

Title	脳動静脈奇形に対する定位手術的照射-脳血管造影を用いた治療効果判定の有用性の検討-
Author(s)	中西, 淳; 直居, 豊; 趙, 成済 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1999, 59(4), p. 137-142
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18968">https://hdl.handle.net/11094/18968</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

# 脳動静脈奇形に対する定位手術的照射 —脳血管造影を用いた治療効果判定の有用性の検討—

中西 淳<sup>1),3)</sup> 直居 豊<sup>1)</sup> 趙 成濟<sup>1)</sup>  
飯塚 有応<sup>1)</sup> 玉本 文彦<sup>3)</sup> 佐藤 潔<sup>2)</sup>

1) 順天堂大学放射線医学教室 2) 順天堂大学脳神経外科医学教室 3) 都立大塚病院診療放射線科

## Linac-based Stereotactic Radiosurgery for Arteriovenous Malformations (AVMs) in Brain: Estimation for efficacy of therapeutic response using angiography

Atsushi Nakanishi<sup>1),3)</sup>, Yutaka Naoi<sup>1)</sup>,  
Narisumi Chou<sup>1)</sup>, Yuo Iizuka<sup>1)</sup>,  
Fumihiko Tamamoto<sup>3)</sup> and Kiyoshi Sato<sup>2)</sup>

The purpose of this study was to determine whether it is possible to predict the efficacy of therapeutic response to linac-based stereotactic radiosurgery for AVMs on the basis of the stagnation rate in the nidus, which was defined as follows: [(pooling time of contrast material in the nidus of AVM)/(intracranial circulation time)] $\times$ 100. Cerebral angiograms of twenty-five AVMs were retrospectively evaluated, and the stagnation rates in the nidus were calculated before and one year after stereotactic radiosurgery. Reduction rate was also calculated by using angiography, and we statistically evaluated the relationship between the stagnation rates in the nidus and the reduction rates. The stagnation rates in the nidus prior to linac-based stereotactic radiosurgery were positively correlated with the reduction ratios of AVMs after stereotactic radiosurgery ( $r = 0.406, p = 0.0432$ ). Our study suggested that a higher stagnation rate in the nidus of the AVM might be obliterated faster after linac-based stereotactic radiosurgery. Thus, calculation of the stagnation rate in the nidus before stereotactic radiosurgery is useful in predicting the efficacy of therapeutic response to linac-based stereotactic radiosurgery for AVMs.

Research Code No. : 602.6

**Key words** : Arteriovenous malformation, Stereotactic radiosurgery, Angiography

Received Nov. 19, 1998; revision accepted Jan. 13, 1999

- 1) Department of Radiology, Juntendo University School of Medicine
- 2) Department of Neurosurgery, Juntendo University School of Medicine
- 3) Department of Radiology, Ohtsuka Metropolitan Hospital

## はじめに

脳動静脈奇形(arteriovenous malformation; 以下AVM)に対する定位手術的照射の有効性が確立されつつあり、治療後の閉塞率、縮小率はAVMの体積に依存すると報告<sup>1)</sup>されている。しかし一方で、体積と閉塞率は直接の相関関係はないとする報告<sup>2)</sup>もある。したがって、AVMの閉塞率、縮小率には形態学的側面のみでなく血流速度や血流量など血行動態的側面も影響しているのではないかと推測されている。そこで、脳血管造影所見のうちnidus内での造影剤の停滞時間に着目し、この停滞時間が頭蓋内循環時間に占める割合をnidus停滞率と定義して、nidusの血行動態的情報の定量化を試みた。更にこのnidus停滞率と治療1年後の体積縮小率との相関関係を検討し、nidus停滞率から定位手術的照射によるAVMに対する治療効果を推定しうるか否かを検討した。

## 対 象

1994年10月から1998年6月の間に当院にて定位手術的照射を行なったAVM29例中、1年後に脳血管造影が施行されている25症例を対象とした。この内8例は治療2年後にも脳血管造影が施行されている。男性13例、女性12例、年齢は16歳から74歳までで、平均年齢は36.9歳であった。治療歴は照射前に塞栓術が施行されているものが13例、未治療が12例であった。評価に用いた脳血管造影は全例治療前に施行されたものと経過観察のために施行されたものを比較検討した。

