

原 著

脳動静脈奇形の循環動態

—Dynamic CT, 各種パラメーターによる循環動態の解析—

東京女子医科大学 脳神経外科学教室 (主任: 喜多村孝一教授)

タケ シタ ミキ ヒコ
竹 下 幹 彦

(受付 昭和62年5月12日)

Hemodynamic Study of Arteriovenous Malformations
—Analysis of Hemodynamics by dynamic CT—**Mikihiko TAKESHITA**Department of Neurosurgery (Director: Prof. Koichi KITAMURA)
Tokyo Women's Medical College

Various methods have been reported for the purpose of hemodynamic measurements of the cerebral arteriovenous malformations.

In this paper, using a TCT-60A-30 scanner, dynamic computed tomography was performed on 29 cases with arteriovenous malformations. A series of 24 rapid-sequence images (CT-angiography) was generated.

The time-density curve by use of Thompson's methods was analyzed with multiple ROIs' which were bilaterally set up for the nidus, surrounding areas of the nidus and its contralateral symmetrical areas corresponding to each arterial supply.

The flow parameters, such as the peak height (PH), the mean transit time (MTT, first moment transit time), the arrival time (AT), the peak time (PT), the wash out time (WOT), and the PH/MTT were calculated.

The correlation between MTT and the mode transit time (the interval of the flexion points of the time-density curve) was also evaluated.

It was suggested that under normal blood-brain-barrier and stable conditions such as the cardio-pulmonary function, systemic blood volume, viscosity of the blood, PH, MTT, PH/MTT indicated vascular beds of ROIs', brain circulating time, blood flow respectively.

In the ROIs' of the nidus, high value of PH, PH/MTT and reductance of MTT, AT and WOT were noted in comparison with surrounding areas. However, these transit times of the nidus were not significant statistically compared with those of contralateral areas of the surrounding nidus. The ROIs' of the nidus showed increased vascular beds and blood flow and reductance of transit times. However, transit times were equal in the nidus and contralateral areas of the surrounding nidus. On the other hand, the transit times except for PT of the surrounding nidus were decreased compared with its contralateral symmetrical areas, and PH and PH/MTT were equal in both areas.

These results suggested that steal phenomenon was noted and disturbed venous returns in the surrounding nidus occurred, and there was no difference between both hemispheric vascular beds and blood flow except for the nidus.

In cases accompanied by low density areas surrounding the nidus, MTTs' and ATs' of the

nidus were prolonged. These suggested a possibility of spontaneous embolizations of the nidus of AVM.

On the basis of the above results, hemodynamic measurements by use of dynamic CT are very useful to evaluate hemodynamics of AVM and its surrounding areas.

はじめに

脳動静脈奇形(以下、AVMと略す)の循環動態については、1948年、Shenkin¹⁾が、笑気混合ガスを吸入させKetyのFickの原理をmodifyした方法²⁾を用いて、左右半球の循環諸量を測定した報告以来、諸家^{3)~20)}により検討されている。しかしながら、AVMおよびその周辺脳組織の循環動態の全体像は、必ずしも明らかにされていず、未解決の点も少なくない。

著者は、29例のAVM症例につき、任意の大きさで関心領域を設定できるようにしたdynamic CT²¹⁾を用いて、AVMの循環動態について検討した。このdynamic studyによる各パラメーターの解析と神経放射線学的所見、および臨床症状との関連をも検討し、AVMおよびその周囲脳組織の血行動態について考察した。

対象および方法

対象は、AVM患者29例で、男性17例、女性12例、年齢は13歳より58歳まで、平均 32.5 ± 13.7 (SD)歳である。また、出血発作を伴った症例では、発作後少なくとも3カ月以上経過後、dynamic studyを行ない検討した。dynamic studyは、TCT-60A-30(東芝製)を用いて行なった。また、造影剤の注入はすべて右側肘静脈より同一濃度の非拡散性造影剤(65%diatrizoate塩)50mlを秒間

8mlの速度で18~19ゲージのエラスター針により自動注入器を用いて行なった。dynamic studyを行なうためのslice levelの設定は、脳血管撮影より、AVMのnidusの最大径に一致するlevelとした。1回のスキャン時間は4.5秒、scan間隔は2秒で、8回の連続スキャンを行なった。各スキャン像は2秒間隔で3分割し、合計24個の像を50秒間に得た(Fig. 1)。Photo 1は、dynamic studyにおける連続画像で、AVMのfeeder, nidus, drainerが時間の経過とともに造影され、CT-angiographyとも言えるものである。time-density curveの作成は、Thompsonらの方法²²⁾を用いslice内の関心領域(region of interest, 以下ROIと略す)の吸収値の変化を、再循環因子やback groundの影響、すなわちbolusの希釈の影響を取り除くためgamma fittingを行ない作成した。また、曲線の終了は、peak値の40%の高さとした。gamma fittingは以下の式で与えられる。

$$C(t) = K(t-T)^{\alpha} \exp[-(t-T)/\beta]$$

t: time after injection, C(t): indicator concentration at time, t, K: constant scale factor, T: appearance time, α , β : arbitrary parameter

