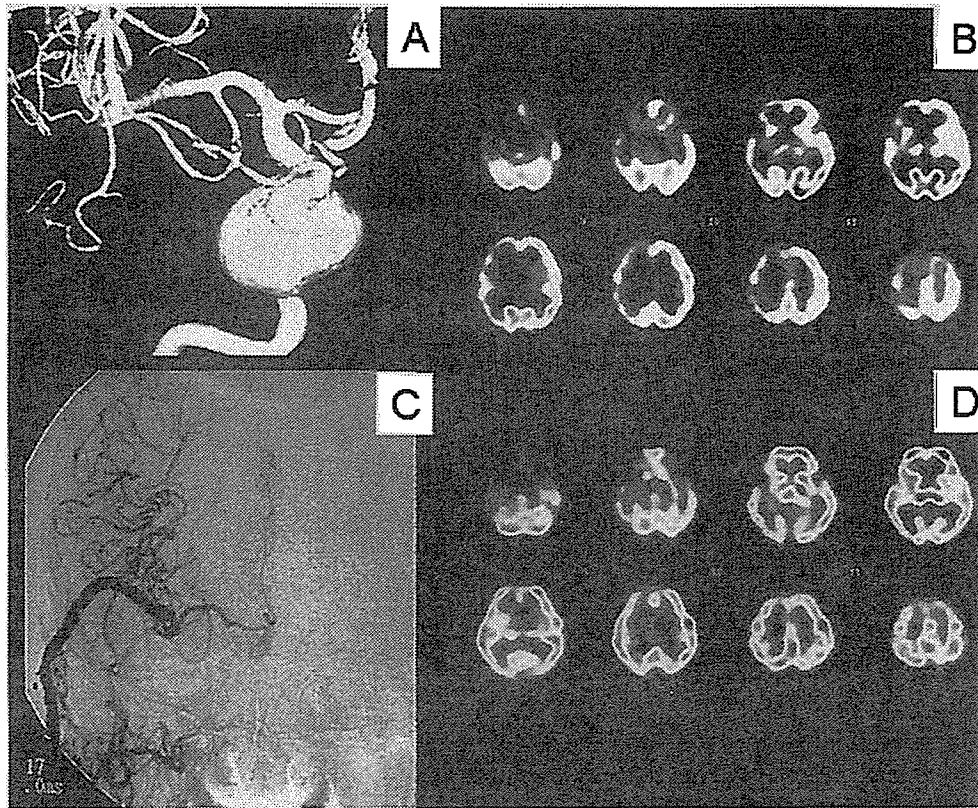


Fig. 2 A 60-year-old woman who complained of diplopia due to right sixth cranial nerve palsy. A: A 3-dimensional digital subtraction angiography (3DDSA) showing a giant right ICA aneurysm at the cavernous portion. B: An ECD SPECT during BTO of right ICA showing marked flow reduction in the right (left of the figure) cerebral hemisphere (residual flow < 70% of the contralateral region). C: An angiography after surgery of external carotid-right middle cerebral artery bypass using saphenous vein graft and ligation of right ICA at the neck. The right intracranial carotid system is opacified through the vein graft and the aneurysm is not seen. D: An ^{123}I -N-isopropyl-p-iodoamphetamine (IMP) SPECT obtained next day of the surgery showing sufficient flow in the right cerebral hemisphere.

いえたものと思われたが、必要なバイパス血流量を overestimate していた可能性は残る。また、BTO中の残存血流が対側の90%以上である場合にはバイパスなしでICO可能としたが、ICO後の血行力学的ストレスによる動脈瘤形成の報告もあり¹⁶⁾、バイパス術のrisk-benefitを年齢などの点から十分検討する必要があると思われる。すなわち、若年者ではバイパス術を施行するメリットが大きく、高齢者ではバイパス術のリスクのほうが高い場合もあるものと思われるが今後の検討課題である。

BTOのリスクについて、文献的には合併症3.2-3.7%、うち永続的障害が0.4-1.7%と報告されており⁵⁾⁸⁾¹⁴⁾、本シリーズでも無症候性梗塞が1例に生じた。BTOの必要性や安全性に関する検討は今後も必要であると思われる。また、全体の成績を上げるには、バイパス術に伴う合併症を極力抑制することが必須となることはいままでのvein graftを用いたhigh flowバイパス術の技術的な要点

としては、適切なgraftの採取、recipientの選択、術中血管撮影の使用、静脈のねじれの予防、吻合完成直後のICO施行、などが重要と思われた。

ICOの部位と方法に関しては、ICOに伴うEC-IC間の側副血行をBTOの際に十分評価しておく必要がある。硬膜内動脈瘤のICOに際しては、眼動脈を介するECからICへの側副血行を遮断できる部位でICOを行う必要があり、多くの場合、clipによりproximal occlusionないしtrappingするか、瘤内からneck付近のICを血管内的に塞栓することになる。この場合、術前のBTOでは実際には閉塞される眼動脈の血流を残した状態での評価となることがほとんどであり、解釈に十分な注意が必要である。また、硬膜内動脈瘤ではICOの部位によって穿通枝障害の問題が生ずる。ICの末梢、とくに後交通動脈に近ければ近いほど穿通枝障害が問題になりやすいため、この部位の動脈瘤はできるだけクリッピングを優先し、bypass+ICOは

