

뇌동정맥 기형의 등급과 외과적 치료 성적

이화여자대학교 의과대학 신경외과학교실
신 규 만

= Abstract =

Grading System and Outcome of Surgical Treatment of Arteriovenous Malformations

Kyu-Man Shin

Department of Neurosurgery, College of Medicine, Ewha Womans University

Objectives : Arteriovenous malformations(AVMs) represent the most commonly encountered symptomatic vascular malformations in the field of vascular neurosurgery. Surgically accessible AVMs that present with hemorrhage should be removed to reduce the risk of subsequent hemorrhage. The advance of surgery is based on the size, location and pattern of venous drainage and these anatomic features influence the treatment risk. The author studied the above features for predictor of the surgical resection of AVMs.

Methods : Nineteen patients(8 male and 11 female patients) with intracranial AVMs were treated at the Ewha Womans Medical Center between March 1989 and Dec. 1996. The mean age, and sexual ratio, of the pts as well as symptoms, location, feeding arteries, pattern of venous drainage and size of the nidus were studied. AVMs were graded according to the Spetzler and Martin grade system. Overall outcome and postoperative results in eighteen patients were evaluated according to Glasgow Outcome Scale(GOS).

Results : The average age at the time of treatment was 30.8 years old(range 4 - 55 years old). The hemorrhage was the most common symptom, occurring in 15(80%) patients, and 2(10%) patients presented with headache, 1(5%) patient with seizure, 1(5%) patient with neurological deficit. The feeding arteries were as the followings ; middle cerebral artery 8(42%), anterior cerebral artery 2(10%), posterior cerebral artery 7(38%), internal carotid artery 1(5%), and anterior cerebral artery and middle cerebral artery 1(5%). The pattern of draining veins were described into superficial and deep ; superficial 9(47%), deep 10(53%). The size of the nidus were as the followings ; small(<3cm) 9(47.5%), medium(3 - 6cm) 9(47.5%), large(> 6cm) 1(5%). The Spetzler-Martin's grade and the outcome according to the grade were as follows : grade I ; 3(17%) resulted GOS-5 3 patients, grade II ; 5(26%) did GOS-5 6 patients, grade III ; 5(26%) did GOS-5 4 patients and GOS-4 1 patient, grade IV ; 4(21%) did GOS-5 3 patients and GOS-4 1 patient, grade V ; 1(5%) did GOS-1 1 patient. Overall, there were no death in surgical treatment, patients, the morbidity value was 2(10%) patients, the remainder were completely cured.

Conclusion : The Spetzler-Martin grade I - IV AVMs were associated with low rates of surgical morbidity and mortality. Therefore, surgery is the best treatment in the these grades.

KEY WORDS : Arteriovenous malformations · Postoperative results.

서 론

일찌기 기원전 1500년의 Papyrus Ebers¹⁾에 정맥류와 동맥류에 관하여 기술되어 있으나, 1955년 F.Henschel²⁾에 의하여 입증된 혈관종의 기형은 Virchow³⁾ 시대 이래로 병리학자들에게는 문제의 아동(problem of child)과 같이 해결이 어려운 채로 남아있었는데 1927년 Moniz⁴⁾에 의하여 뇌동맥조영술이 도입된 후 동맥조영술의 개선과 발달과 더불어 뇌동정맥기형들에 대한 형태학적과 혈류동학적 연구까지 새로운 장이 열렸다. 1889년 Giordano⁵⁾가 처음으로 뇌동정맥기형을 수술적치료를 시도함으로써 수술적치료의 가능성이 열렸으며, 약 98년전 불란서의 Jules Emile Pean은 뇌동정맥기형을 수술적치료로 완전히 제거하였다¹⁾.

뇌동정맥기형의 환자들은 혈관기형부위로부터 출혈로 인한 증상 및 징후와 기형뇌부위로부터 기시되는 간질, 동정맥기형에 의하여 혈액공급의 감소로 인한 허혈 및 동정맥기형의 부피증가로 종괴압박상태 등으로 신경학적 결손증상의 진행과 Sylvius수도 압박으로 수두증, 또 삼차신경이나 안면신경 입구부압박, 자극으로 인한 삼차신경통 및 안면경축등으로 의학적 주목을 받게 된다.

