原著

Balloon occlusion test 下での ^{99m}Tc -HMPAO を用いた SPECT の有用性と問題点について

岩 渕 聡 緒 方 登 後 藤 勝 彌 武 智 昭 彦

^{99m}Tc -HMPAO SPECT Study during Balloon Occlusion Test

by

Satoshi Iwabuchi, M.D., Noboru Ogata, M.D., Katsuya Goto, M.D., and Akihiko Takechi, M.D.

from

Department of Interventional Neuroradiology, Iizuka Hospital

The authors have evaluated the cerebral blood flow (CBF) using single photon emission computed tomography (SPECT) during balloon occlusion of the internal carotid artery (ICA) as a preembolization test for permanent carotid ligation.

Seventeen patients were studied. These included 8 cases with aneurysm, 5 cases with direct carotid cavernous fistula (DCCF), 2 cases with arteriovenous fistula (AVF), 1 case with carotid basal plexus fistula and 1 case of parasellar tumor.

The SPECT study during the balloon occlusion test was performed using technetium-99m hexamethylpropyleneamine oxime (^{99m}Tc -HMPAO) intravenous injection method.

The results showed that the SPECT study during the balloon occlusion test was a secure and useful examination, but it was necessary to be aware of the following:

- (1) As there were some cases whose blood pressure was unstable after the permanent carotid ligation, it was necessary to inject ^{99m}Tc -HMPAO under induced hypotension.
- (2) In cases with DCCF, the steal phenomenon through the fistula is enhanced under proximal ICA occlusion. Therefore administration of ^{99m}Tc -HMPAO should be done under complete occlusion of the fistula together with ICA.
- (3) For patients with preexisting reduction of regional CBF, a quantitative analysis was required.

(Received December 27, 1993; accepted August 12, 1994)

Key words : balloon occlusion test, ^{99m}Tc -HMPAO, endovascular ligation

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 4 : 138-144, 1995

はじめに

内頸動脈巨大動脈瘤や内頸動脈海綿静脈洞瘻の血管内治療に際し、親動脈である内頸動脈をやむを得ず犠牲にせざるを得ない症例が存在する。そのため、そのような疾患に対しては術前に内頸動脈の血流遮断が脳虚血をもたらすか否かをあらかじめ検討しておく必要があり、現在では、balloon occlusion test 下での脳血流量 (CBF)

測定の有用性が高く評価されている⁴⁾¹⁰⁾¹³⁾。

われわれは、 ^{99m}Tc -HMPAO の脳内分布が投与後ごく初期に決定し、以後不変であるという特性に着目し、balloon occlusion test の際、これを投与し single photon emission CT (SPECT) にて血流遮断時の脳血流量の分析を行っている。

そこで今回、親動脈を一時的もしくは永久的に血流を遮断する可能性のある、種々の内頸動脈領域病変 17 例の

飯塚病院脳血管内外科〔連絡先：岩渕 聡，〒153 目黒区大橋 2-17-6 東邦大学医学部第 2 脳神経外科〕

Address reprint request to : Satoshi Iwabuchi, M.D., Department of Second Neurosurgery, School of Medicine, Toho University, 2-17-6 Ohashi, Meguro-ku 153, Tokyo, Japan

Table 1 Summary of cases

No	Name	Age	Sex	Diagnosis	Treatment of IC	Postoperative hypotension
1	T. T.	69	F	parasellar tumor	preservation	
2	S. M.	58	F	Lt. cavernous giant AN	proximal occlusion	(+, 156/88→100/58)
3	K. K.	49	F	Lt. DCCF	trapping	
4	M. F.	67	F	Lt. DCCF	preservation	
5	N. H.	42	M	tentorial DAVF	preservation	
6	M. H.	54	M	Lt. DCCF	preservation	
7	H. H.	23	F	Lt. DCCF	trapping	
8	K. M.	56	F	Lt. IC-basal plexus fistula	trapping	(+, 136/74→90/50)
9	I. K.	38	M	Lt. DCCF	trapping	
10	T. S.	67	F	Lt. IC large AN	preservation (neck clipping)	
11	S. M.	62	F	Lt. cavernous giant AN	high flow bypass	
12	N. H.	60	F	Rt. cavernous giant AN	proximal occlusion	
13	H. Y.	21	M	DAVF of rt. cavernous sinus	proximal occlusion	
14	I. R.	75	F	Rt. cavernous giant AN	proximal occlusion	(+, 142/82→102/62)
15	Y. M.	54	F	Rt. IC giant AN	proximal occlusion	
16	Y. T.	65	F	Rt. cavernous giant AN	proximal occlusion	
17	I. M.	63	F	Rt. cavernous large AN	proximal occlusion	(+, 132/76→92/56)

