

lomazenil/脳血流 SPECT を用いた頸動脈内膜剥離術後過灌流の予知精度： acetazolamide 反応性との比較

齋藤秀夫¹、小笠原邦昭¹、佐浦宏明¹、吉田浩二¹、寺崎一典²、
小林正和¹、吉田研二¹、小川 彰¹

¹岩手医科大学脳神経外科

020-0585 岩手県盛岡市内丸 19-1

²岩手医科大学サイクロトンセンター

020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢留が森 348-58

1 はじめに

頸動脈内膜剥離術 (Carotid endarterectomy; CEA) 後の神経障害は稀であり、患者の 5% に生じる^{1~3)}。内頸動脈 (Internal carotid artery; ICA) 遮断中の大脳の低灌流による血行力学的脳虚血および術中脳塞栓の発生は、CEA 後の新しい神経障害および MRI 上の新しい虚血病変を含む新しい脳虚血イベント発生に重要な役割を果たす^{4~11)}。過灌流症候群もまた CEA 後の合併症のひとつであり、一側の頭痛・顔面痛・眼痛、けいれん、脳浮腫および頭蓋内出血に続いて二次的に生じる局所神経症状で特徴づけられる^{12~15)}。加えて、最近の報告では、CEA 後過灌流は無症候である時でさえ、術後脳皮質神経損傷をきたし術後認知機能障害を引き起こすことが実証された^{16~18)}。

CEA に関連した脳合併症のリスクファクターには術前の脳灌流障害がある^{19~24)}。過去の報告では、Single-photon emission computed tomography (SPECT) で測定される acetazolamide による脳血管反応性 (Cerebrovascular reactivity; CVR) によって、ICA 遮断中の低灌流¹⁹⁾および術中脳塞栓²⁰⁾による術後の新しい脳虚血イベント、CEA 後過灌流^{22~24)}を予知できることを実証した。しかし、acetazolamide には、静注後に頭痛、嘔気、めまい、耳鳴、四肢のしびれ、Stevens-Johnson 症候群等の副作用がある^{25, 26)}。実際に、ある報告では、acetazolamide 負荷ありの SPECT 検査を施行した患者の 63% で、acetazolamide 静注後 1~3 時間で副作用が出現し、その症状は 0.5~72 時間続いたとされる²⁷⁾。そして患者の日常生活や仕事に影響を与えるということが実証された²⁷⁾。このように、CEA に関連した脳合併症を予知するための acetazolamide 静注を必要としない、他の SPECT 法を見つけることは有用である。

一方、ヒトの脳皮質における中枢性ベンゾジアゼピンレセプターの障害を検出する方法として、iomazenil (IMZ) を用いた SPECT 検査が広く知られている^{28~31)}。IMZ-SPECT 画像上の中枢性ベンゾジアゼピンレセプター結合能 (Central benzodiazepine receptor binding potential; CBRBP) は、脳皮質の

神経密度と関連があり、CBRBP の減少は神経損傷あるいは神経欠損を示すとされる²⁹⁻³¹⁾。CBRBP 減少のある大脳皮質において、神経損傷の程度に従って、おそらく脳酸素代謝量 (Cerebral metabolic rate of oxygen; CMRO₂) は減少する。実際に、IMZ-SPECT による CBRBP 画像は、頸動脈閉塞症例において大脳皮質の Positron emission tomography(PET)による CMRO₂ 画像と相関するとの報告がある^{32, 33)}。脳灌流のキーパラメーターのひとつである脳酸素摂取率 (Oxygen extraction fraction; OEF)^{34, 35)}は CMRO₂/脳血流 (Cerebral blood flow; CBF)で表すことができるため、CBRBP/CBF は OEF を反映するかもしれない。実際に、SPECT による CBRBP/CBF 画像は PET による OEF 画像と相関し、貧困灌流検出のための高い感度および特異度をもつことが報告された³³⁾。