循環動態解析の各種パラメーターは、PH (peak height: peak時の吸収値), MTT [mean transit

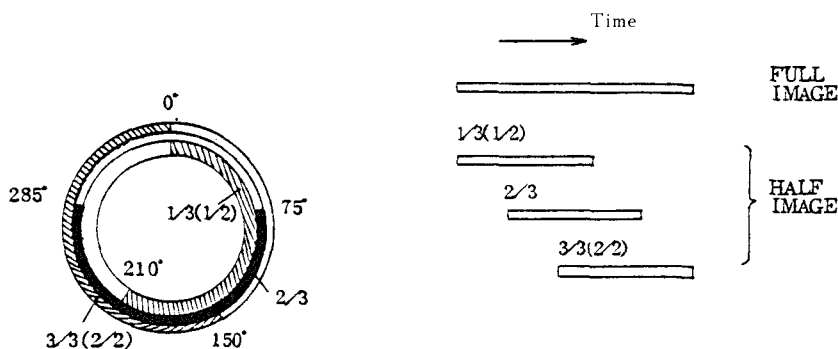


Fig. 1 Mode of dynamic CT

time: time-density カーブの立ち上がりより終了までの平均循環時間, $\int tC(t)dt/\int C(t)dt$

PT (peak time: カーブの立ち上がりより、ピークまでの時間), WOT(wash out time: ピークからカーブの終了までの時間), AT (arrival time: 造影剤注入時より、カーブ出現までの時間)および、PH/MTTについて検討した。また、我々の用いている静注法では、tracerが中心循環系の影響を受けるため、頭部に達するまでに bolus としての性質を失うことから、これを補正するため Oldendorf ら²³⁾²⁴⁾が提唱した mode transit time (最頻通過時間: time density カーブの上行脚および下行脚の変曲点の時間間隔)と我々が用いている mean transit time との相関を求め、我々が用いている mean transit time の妥当性についても検討した (Fig. 2)。

ROI は, nidus, nidus の周囲およびその反対側対称部位にそれぞれ設定した。nidus 周囲およびその反対側対称部位の ROI の設定は、解剖学的構造を加味した動脈灌流領域を用い、大血管, feeder および drainer をできるだけ避け左右対称に行なった (Photo 2)。

今回の研究では、症例の年齢分布が、比較的若年ないし壮年層にあり、そのため対象となる症例それぞれの心拍出力、全身状態などの中心循環系 background がほぼ一定の状態に近いと考えられた。また、出血発作例や、けいれん発作例では、発作より少なくとも3カ月以上経た、脳血液関門

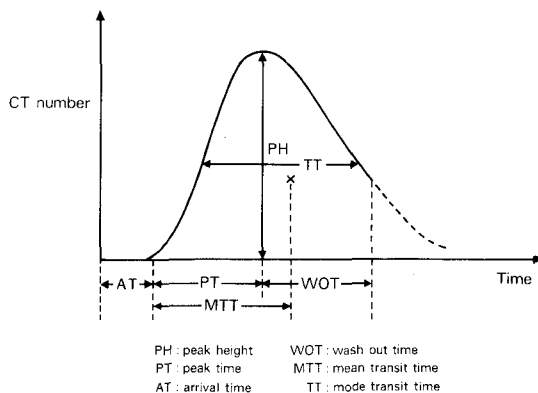


Fig. 2 Gamma variate fitted time-concentration curve and parameters

の障害の少ない時期に dynamic study を行なった。

結果

Table 1 および 2 に29症例のAVMのnidus, nidus 周囲およびその反対側の対称部位のROIにおけるPH, MTT, PH/MTT, PT, WOT, およびATを呈示した。AVMのnidusでは、nidus 周囲と比べ、PHは平均 117.46 ± 61.1 (CT number)と高値を示し、MTTは平均 8.42 ± 2.03 秒、WOTは平均 7.00 ± 1.91 秒、およびATは平均 6.32 ± 2.67 秒と短縮し、PH/MTTでは平均 15.08 ± 8.01 (CT number/sec)と増大していた。すなわち、nidus部分では、nidus 周囲のROIと比べ、有意にPHの高値、MTT, WOTおよびATの短縮、PH/MTTの増大を示していた。また、PT

Table 1 PH, MTT and PH/MTT in AVM (29 cases)

| | PH(CT number) | | MTT (sec.) | | PH/MTT (CT number/sec.) | |
|-------------------|---------------|-------------------|------------|-----------------|-------------------------|------------------|
| | No. | Mean \pm SD | No. | Mean \pm SD | No. | Mean \pm SD |
| Nidus | 24 | 117.46 ± 61.1 | 24 | 8.42 ± 2.03 | 24 | 15.08 ± 8.01 |
| Affected side | 97 | 10.22 ± 3.74 | 97 | 9.19 ± 3.48 | 97 | 1.24 ± 0.65 |
| Non-affected side | 97 | 9.95 ± 3.71 | 97 | 8.57 ± 2.51 | 97 | 1.25 ± 0.61 |