DCCF : direct carotid cavernous fistula DAVF : dural arteriovenous fistula IC : internal carotid artery
AN : aneurysm

balloon occlusion test 時の ^{99m}Tc -HMPAO SPECT の結果に基づき、その有用性と問題点について検討したので報告する。

対象および方法

対象は、内頸動脈海綿静脈洞瘻 (direct CCF) 5 例、内頸動脈脳底静脈叢瘻 1 例、海綿静脈洞部などの large ~giant size の内頸動脈瘤 8 例、硬膜動静脈瘻 2 例、頭蓋底部腫瘍 1 例の計 17 例である (Table 1)。

方法は、まず内頸動脈を non-detachable balloon を用いて、一時的に遮断した状態で対側の内頸動脈や椎骨動脈撮影を行い、血管撮影上の側副血行路の発達状況を評価した。次に放射能管理区域にてトリメタファンを用いて、収縮期血圧を 20~30% 低下させた状態で再度 balloon occlusion test を行い、2 分経過後 ^{99m}Tc -HMPAO を 740 MBq (20 mci) 静注し、さらに 2 分経過の後 balloon を萎ませ、SPECT の撮像を行った (Fig. 1)。用いたカメラは東芝製デジタルガンマカメラ GCA-9300A で、test occlusion 用にはダウコーニング社製の balloon catheter を使用した。

上記の方法にて SPECT 撮像を行い、おもに分水嶺領域や中大脳動脈領域に左右差のない場合に、病側内頸動脈の永久遮断可能と評価した。一方、balloon occlusion test 下の SPECT にて局所脳血流量 (r-CBF) の低下が認められた症例では、安静時の SPECT と比較して変化のない場合にのみ永久遮断可能と評価した。そして、実

Fig. 1 The procedure of SPECT using balloon occlusion test

際に trapping や proximal ligation などを行う場合には、detachable balloon を用いてさらに 15 分間の balloon occlusion test を行い、神経症状や脳波にも異常がないことを確認したうえで、detachable balloon を離脱させて内頸動脈を永久遮断した。

結果

balloon occlusion test 下で SPECT を施行した 17 例中、明らかに r-CBF の低下を認めた症例が 2 例 (症例 7 と 10) 存在した。これらは test 時瘻孔を完全に閉塞し得なかった direct CCF 例と、安静時 SPECT ですでに脳動脈瘤の破裂のため r-CBF 低下が認められた内頸動脈瘤例であった。その他の症例では明らかな r-CBF の低下は認められなかった。

A/B

Fig. 2 Case 2 ; Giant aneurysm of cavernous carotid (right)

A : Right carotid angiography showing a cavernous giant aneurysm.

B : ^{99m}Tc -HMPAO SPECT image during balloon occlusion showing no reduction of regional cerebral blood flow (rCBF) in bilateral hemispheres.

A/B
C

Fig. 3 Case 7 ; Left direct carotid cavernous fistula (DCCF)

A : Left carotid angiography shows a CCF with various venous drainage routes.

B : ^{99m}Tc -HMPAO SPECT image during balloon occlusion showing low perfusion over the left middle cerebral artery distribution.

C : SPECT image after endovascular ligation of internal carotid artery shows no reduction of rCBF in both cerebral hemispheres.

Fig. 4 Case 10 ; Large ruptured aneurysm of the left internal carotid artery

- A :** T2-weighted axial images of MRI. High signal intensity area is seen in the inferomedial part of the left frontal and temporal lobe. Also seen was a flow void of the aneurysm.
- B :** ^{99m}Tc -HMPAO SPECT image taken during balloon occlusion showing decreased perfusion over the left middle cerebral artery distribution.