そこで本研究の目的は、SPECT による術前 CBRBP/CBF 画像が、CEA 後の新しい脳虚血イベントおよび過灌流のリスクを予測できるかどうかを決定し、SPECT による CVR と CBRBP/CBF の予測精度を比較することである。

2 対象と方法

2.1 対象

一側内頸動脈狭窄(狭窄率 70 %以上)のある 112 例 (男性 105 例、女性 7 例) を対象とした。

2.2 SPECT 検査

CBF は、CEA の 7~10 日前と術直後に *N*-isopropyl-*p*-[¹²³I]-iodoamphetamine(¹²³I-IMP)を用いて評価した。術前は acetazolamide 負荷なしの SPECT 施行し、その 3 日後に acetazolamide 負荷ありの SPECT を施行した。加えて、CEA 後過灌流のある症例では、術後第 3 病日に 3 回目の CBF 測定を行った。

大脳皮質の CBRBP 障害は、acetazolamide 負荷ありの ¹²³I-IMP SPECT 検査後 2~7 日で IMZ-SPECT を用いて評価した。

術前の SPECT 画像から、2 つの値が次のように計算された。CBRBP/CBF=IMZ のカウント値 /acetazolamide 負荷なしの CBF、CVR=[(acetazolamide 負荷ありの CBF-acetazolamide 負荷なしの CBF)]/acetazolamide 負荷なしの CBF]×100。全ての SPECT 画像は SPM99 を用いて解剖学的に標準化し³⁶⁾、three-dimensional stereotaxic ROI(regions of interest) template(3D-SRT)を用いて両側中大脳動脈(Middle cerebral artery; MCA)領域に ROI を置いた³⁷⁾ (Fig. 1)。各大脳半球の MCA 領域の ROI における全ピクセルの平均値を計算した。

さらに各症例の術前 CBRBP/CBF 画像の左右比を次のように計算した。CBRBP/CBF asymmetry index(AI)=(CBRBP/CBF_{CEA})/(CBRBP/CBF_{con})×100。CBRBP/CBF_{CEA} は CEA 術側大脳半球の MCA 領域の ROI の値であり、CBRBP/CBF_{con} は反対側大脳半球の値である。

健常者によるコントロール群 (10 例) に対して同様の検査を施行した。左大脳半球を病側と定義した時のコントロール群の CBRBP/CBF AI は 100.1±5.0 であった。

CEA 後過灌流は、術側 MCA 領域の CBF が術前と比べて術後に 100%以上増加した症例と定義した。



Figure 1

2.3 diffusion-weighted MRI(DWI)

DWIは術前3日以内と術後24時間以内に施行した。

2.4 統計学的分析

術後の脳虚血イベントあるいは過灌流のある症例とない症例を区別する診断精度は、receiver operating characteristic(ROC)曲線を用いて評価した。ROC曲線は、健常者から得られた平均値(100.1 for CBRBP/CBF AI; 36.8% for CVR)から0.5SD(2.5 for CBRBP/CBF AI; 4.6% for CVR)ずつ増減して計算した。

病側大脳半球の CBRBP/CBF AI と CVR の ROC 曲線下の面積の差は 95% confidence intervals(CIs)を用いて分析した。

3 結果

112 例中 9 例(8%)で、CEA 側大脳半球に DWI で新しい術後虚血病変を認めた。全ての虚血病変は点状で、直径 1.5cm 以下であった。4 例(4%)は、術後に新しい神経学的症状が発生し、うち 2 例(2%)は DWI で新しい術後脳虚血病変があり、2 例(2%)はなかった。症状は、3 例で 12 時間以内に消失したが、残りの症例は術後 24 時間以上続いた。したがって全 11 例(10%)で新しい術後脳虚血イベントを認めた。また 112 例中 13 例(12%)が術直後の CBF 画像で術後過灌流を認めた。