아직도 동정맥기형 진행에 대한 자세한 자연병력은 확실히 밝혀져 있지않으나, 근세에는 뇌동맥조영술기의 정련, 뇌전산화단층촬영, 자기공명촬영, 양성자방출 단층촬영, 경두개도플러 초음파촬영과 xenon clearance에 의한 뇌혈류측정 및 제도 등의 도입으로 두개강내 뇌동정맥기형의 정확한 부위, 출혈, 뇌허혈과 경색등의 일련의 상태의 인지가 보다 용이하고 자세히 알게되었다. 또한 최근 미세술기와 더불어 술기의 발전과 더불어 맥관술과 방사선수술 등의 도입으로 이질형의 치료에 박차를 가하게 되었다. 그러나, 아직도 뇌동정맥기형의 위치, 해부학적 상황 및 크기등에 따라 수술 성적 및 적용이 난제로 남아있는 바, 저자는 Spetzler와 Martin⁶⁾의 뇌동정맥기형에 대한 등급분류 방법에 의거 제 I~V등급까지의 18명환자를 직접 수술적치

료를 시행하여 우수한 수술성적을 관찰하였기에 문헌 고찰과 함께 보고하는 바이다.

연구대상

1989년 3월부터 1996년 12월까지 이화여자대학교 신경외과에서 뇌동정맥기형으로 진단된 19명환자를 연구대상으로 하였다.

연구방법 및 성적

1. 평균연령과 남녀비

환자들의 평균연령은 30.8세(4세부터 55세)였으며, 남녀비는 8 : 11이었다.

2. 증 상

출혈 15명(80%), 두통 2명(10%), 간질 1명(5%), 및 신경결손 1명(5%)의 빈도를 보였다.

3. 영양동맥

중대뇌동맥 8명(42%), 전대뇌동맥 2(10%), 후대뇌동맥 7명(38%), 뇌경동맥 1명(5%)였으며, 1중례(5%)는 전대뇌동맥 및 중대뇌동맥이었다.

4. 백액정맥 및 정맥등의 위치

대뇌피질 정맥계로 백액 및 소뇌 피질 정맥들이 직적 후두와 경막정맥 등으로 유입되는 뇌동정맥기형을 표제성, 뇌동맥, Galen 정맥유입될시 심부로 분류하였다. 표제는 10명(53%)였으며, 심부는 9명(4%)였다.

5. 병소의 크기

병소(nidus)의 크기는 뇌동맥조영술이나 자기공명 상 사진에서 제일 큰 직경을 측정하여, 확대정정하여 산출한 수치로 3cm이하를 소, 3~6cm를 중, 6cm이상 을 대로 분류하였다. 소는 9명(47.5%), 중은 9명(47.5%), 대는 1명(5%)였다.

6. 뇌동정맥기형류 등급

뇌동정맥기형류 등급은 Spetzler-Martin⁶⁾의 등급계

Table 1. Clinical summary of 19 cases of Arteriomatous malformations

No	Age	Sex	LOC	Sx	Site	Feeding drtery	Draining vein	Size	Dx	Tx	Result	S-M Grade
1	55	F	Alert	H/A,Hmm	F-P	MCA	SSS	medium	CT/angio	Op	5	III
2	27	F	Alert	H/A	T-P	MCA	v.of Labbe	medium	MR/angio	Op	5	III
3	42	F	Drowsy	Hmm hemiparesis	Corpus callosum	ACA	v.of Galen	large	CT/angio	Refuse	1	V
4	27	F	Drowsy	Hmm hemiparesis	T	ICA	sylvian	amall	CT/angio	Op	5	II
5	10	F	Alert	H/A,Hmm	lat. ventricle	PCA	v.of Resenthal	medium	MR/angio	Op	5	IV
6	35	F	Alert	H/A,Hmm disturbance	O	PCA	Trans.sius	small	MR/angio	Op	5	II
7	29	F	Drowsy	H/A,Hmm	P-O	PCA	Trans.sius	medium	MR/angio	Op	5	II
8	32	F	Drowsy	H/A,Hmm	O	PCA	Trans.sius	small	MR/angio	Op	5	I
9	32	M	Alert	Dysphasia	T	MCA	sylvian	medium	MR/angio	Op	5	IV
10	22	F	Alert	H/A,Hmm	CBLL	SCA	petrosal sinus	small	MR/angio	Op	5	III
11	4	M	Stupor	Hmm	T	MCA	Trans.sinus	small	MR/angio	Op	5	I
12	34	M	Drowsy	Hmm	F-P	ACA,MCA	SSS	medium	MR/angio	Op	5	II
13	32	M	Alert	H/A,Hmm	CBLL	SCA	petrosal sinus	small	MR/angio	Op	5	IV
14	38	M	Alert	H/A, dysphasia	F-P	MCA	SSS	medium	CT/angio	Op	4	III
15	30	F	Drowsy	H/A,Hmm	lat. ventricle	MCA	sigmoid sinus	medium	CT/angio	Op	5	III
16	33	M	Alert	H/A,Hmm	F	ACA	SSS	small	CT/angio	Op	5	I
17	28	F	Alert	H/A,sezure	F	MCA	sylvian	small	CT/angio	Op	5	II
18	46	M	Alert	H/A	F-T	MCA	v.of Labbe	small	CT/angio	Op	5	II
19	33	M	Semicoma	Hmm	all ventricle	PCA	v.of Galen	medium	MR/angio	Op	4	IV