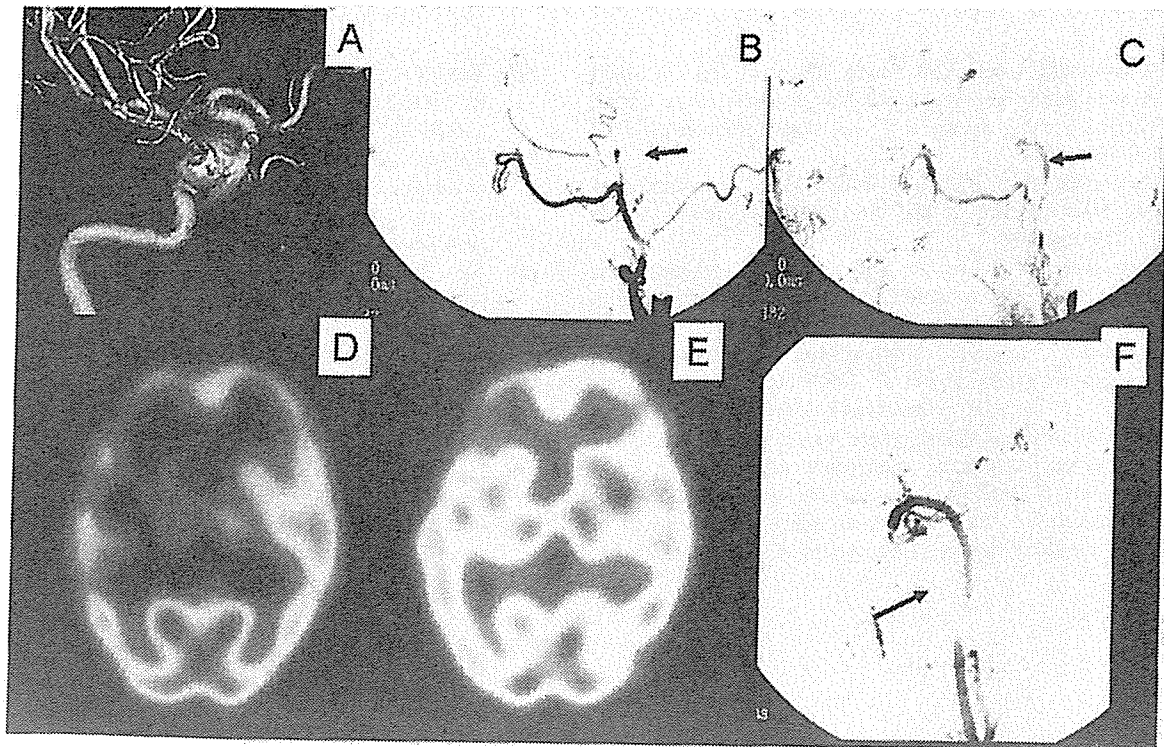


Fig. 3 A 60-year-old woman who complained of diplopia due to right third cranial nerve palsy. A: A 3DDSA showing a large right ICA aneurysm at the cavernous portion. B (early phase) and C (late phase): Right common carotid angiograms during BTO showing opacification of petrous portion ICA (arrows) from branches of external carotid artery. D: An ECD SPECT during BTO of right ICA showing marked flow reduction in the right cerebral hemisphere (residual flow <70% of the contralateral region). E: An IMP SPECT obtained next day of the surgery showing sufficient flow in the right cerebral hemisphere. F: An angiography after surgery of external carotid-right middle cerebral artery bypass using saphenous vein graft and intravascular embolization (arrow) of right ICA just above the collateral flow shown in B and C.

きわめて限定した症例にのみ行うべきと考える。

海綿静脈洞内動脈瘤の場合、通常は頸部内頸動脈の遮断で十分であるが、約20%の症例で petrous portion における EC-IC 間の側副血行が BTO によってのみ判明することがあり、注意が必要と思われる¹⁾¹²⁾。われわれはこの側副血行が存在する場合、その末梢において血管内塞栓により ICO を行っている。

今回は bypass+ICO 症例の短期成績について検討したが、今後長期成績や脳血流の面からの詳細な検討を行うていく必要があると思われる。

ま と め

クリッピングも瘤内塞栓も困難な内頸動脈瘤症例において、BTOに基づいて bypass+ICO を行うことにより、良好な短期治療成績が得られた。BTOの安全性向上、ICOに伴う穿通枝障害の回避、長期的な成績の検討、などが今後の課題と思われた。