3.1 術後虚血イベント

Figure 2A は、術後脳虚血イベント発生における CBRBP/CBF AI と CVR の予知精度を示す ROC 曲線である。CBRBP/CBF AI の ROC 領域(0.924; 95% CI, 0.854-0.972)は CVR(0.782; 95% CI, 0.697-0.852)よりも有意に大きかった($P < 0.05$)。新しい術後虚血イベント発生への予知における CBRBP/CBF AI の感度と特異度は、それぞれ 91%(10/11)と 73%(74/101)であった(cut-off point, 105.1: the mean +SD of the control value obtained from healthy subjects)(Fig. 2A and 3)。この cut-off point における陽性予測率と陰性予測率は、それぞれ 27%(10/37)と 99%(74/75)であった。

3.2 術後過灌流

Figure 2B は、術後過灌流発生における CBRBP/CBF AI と CVR の予知精度を示す ROC 曲線である。CBRBP/CBF AI の ROC 領域(0.925; 95% CI, 0.860-0.966)と CVR(0.954; 95% CI, 0.897-0.985)を比較した時、有意差はなかった。術後過灌流発生への予知における CBRBP/CBF AI の感度と特異度は、それぞれ 85%(11/13)と 92%(91/99)であった(cut-off point, 107.6: the mean +1.5SDs of the control value obtained from healthy subjects)(Fig. 2B and 3)。この cut-off point において、陽性予測率と陰性予測率は、それぞれ 58%(11/19)と 98%(91/93)であった。

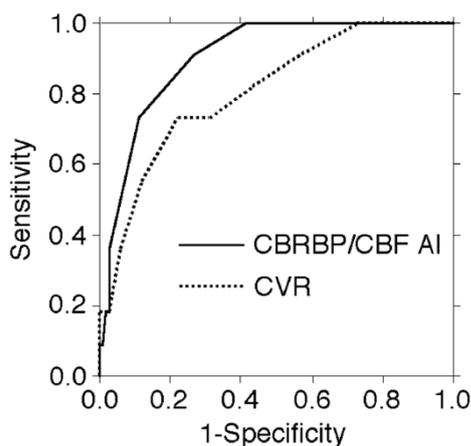


Figure 2A

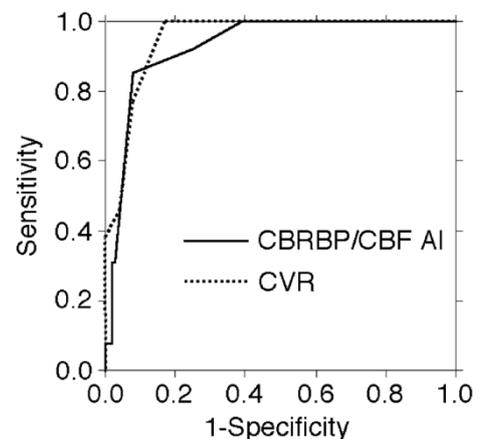


Figure 2B

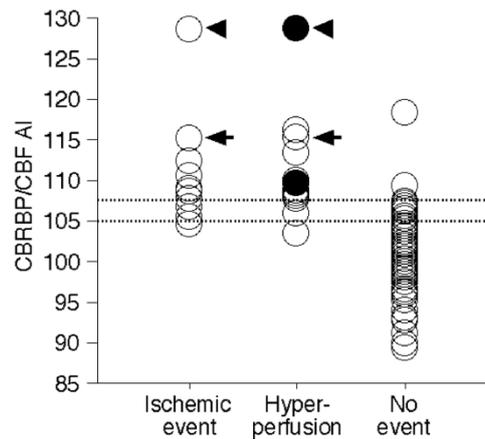


Figure 3

4 考察

本研究は、SPECTによる術前 CBRBP/CBF が術前 CVR と比較して CEA 周術期に発生する脳合併症リスクのある症例をより正確に同定することを実証した。