PH: peak height

MTT: mean transit time

No.: number of regions where each parameters were measured

SD: standard deviation

N.S.: not significant

Table 2 Transit Time in AVM (29 cases)

| | PT (sec.) | | WOT (sec.) | | MTT (sec.) | | AT (sec.) | |
|-------------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | No. | Mean±SD | No. | Mean±SD | No. | Mean±SD | No. | Mean±SD |
| Nidus | 24 | 7.56±1.54 | 18 | 7.00±1.91 | 24 | 8.42±2.03 | 24 | 6.32±2.67 |
| Affected side | 97 | 6.95±2.11 | 82 | 8.05±2.86 | 97 | 9.19±3.48 | 97 | 7.16±3.42 |
| Non-affected side | 97 | 7.08±2.12 | 82 | 7.47±2.33 | 97 | 8.57±2.51 | 97 | 6.73±3.13 |

PT : peak time

WOT : wash out time

MTT : mean transit time

AT : arrival time

No. : number of regions where each parameters were measured

SD : standard deviation

N.S. : not significant

Table 3 Correlation between low density area on CT and Transit Time, PH of Nidus

| | MTT(sec.) | | PT(sec.) | | WOT(sec.) | | AT(sec.) | | PH(CT number) | |
|--------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|---------------|--------------|
| | No. | Mean±SD | No. | Mean±SD | No. | Mean±SD | No. | Mean±SD | No. | Mean±SD |
| Nidus with low density area | 12 | 9.45±1.13 | 12 | 8.35±1.41 | 10 | 7.67±2.00 | 12 | 6.83±2.87 | 12 | 113.99±70.88 |
| Nidus without low density area | 12 | 7.40±2.25 | 12 | 6.75±1.27 | 10 | 7.26±1.73 | 12 | 5.85±2.54 | 12 | 111.59±61.02 |

MTT : mean transit time

PT : peak time

WOT : wash out time

SD : standard deviation

AT : arrival time

PH : peak height

No. : number of regions where each parameters were measured

は平均7.56±1.54秒と反対に遅延していた。一方、nidusの周囲とその反対側対称部位の左右ROIの比較では、MTTは、nidus周囲平均9.19±3.48秒、対側平均8.57±2.51秒、WOTは、nidus周囲平均8.05±2.86秒、対側平均7.47±2.33秒、ATは、nidus周囲平均7.16±3.42秒、対側平均6.73±3.13秒で、対側に比べ有意に、nidus周囲のROIでの遅延を認めたが、PHは、nidus周囲平均10.22±3.74 (CT number)、対側平均9.95±3.71 (CT number)、PH/MTTは、nidus周囲平均1.24±0.65 (CT number/sec)、対側平均1.25±0.61 (CT number/sec)、PTは、nidus周囲平均6.95±2.11秒、対側平均7.08±2.12秒で、PH、PH/MTTおよびPTの値は、nidus周囲および対側で左右ROIに有意な左右差は認めなかった。また、nidusにおけるAT、WOT、MTTの循環

時間は、nidus周囲ROIとは対称部位である対側ROIの循環時間と統計学的に有意差を認めなかった。

CT所見から、AVMのnidus周囲に低吸収域を伴う群と伴わない群に分け、これらのnidusにおけるMTT、PT、WOT、ATおよびPHを比較すると、周囲に低吸収域を伴う群のnidusにおいて、MTTは平均9.45±1.13秒、PTは平均8.35±1.41秒、伴わない群では、MTTは平均7.40±2.25秒、PTは平均6.75±1.27秒で、nidus周囲に低吸収域を伴う群のnidusでMTT、PTの有意な遅延が認められたが、2群間でWOT、ATおよびPHに有意差はなかった。nidus周囲に低吸収域を伴う群は、全例、出血発作の既往のある例であった (Table 3)。