文 献

- 1) Allen JW, Alastra AJG, Nelson PK: Proximal intracranial internal carotid artery branches: prevalence and importance for balloon occlusion test. *J Neurosurg* 102: 45-52, 2005
- 2) Field M, Jungreis CA, Chengelis N, et al: Symptomatic cavernous sinus aneurysms: management and outcome after carotid occlusion and selective cerebral revascularization. *AJNR* 24: 1200-1207, 2003
- 3) Hongo K, Horiuchi T, Nitta J, et al: Double-insurance bypass for internal carotid artery aneurysm surgery. *Neurosurgery* 52: 597-602, 2003
- 4) Houkin K, Kamiyama H, Kuroda S, et al: Long-term patency of radial artery graft bypass for reconstruction of the internal carotid artery. Technical note. *J Neurosurg* 90: 786-790, 1999
- 5) 勝間田篤, 杉生憲志, 佐々原渉, ほか: 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* 13: 572-577, 2004
- 6) Linskey ME, Jungreis CA, Yonas H, et al: Stroke risk after abrupt internal carotid artery sacrifice: accuracy of preoperative assessment with balloon test occlusion and stable xenon-enhanced CT. *AJNR* 15: 829-843, 1994

- 7) Marshall RS, Lazar RM, Young WL, *et al*: Clinical utility of quantitative cerebral blood flow measurements during internal carotid artery test occlusions. *Neurosurgery* 50: 996-1004, 2002
- 8) Mathis JM, Barr JD, Jungreis CA, *et al*: Temporary balloon test occlusion of the internal carotid artery. *AJNR* 16: 749-754, 1995
- 9) Ogasawara K, Ogawa A, Yoshimoto T: Cerebrovascular reactivity to acetazolamide and outcome in patients with symptomatic internal carotid or middle cerebral artery occlusion: a xenon-133 single-photon emission computed tomography study. *Stroke* 33: 1857-1862, 2002
- 10) Sekhar LN, Duff JM, Kalavakonda C, *et al*: Cerebral revascularization using radial artery grafts for the treatment of complex intracranial aneurysms: techniques and outcomes for 17 patients. *Neurosurgery* 49: 646-658, 2001
- 11) Serbinenko FA: Balloon catheterization and occlusion of major cerebral vessels. *J Neurosurg* 41: 125-145, 1974
- 12) 清水宏明, 富永悌二, 吉本高志: バイパス併用脳動脈瘤手術における Matas test 特異的な EC-IC 側副血行路. *脳卒中の外科* 31: 269-272, 2003
- 13) Spetzler RF, Schuster H, Roski RA: Elective extracranial-intracranial arterial bypass in the treatment of inoperable giant aneurysms of the internal carotid artery. *J Neurosurg* 53: 22-27, 1980
- 14) Tarr RW, Jungreis CA, Horton JA, *et al*: Complication of preoperative balloon test occlusion of the carotid arteries: experience in 300 cases. *Skull Base Surg* 1: 240-244, 1991
- 15) van Rooji WJ, Sluzewski M, Metz NH, *et al*: Carotid balloon occlusion for large and giant aneurysms: evaluation of a new test occlusion protocol. *Neurosurgery* 47: 116-122, 2000
- 16) Wolf RL, Imbesi SG, Galetta SL, *et al*: Development of a posterior cerebral artery aneurysm subsequent to occlusion of the contralateral internal carotid artery for giant cavernous aneurysm. *Neuroradiology* 44: 443-446, 2002

INTRAOPERATIVE APPLICATION OF THERMOGRAPHY IN EXTRACRANIAL-INTRACRANIAL BYPASS SURGERY

Yoshikazu Okada, M.D., Ph.D.

Department of Neurosurgery,
Tokyo Women's Medical University,
Tokyo, Japan

Takakazu Kawamata, M.D.,
Ph.D.

Department of Neurosurgery,
Tokyo Women's Medical University,
Tokyo, Japan

Akitsugu Kawashima, M.D.,
Ph.D.

Department of Neurosurgery,
Tokyo Women's Medical University,
Tokyo, Japan

Tomokatsu Hori, M.D., Ph.D.

Department of Neurosurgery,
Tokyo Women's Medical University,
Tokyo, Japan

Reprint requests:

Yoshikazu Okada, M.D., Ph.D.,
Department of Neurosurgery,
Tokyo Women's Medical University,
8-1 Kawada-cho, Shinjuku-ku,
Tokyo 162-8666, Japan.
Email: yokada@nij.twmu.ac.jp

Received, June 19, 2006.

Accepted, November 1, 2006.

OBJECTIVE: The extracranial-intracranial bypass may have the potential to improve hemodynamic cerebral ischemia caused by occlusive diseases of the main cerebral arteries. Intraoperative confirmation of effective distribution of blood flow via the donor arteries to the involved region will assure a successful bypass surgery.

METHODS: Infrared thermography was used to measure temperature of the cortical surface at the operative field. Regional cerebral blood flow (rCBF) was measured with a laser Doppler flow meter. Changes in cortical surface temperature before and after temporary occlusion of the bypass were compared with changes in rCBF values at the corresponding sites.

RESULTS: Thermographic examination demonstrated a heterogeneous increase of cortical surface temperature caused by the blood flow via the extracranial-intracranial bypass and was closely related to rCBF changes.

CONCLUSION: Thermography is useful not only to demonstrate the distribution of blood flow through the extracranial-intracranial bypass, but also to quantitatively evaluate the rCBF changes in the operative field.