さらに今回、実際に内頸動脈を永久遮断したものは、瘻孔の不完全閉塞のため、やむを得ず親動脈ごと閉塞せざるを得なかった direct CCF の3例と内頸動脈脳底静脈叢瘻1例、それに proximal occlusion を行った海綿静脈洞部巨大内頸動脈瘤6例と硬膜動静脈瘻1例の計11例である。術後は全身血圧を持続モニターし、1週間はベッド上安静とした。

その結果、永久遮断した11例のうち4例は、術直後より血圧低下をきたしたが、その後徐々に血圧は術前状態に復し、全例とも現在まで神経脱落症状は認めていない。

また症例11は balloon occlusion test 下での SPECT では、r-CBF の低下は認められなかったが、対側の内頸動脈海綿静脈洞部にも小動脈瘤が存在していた。そのため同側の内頸動脈の永久血流遮断は、collateral の増大を促し、対側動脈瘤の増大が予測されたため、橈骨動脈を用いた high flow bypass 治療を行っている。

そこで、次に問題点のあった症例を提示する。

【症例 2】

患者：58歳、女性

左外転神経麻痺にて発症、海綿静脈洞部左内頸動脈巨大動脈瘤の診断にて当院に紹介された (Fig. 2A)。

balloon occlusion test 下の対側内頸動脈撮影では、

collateral は良好で、収縮期血圧を 100 mmHg まで下げた状態で施行した SPECT でも明らかな r-CBF の低下は認められなかった (Fig. 2B)。そこで、後日さらに15分間の balloon occlusion test を行い、脳波異常、神経脱落症状のないことを確認し、2個の detachable balloon を用いて proximal ligation を行った。しかし、本症例は長年高血圧にて降圧剤を3種類服用していたにもかかわらず、術後約3時間経過してから収縮期血圧が 100 mmHg 前後まで低下した。そのため、術後カテコラミン製剤を10日間使用し、その後漸減し術前の血圧に復している。なお、術後神経脱落症状は認められていない。

【症例 7】

患者：23歳、女性

外傷による direct CCF の診断にて当院に紹介された (Fig. 3A)。

本症例は瘻孔が大きく、non-detachable balloon では瘻孔を完全に閉塞させることが不可能であったため、balloon occlusion test による脳血管撮影上の collateral は良好であったが、瘻孔を介して海綿静脈洞が描出され、さらに balloon occlusion test 下での SPECT では左の MCA 領域に hypoperfusion 領域が認められた (Fig. 3B)。実際の治療では2個の detachable balloon では不

完全閉塞に終わり、3個めのballoonを膨らませると内頸動脈に閉塞をきたすものであった。そのためやむを得ず、15分間のballoon occlusion testを行い、脳波異常、神経学的異常のないことを確認したうえで、瘻孔を完全閉塞するために3個めのballoonを大きく膨らまし、同時に内頸動脈を閉塞した。しかし、術後施行したSPECTではr-CBFの低下は認められず(Fig. 3C)、神経脱落症状も呈していない。

【症例 10】

患者：67歳、女性

くも膜下出血にて発症、large sizeの左内頸動脈-眼動脈分岐部動脈瘤の診断にて当院に紹介された。

来院時神経脱落症状は認められなかったが、動脈瘤破裂とその後の脳虚血のため、MRIではT₂強調画像で左前頭葉から側頭葉内側にかけて高信号域がみられ(Fig. 4A)、restの状態のSPECTでも左前頭葉内にr-CBFの低下が認められた。一方balloon occlusion下でのSPECTでは、r-CBFの低下している領域がさらに広がっており、crossed cerebellar diaschisisが認められた(Fig. 4B)。

本症例は、動脈瘤のneckが大きく血管内治療では動脈瘤のみの閉塞は困難と考えられ、開頭術にて前床突起を削除することによりneck clipping術を行い、内頸動脈を温存した。