## 方 法

定位手術的照射前の脳血管造影と治療後1、2年目の脳血管造影所見からnidusに関連する検討項目を次のように設定した。

## 脳血管造影の検討項目

### 1) 血行動態学的項目

- ①nidus出現時間(A)  
 ②nidus消失時間(B)  
 ③造影剤停滞時間[nidus消失時間(B) - nidus出現時間(A)]  
 ④nidus停滞率 = (造影剤停滞時間(③)/頭蓋内循環時間) × 100

### 2) 形態学的項目

体積(stereotactic imageからx軸, y軸, z軸上の大きさを測定)

nidus内の造影剤停滞時間を測定するために, nidus出現時間(A), nidus消失時間(B)を脳血管造影所見から計測し, 客観的に定量化するためにこの造影剤停滞時間(③)を頭蓋内循環時間に対する百分率で算出した. この値を造影剤がnidusに停滞する時間をnidus停滞率 $[(\text{造影剤停滞時間(③)}/\text{頭蓋内循環時間}) \times 100]$ と定義した. 頭蓋内循環時間については理論的に造影剤が頭蓋内硬膜を通過した時点から頸静脈へ還流した時点までであるが, 実際は造影剤が頭蓋内およびS状静脈洞に到達した時点をそれぞれ脳血管造影像から計測し, 両者間の経過時間を頭蓋内循環時間とした. 具体的には内頸動脈ではサイフォン部からS状静脈洞まで, 椎骨動脈では3rd segmentと4th segmentとの移行部よりS状静脈洞までとした. 還流時点の計測を内頸静脈としなかったのは照射前の脳血管造影でヘッドリングを装着するため, これにより頸静脈が隠れてしまうためである. 体積は治療前と治療後1, 2年目の脳血管造影から概算したが, 実際にはstereotactic image画像からAVMにおけるnidusの大きさを各軸に平行に計測し, 以下の近似値を用いて算出した.

体積(volume) =  $\pi/6 \times (\text{x軸} \times \text{y軸} \times \text{z軸})$

評価の基準はAVM治療1年後の体積縮小率としたが, 体積縮小率は $\{(\text{治療前体積} - \text{治療後体積})/\text{治療前体積}\} \times 100$ で算出した. この1年後の体積縮小率とnidus停滞率との相関関係を検定した.

#### (1) 脳血管造影の撮影条件

照射前のstereotactic imageを作成するためヘッドリングとローカライザーを患者に装着し, 脳血管造影を施行した. 撮影は基本的に3 vesselsでDSAを使用し, 患側のみconventional angiographyを追加した. 内頸動脈造影の場合, 造影剤注入量は1秒間に4(6)ml, 総量で6(9)mlを, 椎骨動脈造影の場合は1秒間に3~4(4~5)ml, 総量で6~9(9~11)mlである(カッコ内はconventional angiographyでの造影剤量). カテーテルは4F catheter(テルモ社製)を使用した.

#### (2) 定位手術的照射(linac based stereotactic radiosurgery)の方法

Linac装置は東芝製Mevatron 77DX(10MVと6MVのX線が使用可)を使用した. 固定装置とソフトはドイツFischer, Leibinger社のstereotactic treatment planning system(STP)を用いた.

局所麻酔下で前頭部2点, 後頭部2点の合わせて4点をカーボンピンでヘッドリングに固定し, 固定後に脳血管造

影用, CT用のローカライザーを装着してそれぞれ必要な検査を施行した. 次にそれぞれの画像をメインコンピュータ(日本DEC Vaxstation 4000/90)に転送し線量計画を実施した. ターゲットポイントの数, 辺縁線量, 中心線量などを決定し, 照射計画の最終段階で位置確認に2mmのコリメーターを使用してポートフィルムを撮影して誤差を確認した. 一つのターゲットに対し通常5~6本の振り子照射を行った. 治療時には辺縁線量はnidusが80% isodose領域に入ることを目標とし, 辺縁線量は平均19.1Gyで治療した.

#### (3) 当院でのAVMに対する治療方針

当院では原則的に全てのAVMに対して塞栓術の適応を検討している. しかし, 塞栓術の効果が少ないと判断された症例, 塞栓術が困難な症例は定位手術的照射単独で治療が行われる. 塞栓術が施行された症例は少なくとも3ヵ月以内に定位手術的照射が行われている.