KEY WORDS: Cerebral ischemia, Extracranial-intracranial bypass, Hemodynamic, Regional cerebral blood flow, Thermography

Neurosurgery 60(ONS Suppl 2):ONS-0-ONS-0, 2007

DOI: 10.1227/01.NEU.0000255358.86947.9A

Thermographic techniques have been developed and applied in many fields, including neurosurgery (6, 7, 11). Of special interest in neurosurgery is thermographic investigation of cortical circulation. Previous experimental studies qualitatively demonstrated a relationship between cortical surface temperature and cerebral blood flow (CBF) after ischemic insults of the brain. Okudera et al. (11) used intraoperative thermographic imaging clinically during surgical resection of a cerebral arteriovenous malformation and demonstrated changes of the surface temperature of the cortical draining vein and the surrounding cortical surface before and after occlusion of the main feeder.

Although extracranial-intracranial (EC-IC) bypass failed to prevent recurrence of stroke (2), some reports have demonstrated the potential effectiveness of superficial temporal artery (STA)-to-middle cerebral artery (MCA) anastomosis to improve compromised hemodynamic cerebral ischemia (8, 9). Consequently, regional

CBF (rCBF) studies are required to identify appropriate candidates for bypass surgery. In addition, intraoperative data of anastomotic blood flow and its distribution are important to confirm an effective EC-IC bypass. Currently, anastomotic flow can be measured intraoperatively by several methods, including the electromagnetic flow meter, Doppler flow meter, visual light spectroscopy, and videoangiography (1, 5, 13). Distribution of anastomotic blood flow can only be detected by rCBF measurement at multiple sites of the operative field using a laser Doppler flow meter and/or thermocouple flow meter.

We have conducted intraoperative thermographic studies with an infrared camera that can be used to quantitatively measure the cortical surface temperature during EC-IC bypass surgery. In this study, cortical surface temperature and rCBF were simultaneously investigated to clarify the relationship between the thermal and rCBF changes caused by the anastomotic blood flow.

PATIENTS AND METHODS

Ten patients were selected for EC-IC bypass surgery based on neurological examination, computed tomographic (CT) scan findings, and rCBF studies. The results of the neurological examination in the 10 patients ranged from transient neurological deficits to minor complete stroke. CT scans showed small (diameter, <2 cm), low-density areas caused by cerebral ischemia. Angiography revealed internal carotid artery (ICA) or MCA occlusive disease. A CBF study of the patients using cold xenon-enhanced CT showed a reduction of more than 20% in rCBF at the affected MCA territory. The Diamox (Wyeth Pharmaceuticals, Collegeville, PA) loading test (17 mg/kg administered intravenously) demonstrated an increase of less than 10% in rCBF at the affected MCA territory compared with the resting CBF.

All patients underwent STA-MCA double anastomoses more than 2 months after their most recent ischemic attack. Frontoparietotemporal craniectomy was performed on the affected side with the patient under general anesthesia. The donor artery was harvested by dissecting the STA. Recipient arteries were selected from the cortical branches of the MCA. In general, we prepared two donor arteries, the frontal and parietal branches of the STA; and two recipient arteries, the supra- and infra-Sylvian cortical branches of the MCA. A silicone stent (diameter, 400 μ m; length, 3–4 mm) that we designed was inserted into the recipient artery through an arteriotomy to facilitate surgical preparation (10). Systemic arterial blood pressure was measured at the radial artery.

Rectal temperature was maintained between 35 and 36°C with a heating pad; room temperature was maintained at 23°C to maintain the background cortical surface temperature as constant as possible. A portable infrared camera (Tversus-100ME model; Nippon Avionics Inc., Tokyo, Japan) and a television monitor were used for intraoperative thermographic examinations. The range of thermographic measurement was from 0 to 50°C, the temperature resolution was 0.1°C, and the scan speed was 10 frames per second. The cortical surface temperatures at three regions of interest (ROIs) were simultaneously displayed in real-time on the monitor. The data were recorded on a 3.5-inch floppy disk and analyzed with thermal measurement computer software (Nippon Avionics Inc.). We determined the changes in cortical surface temperature as a result of the STA-MCA bypass at the completion of the surgical procedures by performing thermographic studies before and after temporary occlusion (20–30 s) of the bypass. We used this method instead of measuring the temperatures before and after the surgical procedure because the cortical temperature before starting the surgical procedure would have been recorded a long time before completion of the bypass procedures and, thus, may not be accurate as the baseline value because of temperature changes during the surgical procedures.

Intraoperative rCBF was measured using a laser Doppler flow meter (ALF 21; Advance Co., Tokyo, Japan) at sites corresponding to the ROIs of thermographic measurement of cortical surface temperature, including at least two sites of the

supra- and infra-Sylvian areas. The effects of STA-MCA bypass on brain surface temperature and rCBF were investigated by temporary occlusion of the bypass, as described above. During the operation, arterial blood gases were monitored to ensure normocapnia and normoxia.