考 察

^{99m}Tc-HMPAOの脳内分布は静注後数分で決定し、以後長時間固定されるという特性¹²⁾をもつため、脳主幹動脈のtest occlusion下での局所脳血流の評価にも、簡便にかつ安全に使用できる⁷⁾。今回、われわれは血管内治療により、内頸動脈を閉塞させる可能性のある17症例に対し、balloon occlusion test下でのSPECTによりCBF測定を行った。その結果、脳動脈瘤の破裂のため安静時のSPECTですでにr-CBF低下が認められた内頸動脈瘤例とtest時瘻孔を完全に閉塞し得なかったdirect CCF例を除き、内頸動脈遮断時に新たに明らかな脳血流の低下を認めたものはなく、それらはすべて脳血管撮影上でもcollateralの良好な症例であったが、いくつかの問題が認められた。

まず、内頸動脈に対するdetachable balloonを用いての永久遮断によって、術後遅発性に全身血圧の低下が生ずる症例が稀ならず存在することである。Berensteinら¹⁾は、balloon embolizationを行った海綿静脈洞部内

頸動脈瘤8例中、1例に術後2時間でhypotensionにひきつづき片麻痺の出現を報告している。

今回われわれの検討でも内頸動脈永久遮断症例11例中4例(36.4%)に、術後の血圧低下を経験した。しかし、それらはすべて術後数時間に出現したものの、数日後には全例術前の血圧に復しており、その間の嚴重な血圧管理により、術後神経脱落症状を呈したものはなかった。

balloonによる内頸動脈永久遮断後は、微妙な灌流圧の変化などで虚血症状が生じる可能性があるため、ICUなどにおける数日間の嚴重な管理の必要性については、すでにいくつか報告されているが⁵⁾⁶⁾¹¹⁾¹⁴⁾、われわれも永久遮断後の特に血圧管理の重要性を強調したい。

一方、balloonによる内頸動脈永久遮断後の全身血圧低下の原因としては、内頸動脈遮断による総頸動脈分岐部への血流およびstressの急激な変化による化学受容体への影響が考えられる。われわれは、balloonのdetachment後のdeflationも考慮し、安全のためproximal balloonを内頸動脈のpetrous portionにさらに1個設置している。そのため化学受容体に対してより影響を及ぼす可能性があり、今回われわれの永久遮断後の血圧低下出現率が高いものになったものと推測された。

Petermanら¹¹⁾は、術前のballoon occlusion下のSPECTでr-CBFの低下が認められなかったにもかかわらず、術中出血により低血圧をきたしたため、永久遮断後にwatershed infarctionを生じた眼動脈瘤の症例を提示し、低血圧などにより脳灌流圧が低下した場合に出現するr-CBFの低下は、通常のballoon occlusion下のSPECTでは検出されないことを十分に念頭におく必要があると述べている。またEckardら²⁾も、術前のballoon occlusion下での^{99m}Tc-HMPAO SPECTで、明らかなr-CBFの低下がみられなかった海綿静脈洞部動脈瘤に対し、外科的に内頸動脈結紮術を行い、さらに同側の中大脳動脈瘤にクリッピング術を行ったところ、1週間後に対側の片麻痺が出現した症例を報告している。彼らはその原因としてembolusやspasmをあげ、やはり脳灌流圧の低下に起因した虚血症状を現行のtestでは検出し得ないことを強調している。

以上のように、より安全に永久遮断を行うためには、術前にある程度の予備能を評価する必要があると思われる。江口ら³⁾は、外科的な内頸動脈結紮術の際にその耐容性のチェック法として、低血圧下の内頸動脈遮断テストの重要性を報告している。そこで、われわれは、永久遮断後、血圧の変動をきたす症例が存在すること、予備能を同時に評価する目的で、balloon occlusion下で

SPECT を行う際には、トリメタファンを用いて、一時的に収縮期血圧を20～30%低下させ、hypotensionの負荷を加えた状態で^{99m}Tc-HMPAOを投与している。そしてその結果、明らかなr-CBFの低下が認められない場合にのみ、永久遮断可能と評価している。