統計学的解析にはMann-Whitney Testおよびt検定を用いた.

## 結 果

各症例について治療前後の体積, nidus停滞率と治療1年後体積縮小率の関係を(Table 1)に示す.

#### ①体積について

治療前nidusの体積は平均値が7.53ml, 最小値0.25ml, 最大値50.0mlであった. 治療1年後体積は平均値が3.11ml, 最小値0.0ml, 最大値29.0mlであった.

治療前に塞栓術が施行されている13例の平均体積は11.6mlであり, 治療1年後平均体積は5.2mlである. 一方, 塞栓術が施行されていない12例では治療前の平均体積は3.1mlであり, 治療1年後平均体積は0.9mlであった.

#### ②nidus停滞率について

治療前nidus停滞率は平均値が50.5%(流入動脈が椎骨動脈である4例の平均値は51.1%), 最小値32.1%, 最大値82.2%で, 治療1年後のnidus停滞率は平均値が61.3%, 最小値42.3%, 最大値81.5%であった. 2例を除く全ての症例(92%)で治療前に比べて1年後のnidus停滞率は上昇していた. 完全閉塞を示した6例のnidus停滞率の平均値は53.8%であった.

塞栓術が施行されている13例のnidus停滞率については治療前が51.4%, 治療後は61.2%であった. 一方, 塞栓術が施行されていない12例の治療前のnidus停滞率は49.6%で, 治療後1年後は61.5%であった.

#### ③体積縮小率について

治療1年後の平均縮小率は66.7%, 最小縮小率11.9%であった. 完全にnidusの消失した症例(縮小率100%)は6例, 治療後2年の経過で完全消失した症例は10例であった.

治療前に塞栓術が施行されている13例の平均体積縮小率は59.3%であり, 塞栓術が施行されていない12例では, 平均体積縮小率は74.7%であった.

相関係数の検定の結果は治療前体積と体積縮小率との相関係数は $r = -0.190$ ( $p = 0.3666$ )であった. また, nidus停滞

Table 1 Patients with AVM underwent linac-based stereotactic radiosurgery

No.	patient	age (yr)	embolization	feeder	marginal dose (Gy)	pre-volume (mm <sup>3</sup> )	post-volume (mm <sup>3</sup> )	pre-S.R.N (%)	post-S.R.N (%)	reduction rate (%)
1	N.T.	28	NOT	Rt.ICA	16	9043	4019	48.0	55.5	55.6
2	J.O.	34	DONE	Lt.ICA	20	7184	753	61.7	64.9	89.5
3	I.F.	36	NOT	Lt.ICA	20	753	150	42.8	70.2	80.1
4	S.S.	18	DONE	Lt.VA	22	1884	837	47.2	42.3	55.6
5	S.I.	21	DONE	Rt.ICA	14	50240	7206	81.2	81.3	85.7
6	N.T.	46	NOT	Lt.ICA	21	6330	0	46.5	NM	100.0
7	M.H.	16	DONE	Rt.ICA	20	1519	1036	32.1	51.5	31.8
8	S.N.	45	DONE	Rt.ICA	20	1406	0	57.3	NM	100.0
9	E.M.	43	DONE	Lt.ICA	20	3768	2143	41.1	63.3	43.1
10	T.N.	23	DONE	Rt.ICA	18	10667	8164	37.8	49.0	23.5
11	K.S.	47	NOT	Lt.ICA	20	3221	0	82.2	NM	100.0
12	N.Y.	30	DONE	Rt.ICA	20	251	41	38.4	53.6	83.7
13	M.M.	42	DONE	Rt.ICA	20	6838	1130	58.3	65.9	83.5
14	E.T.	23	NOT	Rt.ICA	18	282	175	38.6	43.1	37.9
15	Y.N.	28	DONE	Lt.VA	18	8842	1692	55.5	74.4	80.9
16	I.O.	54	DONE	Rt.ICA	20	14569	8059	55.6	65.6	44.7
17	Y.U.	43	DONE	Lt.ICA	20	9537	6005	50.1	65.7	37.0
18	C.N.	74	NOT	Lt.ICA	20	5157	3349	42.5	77.6	35.1
19	E.H.	23	NOT	Rt.ICA	20	527	0	36.2	NM	100.0
20	A.M.	20	NOT	Rt.VA	18	2543	0	43.6	NM	100.0
21	M.I.	25	NOT	Lt.ICA	20	4945	1036	50.3	66.4	79.0
22	M.S.	47	DONE	Lt.ICA	13	33912	29899	51.9	56.9	11.8
23	K.Y.	56	NOT	Rt.ICA	20	1406	200	58.0	69.6	85.8
24	F.Y.	61	NOT	Rt.ICA	20	2679	2051	48.5	48.0	23.4
25	C.N.	40	NOT	Rt.VA	20	759	0	58.0	NM	100.0