RESULTS

Ten patients underwent operation without any problems and had excellent bypass patency. A representative case of a 70-year-old man with transient right hemiparesis is shown in Figure 1. Left ICA occlusion was demonstrated on carotid F1 angiograms. Resting rCBF studies showed a 30% reduction, and 0% vascular reactivity was observed in cold Xe-CBF studies. Cortical surface temperature was measured at five ROIs (Fig. 2, A and B). Temporary occlusion of the STA-MCA bypass F2 produced heterogeneous changes in cortical surface temperature of the affected area (Fig. 2, A–C). The changes in cortical surface temperature at the ROIs varied from 2 to 0°C. Release of the temporary occlusion of the STA-MCA bypass resulted in prompt recovery of temperature to the preocclusion level at each ROI (Fig. 2C). Postoperative examination with magnetic resonance angiography and/or conventional angiography showed excellent patency of the STA-MCA bypass (Fig. 1B).

The cortical surface temperature and temperature changes after the bypass procedure were not homogenous but were heterogeneous in all patients studied (Fig. 2). Although cortical temperature in some ROIs changed only slightly, all patients showed increased cortical temperature after STA-MCA bypass surgery.

Measurements by laser Doppler flow meter also demonstrated evident changes in rCBF at the sites at which brain surface temperature changed drastically after temporary occlusion of the bypass. The relationship between the change in surface temperature and the corresponding change in rCBF at 20 ROIs was analyzed. A significant correlation was obtained between cortical surface temperature and rCBF changes (F3 $y = 8.9x - 0.8$; $r^2 = 0.656$; $P < 0.0001$) (Fig. 3).

DISCUSSION

This study suggests that thermography is useful to monitor changes in cortical circulation caused by EC-IC bypass, indicat-

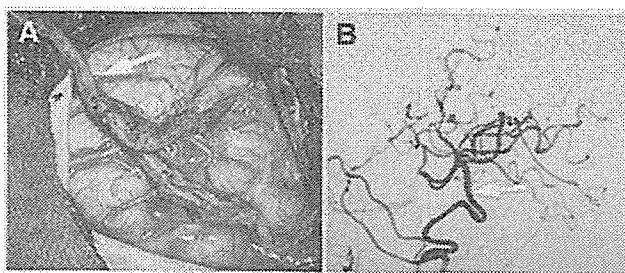


FIGURE 1. A 70-year-old man with left ICA occlusion presented with transient right hemiparesis. A, intraoperative field after STA (arrow)-MCA bypass. B, postoperative angiogram showing excellent patency of STA (arrow)-MCA anastomosis.

THERMOGRAPHY AND EXTRACRANIAL-INTRACRANIAL BYPASS SURGERY

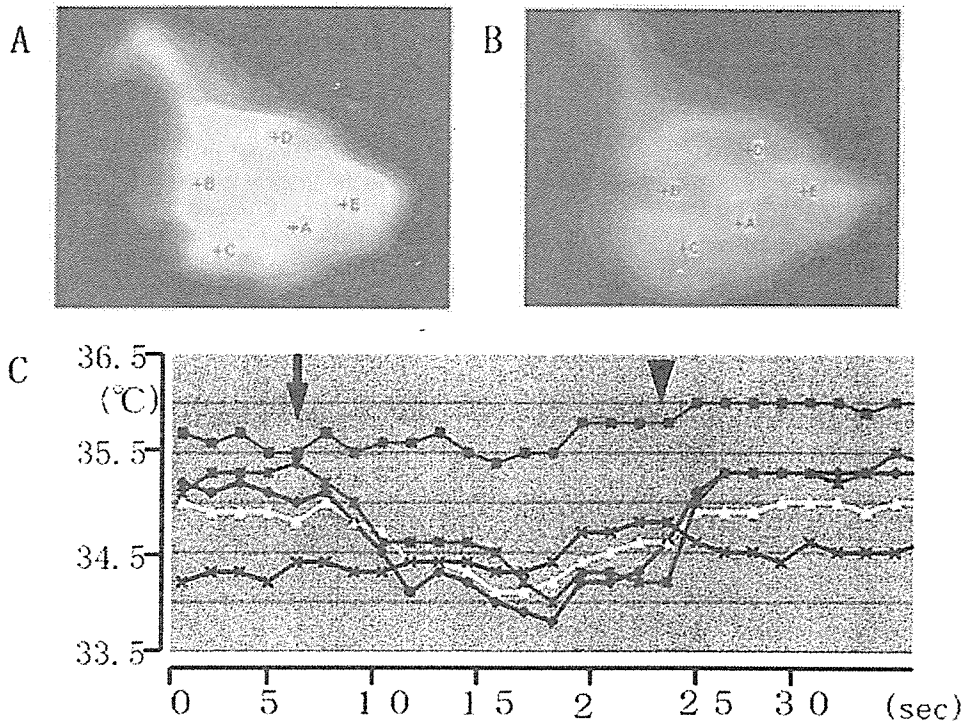


FIGURE 2. Thermographic monitoring of the operative field showing the brain surface temperature before (A) and during (B) occlusion of the anastomosed STA. C, thermography demonstrating heterogeneous changes in cortical surface temperatures measured at five ROIs (+A, +B, +C, +D, +E) with temporary occlusion (area between arrow and arrowhead) of the anastomosed STA.