さらに、我々が用いている mean transit time

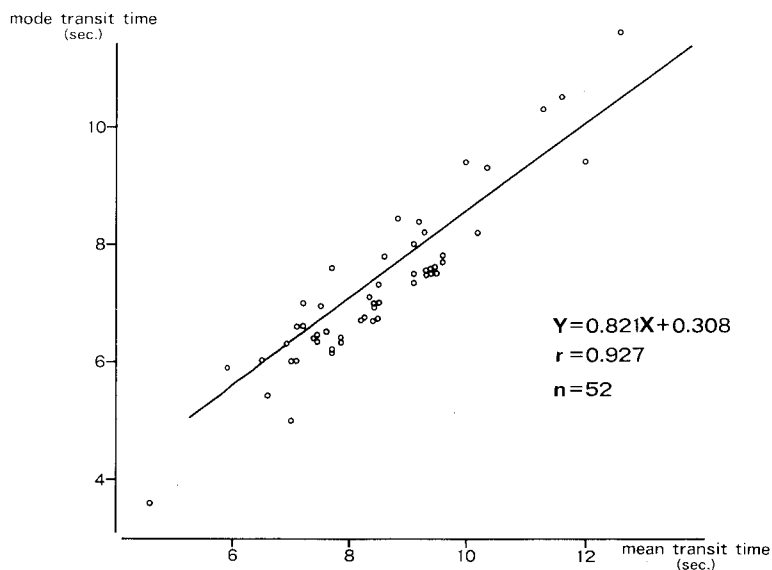


Fig. 3 Correlation between Mode Transit Time and Mean Transit Time

$[\int tC(t)dt/\int C(t)dt]$ と Oldendorf ら²³⁾²⁴⁾が提唱した mode transit time (time density カーブの上行脚および下行脚の変曲点の時間間隔, すなわち, time density カーブを一次微分して得られた positive peak と negative peak 間の時間) との相関を求めた. Fig. 3 の如く, 相関係数 $r=0.927$, $Y=0.821X+0.308$ ($p<0.01$) で, 強い正の相関を得た.

考 察

AVM の循環動態の検討は, 1948年, Shenkin ら¹⁾によって初めて行なわれ, その後, 主にラジオアイソトープを利用した循環動態の報告^{3)5)~7)10)12)14)15)17)19)20)}がみられる. 最近では, Xe-inhalation CT 法¹⁵⁾¹⁷⁾, PET¹³⁾による三次元的な循環動態の検討が行なわれつつある. 一方, CT scan の技術的な進歩およびソフトウェアの開発により, 従来の非拡散性造影剤を用いた高速 CT scan にて dynamic CT^{25)~27)}を行ない, 循環諸量の絶対値を測定できないものの, その time-density curve より得られたパラメーターより, 短時間に, かつ廉価に脳循環の解析を行なえるようになってきた. 現時点では, 閉塞性脳血管障害^{28)~31)}, 頭部外傷³²⁾³³⁾, 血管奇形¹⁸⁾³⁴⁾³⁵⁾, 脳腫瘍³⁶⁾³⁷⁾, 水頭症³⁸⁾などに dynamic CT が応用され

ている. しかしながら, この time-density curve より得られた各パラメーターは, 造影剤の注入部位, 速度および量, 被検者の体格, 身長, 静脈の弾力性, 動脈硬化の程度, 心肺機能, 全身血液量, 血液粘稠度などの諸因子により大きく影響されるといわれており, 各パラメーターの値を個々の症例ごとに比較する場合, 十分注意する必要がある. また, 本来 dynamic study に使用する造影剤は, 従来より用いている非拡散造影剤であるが, 脳出血, 脳梗塞などの脳血管疾患や脳腫瘍などにおいて, blood brain barrier の破壊されている時期には, 容易にこの非拡散性造影剤が血管外に漏出すると考えられ, 上記の条件以外の要素として一層これらのパラメーターの解析に困難を伴うこととなる.

しかしながら, 本研究の29症例では, 年齢は, 平均 32.5 ± 13.7 (SD) 歳で, 身長, 体重, 静脈の弾力性, 動脈硬化の程度などの被検者の background は比較的一定していると考えられる. また, 心肺機能や Ht の異常を伴うもの, 出血発作などの blood brain barrier の異常が考えられる時期のものについては, この研究より除外した. したがって, dynamic study を行なう被検者の background をできるだけ一定の状態として個々の症