NOT: embolization was not performed, DONE: embolization was performed, Rt: right, Lt: left, ICA: internal carotid artery, VA: vertebral artery, S.R.N.: stagnation rate in nidus, NM: not measurable.

率と体積縮小率との相関係数は $r = 0.406$  ( $p = 0.0432$ )であった。(Fig.1)

塞栓術を施行した群と施行しなかった群の両者間における治療前後のnidus停滞率, 体積縮小率に有意差は認められなかった。

### 症例提示

症例 1 (Fig.2) 45歳男性(S.N.)

AVMは右頭頂葉に局在し, nidus停滞率は57.3%であった。治療1年後の脳血管造影で右頭頂葉のAVMは完全消失した。これはnidus停滞率が高値を示し, 治療1年後に完全閉塞を来した症例である。

症例 2 (Fig.3) 16歳女性(M.H.)

AVMは右前頭葉に局在し, 治療前のnidus停滞率は32.1%であった。これは治療前nidus停滞率が低値を示し, 治療1年後nidus停滞率は上昇(51.5%)したが, 術後にほとんどni-

cus縮小が見られず, 治療1年後縮小率に関して低値(31.8%)を示した症例である。

### 考 察

最近のAVMの放射線治療における線量計画では血管造影に加え定量的CT, 定量的MRIを併用することで立体的にAVMのnidusについての情報をより正確に捉え照射野を決定することが出来るようになった。nidus全体を正確に必要な線量で照射すれば, ある程度以下の大きさのAVMは一定率で完全消失に導くことが可能である。実際, 定位手術的照射の閉塞率, 縮小率はAVMの体積に依存するとの報告<sup>1)</sup>がある。さらにYamamotoら<sup>3)</sup>はそれらが辺縁線量に大きく左右されると報告している。しかし一方で, 体積と閉塞率には直接の相関関係はないとする報告<sup>4)-6)</sup>もある。このことからAVMの完全閉塞率には他のさまざまな因子が関与するものと推測される。体積以外の形態学的側面である形状に関

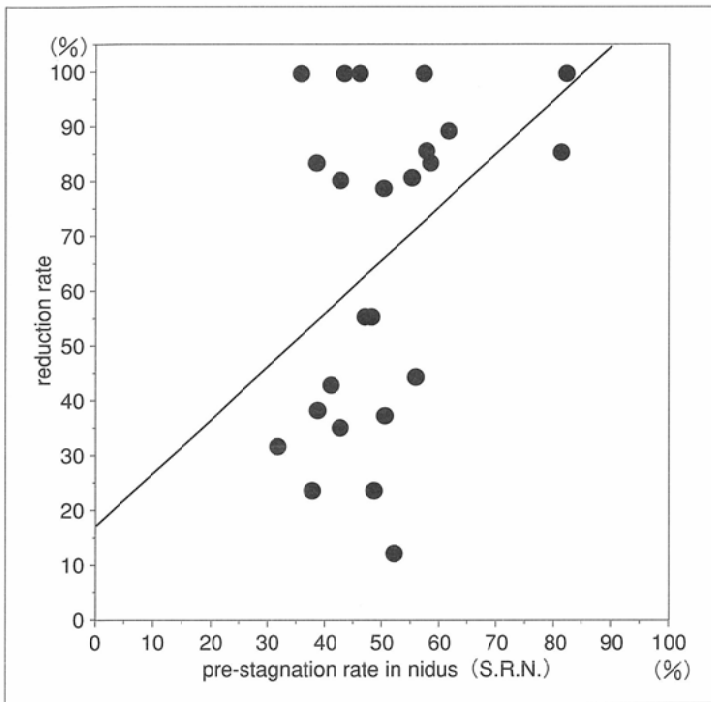


Fig.1 Rate of reduction in AVM volume 1 year after linac-based stereotactic radiosurgery based on the stagnation rate in the nidus before treatment.