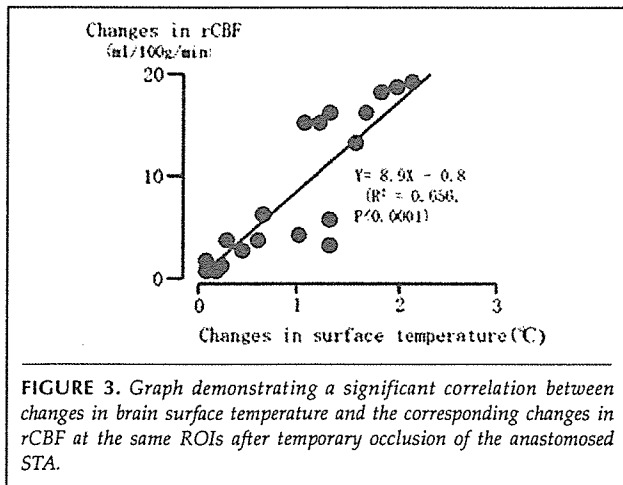


FIGURE 3. Graph demonstrating a significant correlation between changes in brain surface temperature and the corresponding changes in rCBF at the same ROIs after temporary occlusion of the anastomosed STA.

ing not only an increase in regional blood flow, but also the distribution of newly supplied blood.

Infrared thermographic imaging is an established technique for the measurement of the surface temperature of any type of

object. In the past, this method had limited application in the neurosurgical field because of low sensitivity and resolution. However, the latest thermographic systems have rapid response and high sensitivity. Therefore, thermographic equipment is now able to measure local cortical thermal changes resulting from alterations of rCBF because of surgical manipulations. Brock et al. (3) demonstrated local temperature and blood flow changes caused by cortical compression by thermography. Kondo et al. (7) applied thermography to examine the thermal changes and thermal distribution of a free bone flap with drilling and demonstrated prominent temperature elevation at the drilled site, which was reduced by intermittent irrigation with cold water. Further functional activation of somatosensory area was detected as an elevated temperature site using the latest thermographic system (12). However, although

thermography has been used in pathophysiological and technological studies in many fields, to our knowledge, this method has not been applied to evaluate cerebral vascular reconstructive surgeries, the success of which depends on excellent patency and appropriate distribution of blood flow. After the first reports by Donaghy (4) and Yaşargil (14), EC-IC bypass has become an accepted technique to augment CBF in patients with occlusive cerebrovascular disease. Thermographic investigation of EC-IC bypass demonstrates not only bypass patency, but also distribution of the anastomotic blood flow. Furthermore, intraoperative thermographic study of the cortical surface temperature may predict local or diffuse cerebral hyperperfusion after EC-IC bypass surgery. We sometimes experience hyperperfusion, even during and shortly after STA-MCA bypass surgery, particularly in patients with moyamoya disease (unpublished data). To prevent hyperperfusion during postoperative management, it is important to control the patient's blood pressure appropriately, even just after the bypass surgery, on the basis of the intraoperative thermographic findings. Our intraoperative thermographic findings may predict quantitative circulatory changes after bypass surgery. These thermal findings will play an important role in achieving steady and useful cerebral revascularization.

REFERENCES

1. Amin-Hanjani S, Du X, Minarevich N, Meglio G, Zhao M, Charbel FT: The cut flow index: An intraoperative predictor of the success of extracranial-intracranial bypass for occlusive cerebrovascular disease. *Neurosurgery* 56 [Suppl 1]:75–85, 2005.
- AQ:4 2. Anonymous: Failure of extracranial-intracranial arterial bypass to reduce the risk of ischemic stroke. Results of an international randomized trial. The EC/IC Bypass Study Group. *N Engl J Med* 313:1191–1200, 1985.
3. Brock M, Risberg J, Ingvar DH: Effects of local trauma on the cortical cerebral blood flow, studied by infrared thermography. *Brain Res* 12:238–242, 1969.
4. Donaghy RM: Neurologic surgery. *Surg Gynecol Obstet* 134:269–270, 1972.
5. Hoshino T, Katayama Y, Sakatani K, Kano T, Murata Y: Intraoperative monitoring of cerebral blood oxygenation and hemodynamics during extracranial-intracranial bypass surgery by a newly developed visible light spectroscopy system. *Surg Neurol* 65:569–576, 2006.
6. Koga H, Mori K, Ono H, Kuwahara M, Matsuse E: Intraoperative regional thermography during surgery of brain tumors [in Japanese]. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 27:1033–1038, 1987.
7. Kondo S, Okada Y, Iseki H, Hori T, Takakura K, Kobayashi A, Nagata H: Thermological study of drilling bone tissue with a high-speed drill. *Neurosurgery* 46:1162–1168, 2000.
8. Nussbaum ES, Erickson DL: Extracranial-intracranial bypass for ischemic cerebrovascular disease refractory to maximal medical therapy. *Neurosurgery* 46:37–43, 2000.
9. Okada Y, Shima T, Nishida M, Yamane K, Yamada T, Yamanaka C: Effectiveness of superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis in adult moyamoya disease: Cerebral hemodynamics and clinical course in ischemic and hemorrhagic varieties. *Stroke* 29:625–630, 1998.
10. Okada Y, Shima T, Yamane K, Yamanaka C, Kagawa R: Cylindrical or T-shaped silicone rubber stents for microanastomosis—Technical note. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 39:55–58, 1999.
11. Okudera H, Kobayashi S, Toriyama T: Intraoperative regional and functional thermography during resection of cerebral arteriovenous malformation. *Neurosurgery* 34:1065–1067, 1994.
12. Ueda M, Sakurai T, Kasai K, Ushikubo Y, Samejima H: Localisation of sensory motor cortex during surgery by changes of cortical surface temperature after median nerve stimulation. *Lancet* 350:561, 1997.
13. Woitzik J, Horn P, Vajkoczy P, Schmiedek P: Intraoperative control of extracranial-intracranial bypass patency by near-infrared indocyanine green videoangiography. *J Neurosurg* 102:692–698, 2005.
14. Yaşargil MG: Anastomosis between the superficial temporal artery and a branch of the middle cerebral artery, in Yaşargil MG (ed): *Microsurgery Applied to Neurosurgery*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 1969, pp 105–115.