竹下論文付図 I

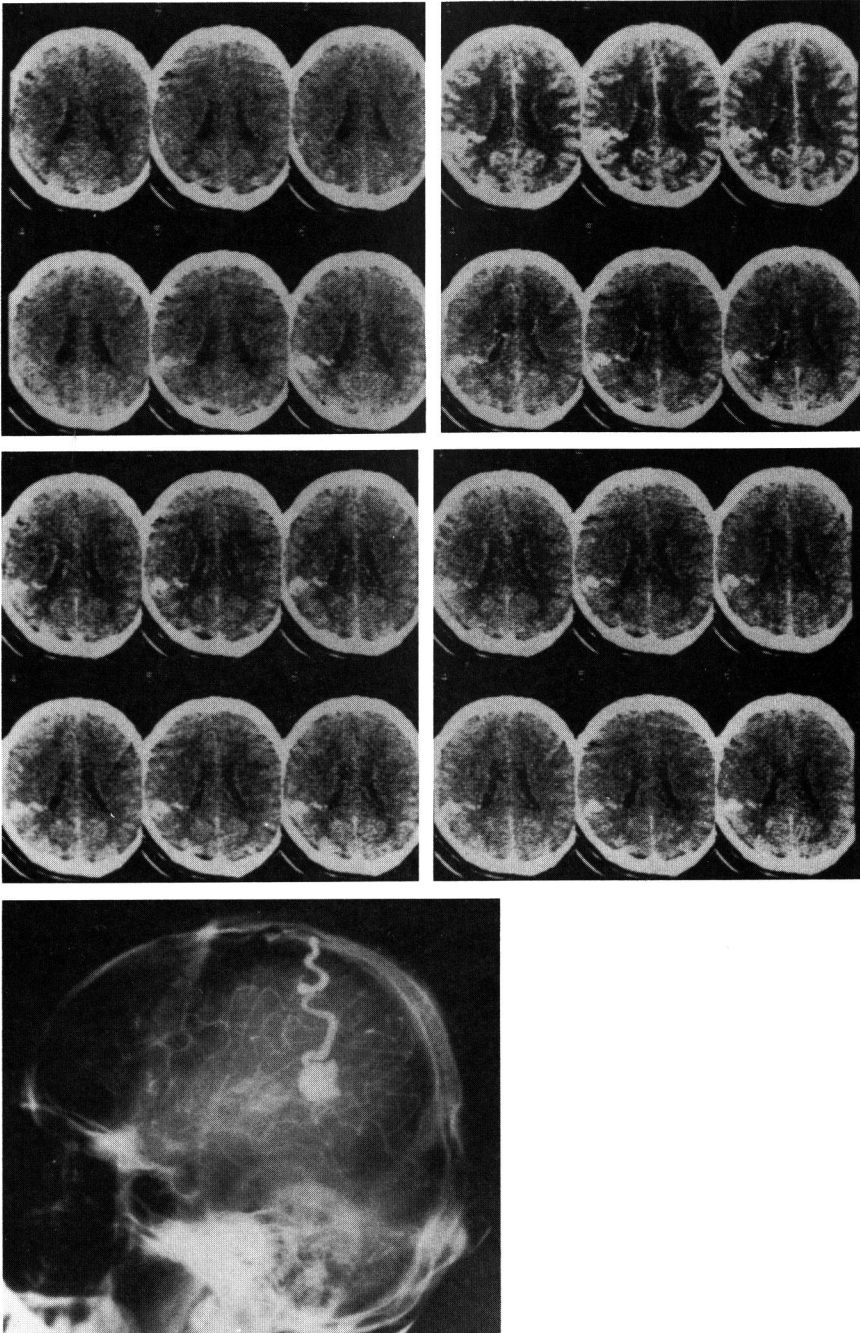


Photo 1 CT angiography : Sequential visualization of the feeders, nidus and drainers

竹下論文付図Ⅱ

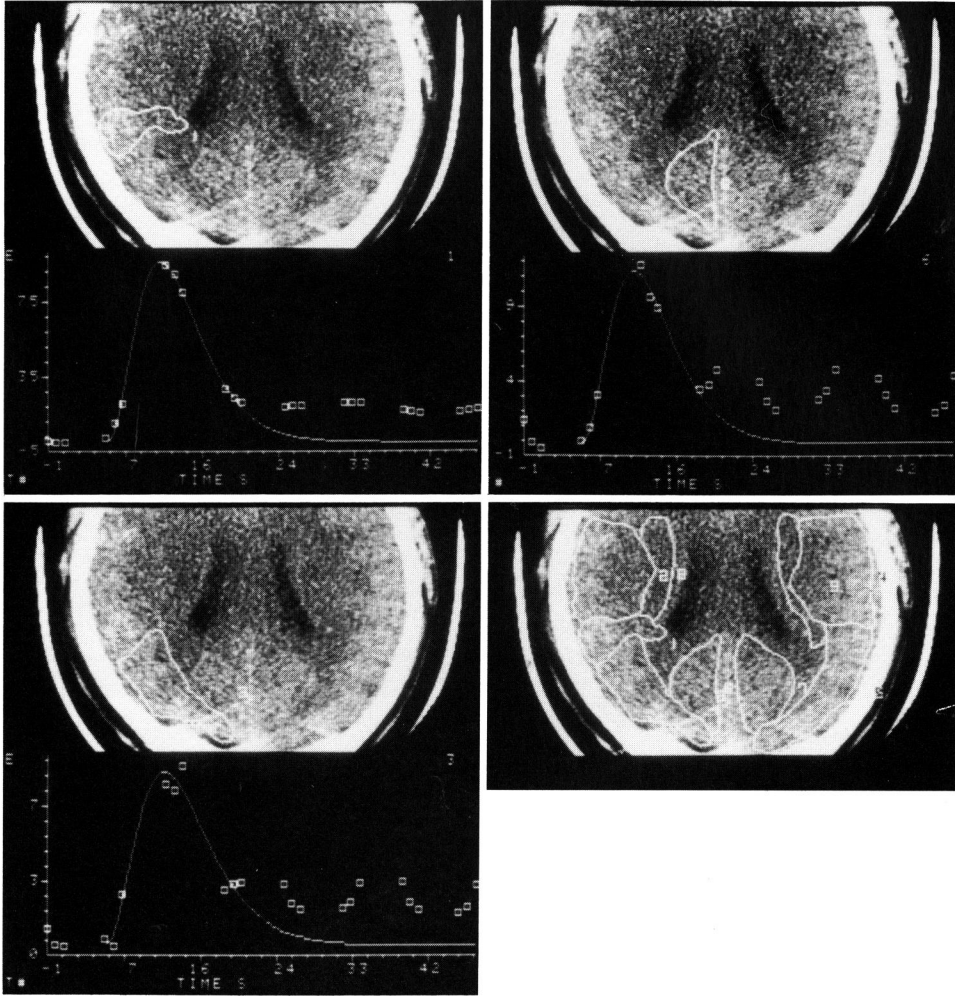


Photo 2 Time-density curve and ROIs' in arteriovenous malformation
Multiple ROIs' including nidus, surrounding nidus and its symmetrical areas of each arterial supply were measured.