次に症例7の場合、術前のballoon occlusion下でのSPECTでhypoperfusionが認められた理由として、瘻孔を介したcollateral flowのstealがあげられる。大量のshunt flowが存在するdirect CCF症例の場合には、瘻孔より中枢側でのtest occlusionではstealのため瘻孔と同時に内頸動脈を閉塞した時の脳血流が正確に評価し得ず、したがって瘻孔を完全に塞いだ状態、もしくは瘻孔より末梢側でtest occlusionを行い、^{99m}Tc-HMPAOを投与するように心がけるべきであることはいうまでもない。しかし内頸動脈内でballoonをinflateし、瘻孔を同時に塞ぐことのできる位置どりが困難である場合が少なくなく、瘻孔内でのballoonのinflateは、瘻孔を広げる可能性があり危険である。さらにdirect CCFでは、non-detachable balloon catheterがshunt flowに導かれ、瘻孔より末梢の内頸動脈に誘導できないこともあり、手技上本来のtest occlusionが不可能な症例が存在する。このような症例に対し、やむなく中枢側でtest occlusionを行った場合には、hypoperfusionが認められてもfalse positiveの可能性を考慮し、最終的なocclusion testでの神経症状や神経生理学的検査と合わせた総合的な評価が必要である。

Monseinら⁹⁾はballoon occlusion下のSPECTをbaselineと比較し、変化がない場合には永久遮断可能と評価し、変化がある場合にはさらに定量化して検討している。症例10のように、術前にすでにr-CBFの低下が存在しており、test occlusion下でのSPECTでhypoperfusionの範囲が広がった場合には、一側の内頸動脈を犠牲にし得るかどうかの指標として、定性的な評価だけでは不十分であり、Patlak法⁸⁾などによる^{99m}Tc-HMPAO SPECTの定量化が要求されよう。

結 語

1. 内頸動脈を永久遮断する可能性のある病変17例に対して、balloon occlusion下でのSPECTを行い、その有用性と問題点について検討した。

2. 内頸動脈に対して、detachable balloonによる永久遮断を行う場合には、全身血圧が低下する症例が存在した。そのためballoon occlusion下でSPECTを施行する際に、人為的に血圧を下げることは予備能を知らう

えて有用と考えられた。

3. direct CCFでは、occlusion test時に、test用balloonが瘻孔を完全に塞ぐことができず、中枢側で遮断せざるを得ない症例が存在した。しかしこの場合には、stealのためにfalse positiveの所見が得られる可能性がある。

4. 術前にすでにr-CBFの低下が存在する症例では、balloon occlusion下での定性的なSPECTでは不十分であり、正しい評価には定量化が必要と考えられた。

文 献

- 1) Berenstein A, Ransohoff J, Kupersmith M, Flamm E, Graeb D: Transvascular treatment of giant aneurysms of the cavernous carotid and vertebral arteries: functional investigation and embolization. *Surg Neurol* 21: 3-12, 1984.
- 2) Eckard DA, Purby PD, Bonte FJ: Temporary balloon occlusion of the carotid artery combined with brain blood flow imaging as a test to predict tolerance prior to permanent carotid sacrifice. *AJNR* 13: 1565-1569, 1992.
- 3) 江口恒良, 真柳佳昭, 高倉公朋: 海綿静脈洞内内頸動脈瘤または巨大内頸動脈瘤に対する内頸動脈結紮術およびバイパス術の併用(同時手術). *脳外* 11: 1037-1046, 1983.
- 4) Erba SM, Horton JA, Latchaw RE, Yonas H, Sekhar L, Schramm V, Penhney S: Balloon test occlusion of the internal carotid artery with stable xenon/CT cerebral blood flow imaging. *AJNR* 9: 533-538, 1987.
- 5) Higashida RT, Halbach VV, Dowd CF, Barnwell SL, Hieshima GB: Intracranial aneurysms: Interventional neurovascular treatment with detachable balloons: Results in 215 cases. *Radiology* 178: 663-670, 1991.
- 6) Komiyama M, Khosla VK, Tamura K, Nagata Y, Baba M: A provocative internal carotid artery balloon occlusion test with ^{99m}Tc-HM-PAO CBF mapping—report of three cases. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 32: 747-752, 1992.
- 7) Matsuda H, Higashi S, Asli IN, Eftekhari M, Esmaili J, Seki H, Tsuji S, Oba H, Imai K, Terada H, Sumiya H, Hisada K: Evaluation of cerebral collateral circulation by technetium-99m HM-PAO brain SPECT during Matas test: report of three cases. *J Nucl Med* 29: 1724-1729, 1988.
- 8) Matsuda H, Tsuji S, Shuke N, Sumiya H, Tonami N, Hisada K: A quantitative approach to technetium-99m hexamethylpropylene amine oxime. *Eur J Nucl Med* 19: 195-200, 1992.
- 9) Monsein LH, Jeffery PJ, Van Heerden BB, Szabo Z, Schwartz JR, Camargo EE, Chazaly J: Assessing adequacy of collateral circulation during balloon test occlusion of the internal carotid artery with ^{99m}Tc-HMPAO SPECT. *AJNR* 12: 1045-1051, 1991.
- 10) 奥平洋二郎, 坂東邦秋, 伊藤昌徳, 佐藤 潔, 趙 成済: 内頸動脈血流遮断試験(balloon occlusion test)時の脳