ICA 狭窄における慢性脳虚血による血行力学的障害は、灌流圧のさらなる減少に対して CBF を維持することが困難であることを意味する。CEA 中の ICA 遮断により、血行力学的障害のある領域で脳灌流の減少を引き起こすため、脳虚血イベントは血行力学的障害のない症例よりもある症例で発生する。ある報告では、脳血流 SPECT で測定した術前 CVR の低下は、ICA 遮断中の脳虚血ハイリスクと関連するとしている¹⁹⁾。

MCA の経頭蓋ドプラーモニタリングによる微小塞栓シグナル(Microembolic signal; MES)は、CEA 症例の 90%以上で検出される^{4,5)}。特に、頸動脈剥離中の MES の数と DWI による新しい術後脳虚血病変発生との間に有意な相関があった^{4~9)}。Caplan と Hennerici³⁸⁾に提唱された概念によると、術前に存在する血行力学的障害は、近位病変から発生した塞栓子による虚血の発症を助長するとされる。ある報告は、脳血流 SPECT で測定される術前 CVR の低下が、CEA 中の頸動脈剥離中に発生した微小塞栓により引き起こされる、DWI による新しい術後脳虚血病変の発生を予知することを実証した²⁰⁾。

術後過灌流発生のメカニズムは次のように言われている¹⁴⁾。高度の ICA 狭窄と不十分な側副血行による脳灌流圧の重度の低下は、脳血管自動調節能によって脳血管を最大限に拡張させる。CEA 後正常灌流圧に回復後、慢性的に障害された自動調節能は新しい定常状態に調節されるまで数日を要し、その間に過灌流を生じる。過去の報告は、脳血流 SPECT で測定される術前 CVR の低下が CEA 後過灌流の発生を予知することを示した^{21~24)}。

本研究の ROC 解析は、術後過灌流発生の予知精度が術前 CBRBP/CBF AI と術前 CVR で同等であるが、前者の方が後者よりもより正確に術後脳虚血イベントの発生を予知したことを示した。術前の重度脳血流障害は、ICA 遮断中の低灌流あるいは術中塞栓による脳虚血と関連する^{19,20)}。PET-OEF と SPECT-CVR の間に有意な負の相関があるが、CVR の低下と OEF の上昇は常に平行ではない。CVR 低下症例の 50%以下が貧困灌流と一致した OEF 上昇を示す³⁹⁾。それに対して、SPECT の CBRBP/CBF AI は、一側性慢性脳主幹動脈閉塞症例の脳皮質の OEF 上昇を検出するための高い感度と高い特異度を示した³⁹⁾。このように、

CBRBP/CBF AIはCEAに関連した脳合併症を予知するための、acetazolamide投与を必要としない、有用なSPECT法である。

本研究には議論の必要ないいくつかのlimitationがある。1つ目として、本研究は一側ICA狭窄症例のみを対象とし、病側大脳半球の血流障害を検出するために「病側/対側」比を用いた。しかし、脳血流障害は一側ICA狭窄症例よりも両側ICA狭窄閉塞症例の方が重篤である⁴⁰⁾。そして両側脳主幹動脈閉塞症例における両側脳血流障害は、「病側/対側」比を用いた本SPECT法では検出できない。SPECTを用いたCBRBPの絶対値の定量法が報告されている²⁸⁾が、両側ICA狭窄症例においてこの方法で定量されたCBRBP/CBFの値がCEAに関連した脳合併症の発生を予知できるかどうかははっきりしない。2つ目として、正常値は対象症例よりも若い健常者群から得ている。しかし、「病側/対側」比を病側大脳半球のCBRBP/CBFの値を決定するために用いたことは、健常者群との年齢差の影響を最小限にできたかもしれない。