例のパラメーターを比較検討した。これらの条件のもとでは、PHはROI内の組織の血管床量を、MTTは、ROI内のmicrocirculationにおける平均循環時間を表現していると考えられる。また、このMTTは、今回の研究の結果から、Oldendorfら²³⁾²⁴⁾の用いたmode transit timeと強い正の相関を示すことより、従来より報告されている非拡散性アイソトープを用いたbolus injectionによる静注法から測定される脳循環時間と同じ意義をもつものと考えてよい。PH/MTTは、ROI内のmicrocirculationにおける血流量をほぼ反映していると考えられる。また、ATは、tracerの注入時点よりカーブの立ち上がりまでの時間、PTは、カーブの立ち上がりよりカーブのpeakまでの時間で、WOTは、カーブのpeakよりカーブの終了までの時間で主にROI内の循環動態なかでも静脈系還流の影響をよく反映すると考えられる。

1) Nidusの循環動態について

AVMのnidus部分では、nidus周囲のROIと比較して、PHの高値、PH/MTTの増大およびAT、MTT、WOTの通過時間の短縮を認めた。これは、既知の如くnidusでの血管床、血流量の増大を示すものと考えられる。しかし、nidusにおいて、PTは、nidus周囲のROIや、その反対側対称部位と比較して遅延していた。これは、PTが、tracerの見かけの濃度分布を表現しており、MTTと異なりtracerの微小部分の平均としての移動を測定していないものと考えられる。したがって、nidus部分におけるMTT、WOTの短縮、PTの遅延は、nidus内におけるturbulence、停滞、異常環流などの存在が考えられる。

著者らは、前回の報告¹⁸⁾で、nidusの大きさと、PH、MTT、PH/MTTとは相関がないことを示した。これは、nidusの大きさと血管床、nidus内の循環時間および血流量が必ずしも相関しないことを意味している。したがって、大きなAVMが必ずしもhigh flowなAVMを意味していないと考えられる。

また、CT上、nidus周囲に低吸収域を呈する群では、呈さない群に比べMTT、PTの遅延を認めた。nidus周囲に低吸収域を呈する群は、全例、出

血発作の既往を認めており、出血発作を契機として、nidus内でspontaneous embolization³⁹⁾⁴⁰⁾を起こしている可能性を示唆するものと考えられる。

2) Nidusの周囲とその反対側対称部位との循環動態の比較について

従来⁶⁾⁷⁾¹⁶⁾¹⁹⁾によると、AVMの存在する大脳半球において、その循環時間は短縮している。また、nidus自体の脳循環時間は、nidusを有する大脳半球のそれと同じであると報告¹⁹⁾しているものもある。本研究の結果では、nidus周囲の脳組織の循環時間(AT、MTTおよびWOT)は、nidusの存在しない対側半球の脳組織における循環時間と比べ有意に遅延していた。また、nidus自体の循環時間は、nidus周囲の脳組織の循環時間よりも短縮していた。Wagnerら⁴¹⁾によると正常人の循環測定において、中心循環系に異常がない場合、左右大脳半球ROIのarrival time、peak time、first moment transit timeに差がないと報告している。したがって、nidus周囲の脳組織における循環時間の遅延は、AVMのsucking action (AVMの周囲あるいはAVM遠位部への灌流すべき血液を盗用する、steal phenomenon³⁾⁴⁾⁶⁾⁸⁾⁹⁾⁴²⁾やvenous returnの障害¹¹⁾によるものと考えられる。

従来より、種々の血流測定方法で、AVMの周囲において減少しているrCBFがnidus摘出後には是正されるという報告³⁾⁴⁾¹²⁾¹⁵⁾⁴³⁾は多く認められる。AVMのnidus周囲の脳組織のrCBFは、¹³³Xe clearance法¹²⁾¹⁴⁾では、正常と報告し、一方、貫井ら¹²⁾は、AVMの容積や短絡血液量の異常に大きい例で、AVM近接部にhyper perfusionの部位を認めている。¹³³Xe inhalation法¹⁰⁾¹⁷⁾²⁰⁾では、大脳半球間で、mean rCBFの左右差を認めず、局所的には、表在性AVMの病巣近傍でのrCBFの増加と低下の混在、その周囲で低下を示すと報告¹⁷⁾²⁰⁾するもの、また、表在性AVMの患側mean rCBFの増加を報告¹⁰⁾するものもある。PET¹³⁾やXe enhanced CT法¹⁵⁾¹⁷⁾では、nidus周囲の脳組織のrCBFは減少しているとの報告がみられる。特にOkabeら¹⁵⁾は、¹³³Xe inhalation法と比較し

nidus 周囲の surrounding ischemia を評価する上で、Xe enhanced CT 法が、 ^{133}Xe inhalation 法よりすぐれているとし、術後の評価では、両方法において nidus 周囲の低血流域の回復を認めたと報告している。しかしながら、いずれの報告でも対側対称部位との比較検討はなされていない。本法では、nidus 周囲の脳組織とそれに対応する反対側対称部位で血流量に有意な差を認めなかった。