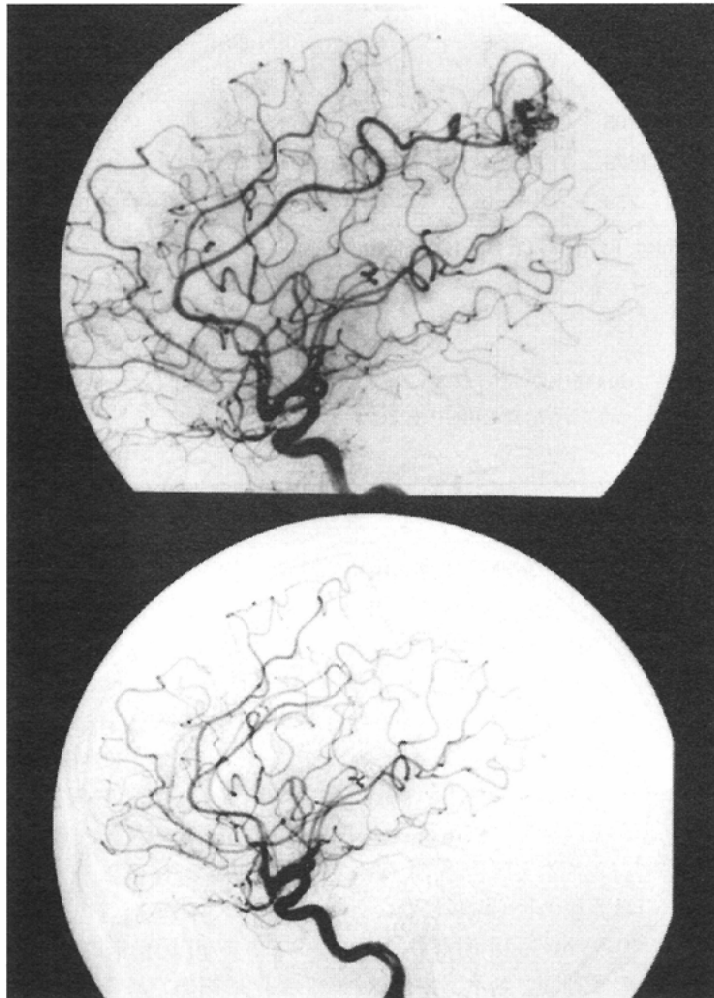


Fig.2 Case 1.  
A: Angiogram before linac-based stereotactic radiosurgery shows the AVM fed by the right anterior cerebral artery. The stagnation rate in the nidus was 57.3%.  
B: Angiogram 1 year after linac-based stereotactic radiosurgery shows complete obliteration of the AVM.

しては、Inoueら<sup>7)</sup>が脳血管造影からAVMをshunt type, mixed type, moya typeに分類し、moya typeはガンマナイフの治療後早期に閉塞すると報告している。

一方、福岡ら<sup>8)</sup>は血流速度の緩急または血流量の大小で同じサイズのAVMでも閉塞率に有意差があると報告している。そのため現在では、CTやMRIでの形態学的評価に加え、Dynamic CTやMR Angiography (MRA)を用いて血行動態を評価する方法も試みられている。われわれの施設でも閉塞率、縮小率が体積に依存しない症例が散見され、今回の検討でも体積と体積縮小率との相関係数は $r = -0.190$  ( $p = 0.3666$ )で、明らかな相関はないものと思われた。