T. Hori
Y. Okada
T. Maruyama
M. Chernov
W. Attia

Endoscope-Controlled Removal of Intrameatal Vestibular Schwannomas

Abstract

The use of endoscopes for surgery of the cerebellopontine angle tumors is steadily obtaining widespread acceptance. The objective of the present study was a laboratory and clinical evaluation of the safety of the endoscope-controlled microneurosurgical removal of the intrameatal vestibular schwannomas through a retrosigmoid approach. The anatomical investigation was done on formalin-fixed cadaver heads and dry temporal bones. Clinical series included 33 consecutive patients (23 women and 10 men; mean age 50 ± 15 years). A bayonet-style rigid endoscope with 70° angle of view and 4 mm outer diameter was found to be optimal for observation of the internal auditory canal. Its insertion in the cerebellopontine cistern should be preferably done under control through an operating microscope. Endoscope-controlled manipulations necessitate the use of a special holder system, which provides a stable position of the device and allows bimanual manipulations by the surgeon. A thermographic evaluation did not reveal a significant increase of the local temperature due to use of the endoscope. Use of the endoscope permitted removal of the neoplasm from the most lateral part of the internal auditory canal and identification of the nerve of tumor origin. In total, 28 tumors underwent total removal, and anatomical preservation of the facial nerve was attained in 31 cases. Damage of the facial nerve by the endoscope was met once. In 8 out of 16 patients, who showed serviceable hearing before surgery, this was preserved after tumor removal. In conclusion, endoscope-controlled removal of the intrameatal vestibular schwannomas seems to be a technically feasible, effective and safe procedure.

Nevertheless, good equipment and special training are absolutely necessary for attainment of optimal results.

Key words

Vestibular schwannoma · endoscope-controlled removal · neuroendoscopy · internal acoustic meatus

Introduction

Complete microneurosurgical excision represents the ideal treatment option for symptomatic patients with vestibular schwannomas [1]. On average 96% of the tumors can be removed totally, which provides the best possible long-term local control [2]. However, the treatment is accompanied by the well-known risk of postoperative complications, such as hearing loss, facial nerve palsy, and cerebrospinal fluid (CSF) leak. Many technical adjuncts were proposed for their prevention. Recently, there has been growing interest in the use of neuroendoscopes during surgery for cerebellopontine angle (CPA) tumors [3–15], because the possibility “to look around the corner” is very attractive for early identification of the cranial nerves and inspection of the internal auditory canal (IAC). However, the efficacy of the technique is not yet completely known. Moreover, there is some concern about possible endoscope-related complications due to poor overview of the operative field, the limited two-dimension-

Department of Neurosurgery, Neurological Institute, Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan

Affiliation

Correspondence

Prof. Tomokatsu Hori, M. D. · Department of Neurosurgery · Neurological Institute · Tokyo Women's Medical University · 8-1 Kawada-cho · Shinjuku-ku · Tokyo 162-8666 · Japan · Tel.: +81/3/3353-8111 (ext. 26216) · Fax: +81/3/5269-7438 · E-mail: thori@nij.twmu.ac.jp

Bibliography

Minim Invas Neurosurg 2006; 49: 25–29 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
DOI 10.1055/s-2006-932125
ISSN 0946-7211

al image, and possible local increase of temperature in the vicinity to the tip of the device [10,11,13]. Therefore, we conducted both a laboratory and a clinical study on the safety of the endoscope-controlled removal of the intrameatal vestibular schwannomas.

Materials and Methods

Laboratory investigation

Endoscope-controlled microneurosurgical removal of an intrameatal vestibular schwannoma through a retrosigmoid approach was simulated on 2 formalin-fixed cadaver heads and 2 dry temporal bones. After craniotomy, which was done by a high-speed drill, the rigid bayonet-style endoscope was inserted into the CPA. Commercially available 19-cm and 23-cm long devices with 0°, 30°, and 70° angles of view, and outer diameters of 2.7 and 4 mm were tested consequently. Two sets of observations were done: initially the endoscope connected with videocamera and cold light source was manipulated freehand; thereafter all manipulations were repeated while the device was fixed in the "EndoArm", a specially designed endoscope holder integrated with a video system (Olympus Co., Tokyo, Japan) [16].