また、血管床を表現すると考えられる PH による検討では、nidus 周囲脳組織とそれに対応する反対側対称部位で、有意な差を認めなかった¹⁹⁾。

結 論

脳動静脈奇形症例に対し dynamic CT を用い、その各種パラメーターより循環動態の解析を行ない以下の結論が得られた。

1) nidus 部分では、PH の増大、MTT、WOT の短縮、PT の遅延を認め、循環時間の短縮、血管床量の増大を示すとともに nidus 内における turbulence, うっ滞、異常環流の存在が考えられた。

2) nidus 周囲脳組織の循環時間は、nidus の存在しない対側半球の脳組織の循環時間に比べ遅延していた。

3) nidus 周囲脳組織とその反対側対称部位で血管床に有意な差を認めなかった。

4) CT 上、nidus 周囲に低吸収域を伴う群の nidus の循環時間は、伴わない群のそれに比べ有意に遅延していた。

5) 本法では、nidus 周囲脳組織とその反対側対称部位で血流量に有意な差を認めなかった。

6) MTT は今回の結果から、Oldendorf が用いた mode transit time と強い正の相関を示し、従来より報告されている非拡散性アイソトープを用いた bolus injection による静注法から測定される脳循環時間に代わりうるものと考えられる。

7) 以上の結果より、dynamic CT は AVM そのものおよび周囲脳組織の血行動態把握に non invasive で極めて有用な検査法であると考えられる。

稿を終わるにあたり懇切なる御指導をいただいた

東京女子医科大学 脳神経外科 喜多村孝一教授に深甚なる謝意を捧げるとともに、種々の御教示と御援助をいただいた加川瑞夫教授を初めとする教室諸先生方、神経放射線科の小林直紀教授を初めとする諸先生方に心から感謝の意を表する。

文 献

- 1) Shenkin HA, Spitz EB, Grant FC et al: Physiologic studies of arteriovenous anomalies of the brain. J Neurosurg 5: 165-172, 1948
- 2) Ketty SS, Schmidt CF: The determination of cerebral blood flow in man by use of nitrous oxide in low concentration. Am J Physiol 143: 53-66, 1945
- 3) Feindel W, Yamamoto YL, Hodge CP: Red cerebral veins and the cerebral steal syndrome. J Neurosurg 35: 167-179, 1971
- 4) Feindel W: The influence of cerebral steal: Cerebral Angioma, p87-99, Springer-Verlag, Berlin (1975)
- 5) 半田譲二, 半田 肇, 鳥塚完爾: 脳動脈瘻の血行動態— ^{133}I -MAA による研究. 臨床神経 9: 271-280, 1969
- 6) Heiss WD, Kvicala V, Prosenz P et al: The importance of arterial shunting in areas of brain distant from an arteriovenous malformation. Neurology 20: 376, 1970
- 7) 北野正躬, 加川瑞夫, 石田吉享ほか: 脳動静脈奇形における血行動態の変化—アイソトープの利用による脳血液動態の測定. 脳外 20: 443-449, 1968
- 8) Kusske JA, Kelly WA: Embolization and reduction of the "steal" syndrome in cerebral arteriovenous malformations. J Neurosurg 40: 313-321, 1974
- 9) Mullan S, Brown FD, Patronas NJ: Hyperemic and ischemic problems of surgical treatment of arteriovenous malformations. J Neurosurg 51: 757-764, 1979
- 10) Menon D, Weir B: Evaluation of cerebral blood flow in arteriovenous malformations by the ^{133}Xe inhalation method. Can J Neurol Sc 6: 411-416, 1979
- 11) Nornes H, Grip A: Hemodynamic aspects of cerebral arteriovenous malformations. J Neurosurg 53: 456-464, 1980
- 12) 貴井英明, 相羽 正: 脳動静脈奇形における脳循環動態. 臨床生理 3: 63-75, 1973
- 13) 貴井英明, 山本八十一, Thompson CJ ほか: Positron emission tomography: 特に脳腫瘍症例における ^{68}Ga -EDTA positron emission tomography を中心として. 神経外科 19: 941-954, 1979