血行動態の側面に関しては血流速度、血流量が重要視されている。血流速度では福岡ら<sup>8)</sup>は脳血管造影での導出静脈描出の速さで判断し、nidusと導出静脈がほぼ同時に描出される血流の速いタイプはシャント部分の血管内腔が大きく、導出静脈がnidusに遅れて描出される遅いタイプはシャント部分の血管内腔が小さいことが示唆され、遅いタイプの方が閉塞しやすいと報告している。血流量に関しては河本<sup>9)</sup>が276例において、high flowのAVMとlow flowのAVMで閉塞率を比較したところ、low flowの方が有意に閉塞率が高いと報告している。しかし、これらの判定は定量的でないため、主観により左右される可能性が生じる。

一方、AVMの血行動態を定量的に評価する試みとして、Petereitら<sup>10)</sup>は2D-PC法MRAを用いてAVMの血流速度を測定し、slow, intermediate, fastに分類してガンマナイフの治療効果を検討し、slow群の流速の遅いAVMほど早く閉塞すると報告している。また、権藤ら<sup>11)</sup>はDynamic CTを用いてnidus全体に関心領域を設定しtime density curveを作成して、平均循環時間(mean transit time; MTT)を求めた。MTTが短いほどnidus全体の血流量が豊富(高流量群)で、MTTが長いほど血流量は少ない(低流量群)として、ガンマナイフ治療後、低流量群は早期に完全閉塞し、高流量群では待機期間中に出血を来した症例もあると報告している。これらの試みはnidusに関する直接的定量法である。

そこで、今回われわれは定量的でかつ簡便に判断できる項目を検討した。AVMの定位手術的照射前の脳血管造影における血行動態の側面から、nidus内での造影剤の停滞時間に着目した。更に、停滞時間だけでは年齢や生物学的な影響を受けやすいと推測されたの

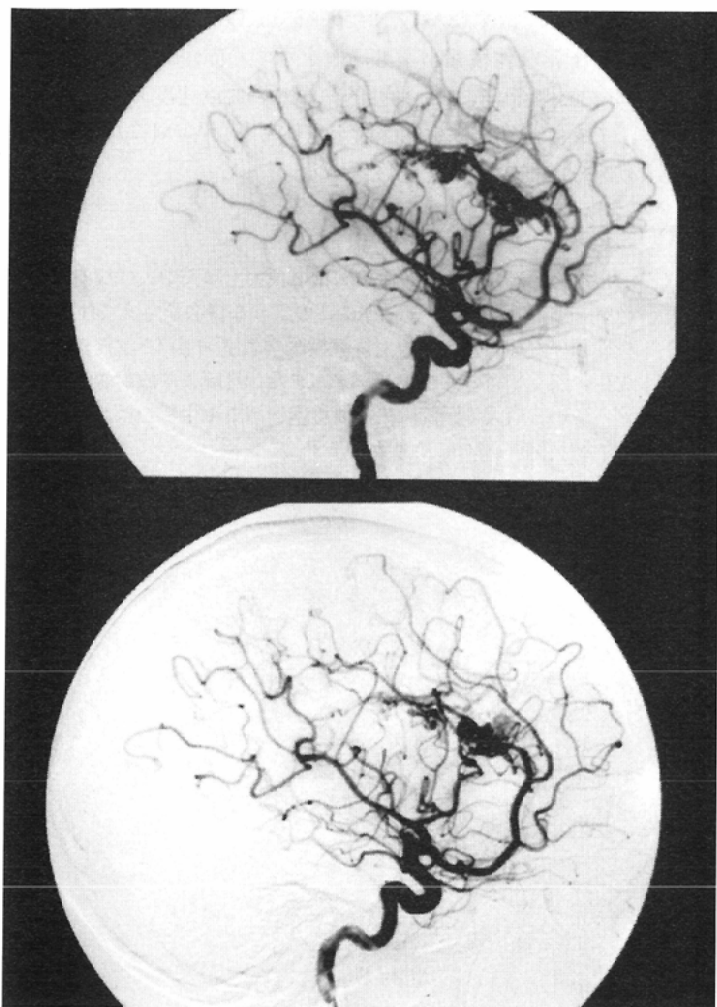


Fig.3 Case 2.

A: Angiogram before linac-based stereotactic radiosurgery shows the AVM fed by the right anterior cerebral artery. The stagnation rate in the nidus was 32.1%.

B: Angiogram 1 year after linac-based stereotactic radiosurgery shows no definite decrease in the volume of the nidus in spite of a marked increase in the stagnation rate in the nidus of the AVM. (The stagnation rate in the nidus, 51.5%, was higher than the pretreatment value.)