参考文献

- 1) European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group. MRC European Carotid Surgery Trial: interim results for symptomatic patients with severe (70-99%) or with mild (0-29%) carotid stenosis. *Lancet*. 1991;337:1235-1243.
- 2) Executive Committee for the Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study. Endarterectomy for asymptomatic carotid artery stenosis. *JAMA*. 1995;273:1421-1428.
- 3) North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. *N Engl J Med*. 1991;325:445-453.
- 4) Wolf O, Heider P, Heinz M, et al. Microembolic signals detected by transcranial Doppler sonography during carotid endarterectomy and correlation with serial diffusion-weighted imaging. *Stroke* 2004; 35:e373-e5.
- 5) Ackerstaff RG, Moons KG, van de Vlasakker CJ, et al. Association of intraoperative transcranial doppler monitoring variables with stroke from carotid endarterectomy. *Stroke* 2000; 31:1817-23.
- 6) Gavrilescu T, Babikian VL, Cantelmo NL, Rosales R, Pochay V, Winter M. Cerebral microembolism during carotid endarterectomy. *Am J Surg*. 1995; 170:159-164.
- 7) Verhoeven BA, de Vries JP, Pasterkamp G, et al. Carotid atherosclerotic plaque characteristics are associated with microembolization during carotid endarterectomy and procedural outcome. *Stroke*. 2005; 36:1735-1740.
- 8) Gaunt ME, Martin PJ, Smith JL, et al. Clinical relevance of intraoperative embolization detected by transcranial Doppler ultrasonography during carotid endarterectomy: a prospective study of 100 patients. *Br J Surg*. 1994; 81:1435-1439.
- 9) Jansen C, Ramos LM, van Heeswijk JP, Moll FL, van Gijn J, Ackerstaff RG. Impact of microembolism and hemodynamic changes in the brain during carotid endarterectomy. *Stroke*. 1994; 25:992-997.
- 10) Mille T, Tachimiri ME, Klersy C, et al. Near infrared spectroscopy monitoring during carotid endarterectomy: which threshold value is critical? *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2004; 27:646-650.

- 11) van der Schaaf IC, Horn J, Moll FL, Ackerstaff RG. Transcranial Doppler monitoring after carotid endarterectomy. *Ann Vasc Surg.* 2005; 19:19-24.
- 12) Piepgras DG, Morgan MK, Sundt TM Jr, Yanagihara T, Mussman LM. Intracerebral hemorrhage after carotid endarterectomy. *J Neurosurg.* 1988;68:532-536.
- 13) Sundt TM Jr, Sharbrough FW, Piepgras DG, Kearns TP, Messick JM Jr, O'Fallon WM. Correlation of cerebral blood flow and electroencephalographic changes during carotid endarterectomy, with results of surgery and hemodynamics of cerebral ischemia. *Mayo Clin Proc.* 1981;56:533-553.
- 14) Bernstein M, Fleming JF, Deck JH. Cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy: a cause of cerebral hemorrhage. *Neurosurgery.* 1984;15:50-56.
- 15) Solomon RA, Loftus CM, Quest DO, Correll JW. Incidence and etiology of intracerebral hemorrhage following carotid endarterectomy. *J Neurosurg.* 1986;64:29-34.
- 16) Chida K, Ogasawara K, Suga Y, et al. Postoperative cortical neural loss associated with cerebral hyperperfusion and cognitive impairment following carotid endarterectomy: ¹²³I-iomazenil SPECT study. *Stroke.* 2009;40:448-453.
- 17) Ogasawara K, Kobayashi M, Suga Y, et al. Significance of postoperative crossed cerebellar hypoperfusion in patients with cerebral hyperperfusion following carotid endarterectomy: SPECT study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2008;35:146-152.
- 18) Ogasawara K, Yamadate K, Kobayashi M, et al. Postoperative cerebral hyperperfusion associated with impaired cognitive function in patients undergoing carotid endarterectomy. *J Neurosurg.* 2005;102:38-44.
- 19) Kim JS, Moon DH, Kim GE, et al. Acetazolamide stress brain-perfusion SPECT predicts the need for carotid shunting during carotid endarterectomy. *J Nucl Med.* 2000;41:1836-1841.
- 20) Aso K, Ogasawara K, Sasaki M, et al. Preoperative cerebrovascular reactivity to acetazolamide measured by brain perfusion SPECT predicts development of cerebral ischemic lesions caused by microemboli during carotid endarterectomy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2009;36:294-301.
- 21) Fukuda T, Ogasawara K, Kobayashi M, et al. Prediction of cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy using cerebral blood volume measured by perfusion-weighted MR imaging compared with single-photon emission CT. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2007;28:737-742.
- 22) Hosoda K, Kawaguchi T, Shibata Y, et al. Cerebral vasoreactivity and internal carotid artery flow help to identify patients at risk for hyperperfusion after carotid endarterectomy. *Stroke.* 2001;32:1567-1573.
- 23) Ogasawara K, Yukawa H, Kobayashi M, et al. Prediction and Monitoring of cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy by using single-photon emission computerized tomography scanning. *J Neurosurg.* 2003;99:504-510.
- 24) Yoshimoto T, Houkin K, Kuroda S, Abe H, Kashiwaba T. Low cerebral blood flow and perfusion reserve induce hyperperfusion after surgical revascularization: case reports and analysis of cerebral hemodynamics. *Surg Neurol.* 1997;48:132-139.