After observation of the CPA, the endoscope was removed and drilling of the posterior wall of the IAC was done with its further inspection by various types of endoscopes, which were manipulated either freehand or were fixed in the "EndoArm" (Fig. 1). During observation of the CPA, opening of the IAC by a high-speed drill, and its endoscopic inspection the thermographic study were performed using a portable infrared camera TVS 100 ME (Nippon Avionics Inc., Tokyo, Japan).

Clinical study

During 2004 and 2005, 33 consecutive patients underwent endoscope-controlled microneurosurgical removal of intrameatal vestibular schwannomas at the Department of Neurosurgery of the Tokyo Women's Medical University. There were 23 women and 10 men; mean age constituted 50 ± 15 years. The tumor was located on the left side in 16 cases, and on the right side in 17. There were 31 initially diagnosed and 2 recurrent neoplasms. Three schwannomas were purely intrameatal, 8 had limited extension into the CPA, 7 filled the CPA completely, but did not show compression of the brain stem, and 15 caused more or less prominent brain stem compression. Before surgery 31 patients had either normal, or nearly normal facial nerve function (House-Brackmann grade 1-2 [17]), and 16 patients had functionally preserved hearing (Gardner-Robertson class I-II [18]).

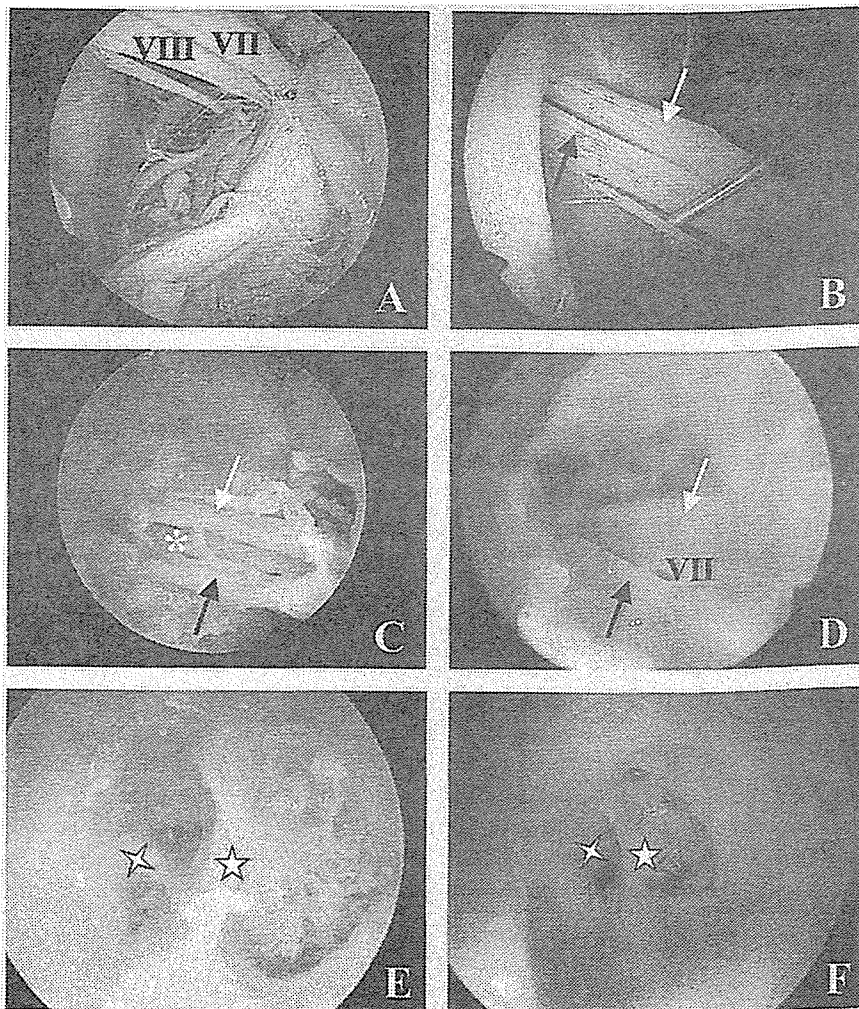


Fig. 1 Neuroendoscopic view of the right CPA during anatomic dissection: identification of origin of the VII and VIII cranial nerves from the brain stem (A), observation of the cisternal portion of the nerves (B), observation of the nerves after removal of the posterior wall of the IAC (C), observation of the most lateral part of the IAC (D), identification of the Bill's bar and transverse crest after removal of the nerves (E) and complete removal of the soft tissues (F). Marked: facial nerve (VII), vestibulocochlear nerve (VIII), superior vestibular nerve (black arrow), inferior vestibular nerve (white arrow), cochlear nerve (asterisk), Bill's bar (crest), and transverse crest (star).