で、頭蓋内循環時間との割合を計測することで定量化を試み、nidus内の造影剤停滞時間を頭蓋内循環時間に対する百分率で表示し、この値が血流速度を示唆する指標となるのではないかと考え、この値をnidus停滞率と定義した。今回の検討で、このnidus停滞率と体積縮小率の相関関係を検討したところ相関係数は $r = 0.406$  ( $p = 0.0432$ )で、相関関係があるとの結果を得、nidus停滞率を測定することでAVMの血行動態を簡易に評価出来、かつ臨床的にも有用な指標になり得ると思われた。定量的ではないが高梨<sup>12)</sup>らも脳血管造影で流入動脈、nidus、流出静脈の描出される早さから分類し、流出静脈がnidusと同じphaseの画像において描出されるものをrapid flowとし、流出静脈がnidusの描出された後phaseで遅れて描出されるものをslow flowとし、その結果flow rateがrapid flowのものは完全閉塞率が有意に低いと報告している。従来の報告<sup>13)</sup>によると血流速度の早いタイプや血流量が

豊富なタイプのAVMではその構造内にintranidal fistulaが存在すると推測されている。われわれの症例で治療前のnidus停滞率が低く、治療後1年後でnidus停滞率に変動割合が少なく、治療1年後体積縮小率が低い症例はこのintranidal fistulaの存在で説明できるものと思われた。一方、治療1年後には25例中23例(92%)でnidus停滞率が上昇しており、これは放射線による血管内皮細胞のfibrinoid necrosisや線維性変化に基づく血管内腔の血栓形成によるものと考えられる<sup>14)</sup>。この血管内皮細胞の障害は血管径の細い小動脈、毛細血管に著明で、内皮細胞および皮下結合織の進行性増殖で最終的には血管が硝子変性に陥って内腔が閉塞するとされている<sup>15)</sup>。これは長期にわたる変化であり、血管内腔が徐々に閉塞するので次第に血流速度も低下し、造影剤のnidus内への停滞時間も長くなり、nidus停滞率が上昇するものとする。

最近ではAVMの完全閉塞の評価には治療後最低3年以上の経過観察が必要との報告<sup>3)</sup>がなされている。今回は症例数が少ないこと、経過観察の期間が全例で1年間と比較的短いことから、現段階でnidus停滞率から完全閉塞率を予測できるとは言及できない。今後2年後また3年後の経過観察におけるデータをとることが必要であり、その時点での完全閉塞率との関係を解析することで治療効果を左右する因子としての再評価がなされるものと思われる。nidus停滞率が血行動態的に血流速度を示唆する因子であることが推測され、治療1年後縮小率との間に相関関係があり、治療前nidus停滞率が高値の場合は治療1年後体積縮小率も高値を示す傾向がある。このことから定位手術的照射を主体としたAVMに対する治療効果を予測できる可能性が示唆される。

nidus停滞率の問題点として、(1)脳血管造影における術者間の手技的相違点による頭蓋内循環時間への影響がある。例えば造影剤の注入量、カテーテル先端の位置の違いなどがある。(2)検査時の患者の病態や状態の相違がある。具体的には出血などで発症し頭蓋内圧亢進症状を伴う場合、あるいは脱水症状のある場合や既往歴として高血圧、動脈硬化など有する場合には頭蓋内循環時間が延長する可能性がある。(3)AVMの複数の流入動脈や流出静脈に狭窄、閉塞を有する症例がある。これらではnidus内の造影剤の停滞時間が異なるのではないかと推測される。今回の検討では、複数流入動脈を有する症例は8例で、外頸動脈が関与する症例は3例であった。流入動脈が単数群と複数群との間でのnidus停滞率の有意差は認めなかった。全例で流出および環流静脈に狭窄、閉塞は認めなかった。(4)定位手術的照射治療前に塞栓術を施行されている症例が半数以上13例である。効果判定に塞栓術による影響が否定できないと思われた。しかし、塞栓術を施行している群と施行していない群との間で治療前後のnidus停滞率、1年後体積縮小率に有意差は見られなかった。