- 循環動態一局所脳血流量, mean stump pressure ならびに脳血管造影所見の関連と脳虚血性神経症状発現の閾値について, 脳外誌 2:110-120, 1993.
- 11) Peterman SB, Taylor A Jr, Hoffman JC Jr: Improved detection of cerebral hypoperfusion with internal carotid balloon test occlusion and ^{99m}Tc -HMPAO cerebral perfusion SPECT imaging. *AJNR* 12:1035-1041, 1991.
 - 12) 塚谷泰司, 中村佳代子, 藤井博史, 萬 篤憲, 尾川浩一, 国枝悦夫, 久保敦司, 橋本省三, 寺山靖夫, 天野隆弘, 後藤文男, 三宮敏和, 清水正三, 桜田潤二: ^{99m}Tc -HMPAO (hexamethyl propylene amine oxime) による局所脳血流シンチグラフィに関する基礎的および臨床的検討. 臨放 33:741-749, 1988.
 - 13) 山下哲男, 柏木史郎, 林 政明, 高砂禎一, 江口裕規, 金 茂成, 浦川 学, 城山雄二郎, 伊藤治英: 海綿静脈洞部内頸動脈巨大動脈瘤に対する術前マタスーアセタゾラミド負荷血流検査の有用性. 脳卒中の外科 20:437-442, 1992.
 - 14) 安井敏裕, 矢倉久嗣, 夫 由彦, 永田安徳, 田村克彦, 白馬 明: 離脱型バルーンによる親動脈閉塞後, 脳虚血症状を生じた内頸動脈瘤症例の検討— ^{99m}Tc -HMPAO SPECT 併用の有用性と術後管理の重要性. 脳外 20:1173-1178, 1992.

要 旨

Balloon occlusion test 下での ^{99m}Tc -HMPAO を用いた SPECT の有用性と問題点について

岩淵 聡 緒方 登 後藤 勝彌 武智 昭彦

血管内治療に際し, 内頸動脈の血流を遮断する可能性のある内頸動脈領域病変 17 例に対し, balloon occlusion 下で ^{99m}Tc -HMPAO SPECT を施行し, その有用性, 問題点とその対策について検討した. 結論: ① 簡便かつ安全に遮断時の局所脳血流量 (r-CBF) を把握でき, 有用な方法といえる. ② 内頸動脈を永久遮断する場合には, 術後全身血圧が低下する症例が存在するため, 術前評価として予備能を知るうえでも SPECT を施行する際には人為的な低血圧負荷が有用と考えられた. ③ direct CCF の症例では, test 時に瘻孔を完全に塞ぐことができない症例が存在する. しかしその場合, 瘻孔より中枢側の閉塞では steal のため, false positive の所見が得られる可能性がある. ④ r-CBF の低下が既存する症例では, 定性分析だけでは不十分である.

脳外誌 4:138-144, 1995