- 14) **Oeconomus D, Kosmaoglou B, Prossalantis A**: Cerebral blood Flow. Clinical and Experimental Results. pp146-148, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York (1969)
- 15) **Okabe T, Meyer JS, Okayasu H et al**: Xenon-enhanced CT CBF measurements in cerebral AVM's before and after excitation: Contribution to pathogenesis and treatment. *J Neurosurg* 59: 21-31, 1983
- 16) **Prosenz P, Heiss WD, Kvicala V et al**: Contribution to the hemodynamics of arterial venous malformations. *Stroke* 2: 279-289, 1971
- 17) 佐藤和栄, 加川瑞夫, 谷藤誠二ほか: 脳動静脈奇形に関する研究2. 脳循環動態の検討. *脳外* 14: 37-43, 1986
- 18) 竹下幹彦, 加川瑞夫, 佐藤和栄ほか: 脳動静脈奇形に関する研究. 3. Dynamic CTによる循環動態の検討. *脳外* 14: 733-739, 1986
- 19) 竹山英二, 上野一朗, 高良英一ほか: 脳動静脈奇形の循環動態. *脳外* 8: 147-153, 1980
- 20) 谷本道則, 玉木紀彦, 桑村圭一ほか: 局所脳血流よりみた脳動静脈奇形の血行動態. *脳外* 12: 1513-1520, 1984
- 21) 小林直紀, 小野由子, 柿木良夫ほか: Dynamic CTの手技. *画像診断* 4: 410-417, 1983
- 22) **Thompson HK, Starmer CF, Whalen RE et al**: Indicator transit time considered as a gamma variate. *Circ Res* 14: 502-515, 1964
- 23) **Oldendorf WH**: Measurement of mean transit time of cerebral circulation by external detection of an intravenously injected radioisotope. *J Nucl Med* 3: 382-398, 1962
- 24) **Oldendorf WH, Kitano M**: Isotope study of brain blood turnover in vascular disease. *Arch Neurol* 12: 30-38, 1965
- 25) **Axel L**: Cerebral blood flow determination by rapid-sequence computed tomography: A theoretical analysis. *Radiology* 137: 679-686, 1980
- 26) **Berninger W, Redington R, Leue W et al**: Technical aspects and clinical applications of CT/X, a dynamic CT scanner. *J Comput Assist Tomogr* 5: 206-215, 1981
- 27) **Norman D, Axel L, Berninger W et al**: Dynamic computed tomography of the brain. *AJR* 136: 759-770, 1981
- 28) **Dobben GD, Valvassori GE, Mafee MF et al**: Evaluation of brain circulation by rapid rotational computed tomography. *Radiology* 133: 105-111, 1979
- 29) 半田譲二, 松田昌之, 中州庸子ほか: 脳血管障害の Dynamic CT. *CT 研究* 5: 5-17, 1983
- 30) 中込忠好, 寺岡 暉, 清水弘之ほか: Dynamic CT scanによる局所脳循環動態の解析. *脳神経* 34: 733-739, 1982
- 31) 嶋田 務, 金子満雄, 田中敬生ほか: 発症後6時間以内に行われた急性期脳血流再建術における Dynamic CT Scan の検討. *CT 研究* 5: 291-296, 1983
- 32) 吉野英二, 山本垂水, 樋口敏宏ほか: 頭部外傷急性期における dynamic CT. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 22: 829-837, 1982
- 33) 吉野英二, 山本垂水, 樋口敏宏ほか: 急性硬膜下血腫における dynamic CT の検討—diffuse cerebral swelling の動態について. *CT 研究* 5: 53-64, 1983
- 34) **Handa J, Matsuda M, Nakasu Y et al**: Dynamic computed tomography and functional imaging in cerebral vascular anomalies. *Surg Neurol* 19: 497-507, 1983
- 35) **Kataoka K, Yamada K, Nakao K et al**: Digital subtraction angiography and dynamic computed tomography for evaluating the hemodynamics in cases of giant intracranial aneurysm. *Surg Neurol* 20: 355-360, 1983
- 36) 池田幸穂, 中沢省三: 脳腫瘍性浮腫の病態分析—Contrast enhancement CT scan と dynamic CT scan を中心として. *脳神経* 36: 1055-1062, 1984
- 37) 中州庸子, 中州 敏, 岡本和夫ほか: 脳腫瘍の Dynamic CT と Functional Imaging-Meningioma について. *CT 研究* 4: 671-679, 1982
- 38) 玉木紀彦: 正常圧水頭症と脳血行動態. 局所脳血流, pp143-154, 利康商事, 東京 (1985)
- 39) 佐渡島省三, 田中健蔵: 脳動静脈奇形の臨床病理学的研究. *脳神経* 30: 437-442, 1978
- 40) **Stehbens WE**: Pathology of the Cerebral Blood Vessels, p471-558, Mosby, Saint Louis (1972)
- 41) **Wagner HN, Klingensmith WC, Knowles LG et al**: Advance in computer applications in radioactive tracer studies of the circulation. *IAEA-SM 216*: 1-9, 1976
- 42) **Olivercrona H, Ladenheim J**: Congenital arteriovenous aneurysms of the carotid and vertebral arterial systems. Springer-Verlag, Berlin (1957)
- 43) **Yamada S**: Arteriovenous malformations in the functional area: Surgical treatment and regional cerebral blood flow. *Neurol Res* 4: 283-322, 1982