以上、治療前nidus停滞率と治療1年後体積縮小率との間に正の相関関係があり、nidusにおける体積という形態学的側面だけでなく、nidus停滞率という血行動態的評価も治療効果の予測に役立つものと考えられた。

## 結 論

- 1) 脳動静脈奇形(AVM)の脳血管造影で血行動態的側面からnidusに関する情報を定量化した。
- 2) nidus内への造影剤停滞時間を頭蓋内循環時間との百分率で明示し、この値をnidus停滞率と定義した。
- 3) 治療前nidus停滞率と治療1年後体積縮小率との相関係数は $r = 0.406$  ( $p = 0.0432$ )であり、これらの間に正の相関関係

が得られた。すなわち、治療前nidus停滞率が高値の場合は治療1年後体積縮小率も高値を示す傾向がある。

4) nidus停滞率は血行動態的側面での血流速度を示唆する因子であり、定位手術的照射を主体としたAVMに対する治療効果を予測できる可能性がある。

## 謝辞

稿を終えるに当たり、直接御指導頂いた順天堂大学放射線医学教室 前原忠行 教授、ならびにこのような機会を与えて下さり御校閲頂いた順天堂大学放射線教授医学教室 片山仁 主任教授 両先生に深く感謝の意を表します。また、日頃より放射線治療に携わっている順天堂医院中央放射線室 三浦康平 主任をはじめとする放射線技師の方々に深謝致します。

## 文 献

- 1) Lunsford LD, Kondziolka D, Flickinger JC, et al: Stereotactic radiosurgery for arteriovenous malformations of the brain. *J Neurosurg* 75: 512-524, 1991
- 2) Friedman WA, Bova FJ: Linear accelerator radiosurgery for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 77: 832-841, 1992
- 3) Yamamoto Y, Coffey RJ, Nichols DA, et al: Interim report on the radiosurgical treatment of cerebral arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 83: 832-837, 1995
- 4) Friedman WA, Bova FJ, Mendenhall WM: Linear accelerator radiosurgery for arteriovenous malformations: The relationship of size to outcome. *J Neurosurg* 82: 180-189, 1995
- 5) 唐澤克之: 脳定位放射線治療の現状と問題点. *癌の臨床* 43 (2): 147-152, 1997
- 6) Kemeny AA, Dias PS, Forster DMC: Results of stereotactic of arteriovenous malformations: An analysis of 52 cases. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 52: 554-558, 1989
- 7) Inoue H, Kohga H, Kurihara H, et al: A classification of arteriovenous malformations for radiosurgery - Neuroimaging, histopathology and radiobiological effect. Sixth annual Leksell gamma knife society meeting: 1994 (abstr)
- 8) 福岡誠二, 中村順一: ガンマナイフ. *CLINICAL NEUROSCIENCE* 15 (5): 550-553, 1997
- 9) 河本俊介: 脳動静脈奇形に対するradiosurgeryの現況: 脳神経 48 (2): 129-141, 1996
- 10) Peteret D, Mehta M, Turski P, et al: Treatment of arteriovenous malformations with stereotactic radiosurgery employing both magnetic resonance angiography and standard angiography as a database. *Int J Radiation Oncology Biol Physics* 25 (2): 303-313, 1993
- 11) 権藤学司, 石渡祐介, 細田浩道, 他: 脳動静脈奇形の血行動態解析とガンマナイフの治療効果 定位的放射線治療 1: 37-42, 1997
- 12) 高梨正美, 福岡誠二, 瀬尾喜宣, 他: AVMの閉塞に対するGamma Knife surgeryの効果についての検討. *北海道脳神経疾患研究会誌* 7: 29-34, 1997
- 13) Lasjaunias P, Manelfe C, Chiu M: Angiographic architecture of intracranial vascular malformations and fistulas-pretherapeutic aspects. *Neurosurg Rev* 9: 253-263, 1986
- 14) Steiner L: Treatment of arteriovenous malformations by radiosurgery. (In) Wilson CB, Stein BM, eds: *Intracranial Arteriovenous Malformation*. 295-313, 1984, Williams and Wilkins, Baltimore
- 15) 河村文夫, 藤原寿則, 麻植淳治, 他: 照射による微小循環の障害. *細胞* 7: 17-27, 1975