- 25) Derick RJ. *Carbonic anhydrase inhibitors*. In: Mauger TF, Craig EL, eds. *Hevener's Ocular Pharmacology*. 6th ed. St Louis, Mo: CV Mosby Co;1994:ch 4.
- 26) Ogasawara K, Tomitsuka N, Kobayashi M, et al. Stevens-Johnson syndrome associated with intravenous acetazolamide administration for evaluation of cerebrovascular reactivity. Case report. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2006;46:161-163.
- 27) Saito H, Ogasawara K, Suzuki T, et al. Adverse effects of intravenous acetazolamide administration for evaluation of cerebrovascular reactivity using brain perfusion single-photon emission computed tomography in patients with major cerebral artery steno-occlusive diseases. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. In press.
- 28) Millet P, Graf C, Moulin M, Ibanez V. SPECT quantification of benzodiazepine receptor concentration using a dual-ligand approach. *J Nucl Med*. 2006;47:783-792.
- 29) Nakagawara J, Sperling B, Lassen NA. Incomplete brain infarction of reperfused cortex may be quantitated with iomazenil. *Stroke*. 1997;28:124-132.
- 30) Hatazawa J, Satoh T, Shimosegawa E, et al. Evaluation of cerebral infarction with iodine 123-iomazenil SPECT. *J Nucl Med*. 1995;36:2154-2161.
- 31) Hatazawa J, Shimosegawa E, Satoh T, Kanno I, Uemura K. Central benzodiazepine receptor distribution after subcortical hemorrhage evaluated by means of [123I]iomazenil and SPECT. *Stroke*. 1995;26:2267-2271.
- 32) Dong Y, Fukuyama H, Nabatame H, Yamauchi H, Shibasaki H, Yonekura Y. Assessment of benzodiazepine receptors using iodine-123-labeled iomazenil single-photon emission computed tomography in patients with ischemic cerebrovascular disease. A comparison with PET study. *Stroke*. 1997;28:1776-1782.
- 33) Chida K, Ogasawara K, Kuroda H, et al. Central benzodiazepine receptor binding potential and cerebral blood flow images on SPECT correlate with oxygen extraction fraction images on PET in cerebral cortex with unilateral major cerebral artery occlusive disease. *J Nucl Med*. 2011; 52: 511-518.
- 34) Gibbs JM, Wise RJ, Leenders KL, Jones T. Evaluation of cerebral perfusion reserve in patients with carotid-artery occlusion. *Lancet*. 1984; 1: 310-314.
- 35) Powers WJ. Cerebral hemodynamics in ischemic cerebrovascular disease. *Ann Neurol*. 1991; 29:231-240.
- 36) Friston KJ, Frith CD, Liddle PF, Dolan RJ, Lammertsma AA, Frackowiak RS. The relationship between global and local changes in PET scans. *J Cereb Blood Flow Metab*. 1990;10:458-466.
- 37) Takeuchi R, Matsuda H, Yoshioka K, Yonekura Y. Cerebral blood flow SPET in transient global amnesia with automated ROI analysis by 3DSRT. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2004;31:578-589.
- 38) Caplan LR, Hennerici M. Impaired clearance of emboli (washout) is an important link between hypoperfusion, embolism, and ischemic stroke. *Arch Neurol*. 1998; 55: 1475-1482.
- 39) Yamauchi H, Okazawa H, Kishibe Y, Sugimoto K, Takahashi M. Oxygen extraction fraction and acetazolamide reactivity in symptomatic carotid artery disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2004;75:

33-37.

40) Reinhard M, Muller T, Roth M, Guschlbauer B, Timmer J, Hetzel A. Bilateral severe carotid artery stenosis or occlusion - cerebral autoregulation dynamics and collateral flow patterns. *Acta Neurochir (Wien)*. 2003;145:1053-1060.

Preoperative central benzodiazepine receptor binding potential/cerebral blood flow images on SPECT predict development of new cerebral ischemic events and cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy: comparison with cerebrovascular reactivity to acetazolamide

H. Saito¹, K. Ogasawara¹, H Saura¹, K. Yoshida¹, K. Terasaki²,
M. Kobayashi¹, K. Yoshida¹ and A. Ogawa¹

¹Department of Neurosurgery, Iwate Medical University
19-1 Uchimaru, Morioka, Iwate 020-8505, Japan

²Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

Abstract

Purpose: Risk factors for cerebrovascular complications developing during or after carotid endarterectomy (CEA) include preoperative impairments in cerebral hemodynamics, as detected by demonstration of decreased cerebrovascular reactivity (CVR) to acetazolamide on brain perfusion single-photon emission computed tomography (SPECT). Central benzodiazepine receptor binding potential (CBRBP)/cerebral blood flow (CBF) images on SPECT provide high sensitivity and high specificity for detecting misery perfusion in patients with chronic unilateral major cerebral artery occlusive disease. The aim of the present study was to determine whether preoperative CBRBP/CBF images on SPECT could identify patients at risk for new cerebral ischemic events, including neurological deficits and cerebral ischemic lesions on diffusion-weighted magnetic resonance imaging (DWI), or cerebral hyperperfusion after CEA and to compare the predictive accuracy of CBRBP/CBF with that of CVR to acetazolamide on SPECT.

Methods: CBF, CVR and CBRBP were assessed using *N*-isopropyl-*p*-[¹²³I]-iodoamphetamine (¹²³I-IMP) and ¹²³I-iomazenil SPECT, respectively, before CEA in 112 patients with unilateral internal carotid artery stenosis (≥70%). CBF measurement using ¹²³I-IMP SPECT was also performed immediately and 3 days after CEA. A region of interest (ROI) was automatically placed in the middle cerebral artery

territory in both cerebral hemispheres using a three-dimensional stereotaxic ROI template. DWI was performed within 3 days before and 24 hours after surgery.

Results: There was no difference in the ability to predict post-CEA hyperperfusion when comparing the area under the receiver operating characteristics curve of the affected side-to-contralateral side asymmetry on CBRBP/CBF and that of the CVR in the affected hemisphere. However, the former value (0.924; 95% CIs, 0.854 to 0.972) was significantly greater than the latter value (0.782; 95% CIs, 0.697 to 0.852) for the prediction of new postoperative cerebral ischemic events ($p < 0.05$).

Conclusion: Preoperative CBRBP/CBF images on SPECT can more accurately identify patients at risk for cerebrovascular complications occurring during or after CEA when compared with preoperative CVR to acetazolamide.