에 의하여 분류하였 다. 동정맥의 병소 크기별로 소는 1점, 중은 2점, 대는 3점으로 분류하 고, 동정맥기형의 부위가 eloquent부위는 1점, non-eloquent부위는 0점, 그리고 배액정맥이 표재성 0점, 심부는 1점으로 배당하였다.

각각 증례별로 크기, eloquent 및 배액정맥의 점수를 더하여, 즉 크기 +eloquent+배액정맥으로 점수를 합하여, 1점을 I 등급, 2점을 II 등급, 3점을 III 등급, 4점을 IV 등급, 5점을 V 등급으로 분류하였다. 저자의 증례에서 I 등급은 3명(17%), II 등급은 6명(31%), III 등급은 5명(26%), IV 등급은 4명(21%) 그리고 V 등급은 1명(5%)의 분포를 보였다.

V 등급 1명의 환자는 수술을 거부하여 보존적 치료로 사망하였으며, 그 외 I ~IV 등급별 수술환자성적은 다음과 같다. 수술결과는 Glasgow outcome scale GOS²⁰로 하였다.

I 등급, II 등급, III 등급, IV 등급에서 GOS-5는 각 등급마다 3명, 6명, 4명 과 3명 그리고 GOS-4는 I 과 II 등급에서 없었고 III 등급 1명, IV 등급 1 명이였다. V 등

급에서는 1명으로 사망하여 GOS-1이 었다.

7. 수술결과

총 18명의 수술결과 16명(84%)명은 GOS-5으로 완전 회복되었으며, 2명(10%)은 독립적으로 생활할 수 있는 GOS-4였다.

이상의 연구대상 결과는 Table 1과 같다.

고 안

동정맥기형은 수술 또는 부검시 발견되는 중추신경계의 증상성.혈관기형들중 가장빈도가 높은 질환이다⁸ ¹²⁾. 이 혈관성 기형은 자발성 뇌지주막하 출혈의 원인중 뇌동맥류 다음이며, 뇌실질내 출혈의 중요원인이기도 한다. 저자의 19증례에서 오직 소뇌에는 1증례만 관찰되었지만, 이 질환은 천막상부에 호발하지만 소뇌대뇌반구에도 상당수가 발생하고¹³⁾, 뇌간에서도 소수가 발생한다. 동정맥기형은 일반적으로 대뇌반구에 썩기모양(wedge-shaped) 으로 즉 병소는 뇌피질 표면에 저

부르고 축 뇌실을 향하여 정점을 이루는 형태인데 대부분 중대뇌동맥 혈액 공급부위에 존재하며¹⁴⁻¹⁷⁾, feeding동맥부위에 뇌동맥류가 존재한다¹⁸⁻¹⁹⁾. 본 연구에서도 8예(42%) 중대뇌동맥에 의해 혈액공급을 받고 있었다. 동맥류는 두가지 유형이 있다. 첫 유형은 동맥류 모양이 주로 낭상으로 동정맥기형의 증가된 혈류혈액 유동학적 자극으로 Willis씨 환계에 발생한다. 두 번째 유형은 동정맥 feeding동맥의 내경이 매우 확장된 부위의 발달부위에 주로 방추형모양으로 발생한다. 동정맥기형과 Willis씨 환계에 발생한 낭상의 동맥류가 병합된 경우, 이 동맥류는 자발성 지주막하 출혈의 근원이 되기도 한다. 동정맥기형보다 근위부에 큰 낭상의 동맥류가 존재할 때는 동맥류를 먼저 치료하고 동맥류를 제거하며, 동정맥기형원위부에 동맥류가 있으면 대개 동정맥기형을 제거하면 동맥류는 없어진다.

뇌동정맥기형으로 인한 출혈은 전연령에서 초기증상으로 약 30~55%에서 발생하며²⁰⁻²⁵⁾, 심대후반에서 20대초에 첫 출혈의 빈도가 제일 높고, 대개는 20~40대에서 발생하며 뇌동맥류의 크기가 작은 군에서 그리고 병소위치가 심부에 있을 때 출혈 발생율이 높는데, 혈관기형이 클수록 지주막하 출혈이 발생되며, 작은 경우에는 뇌실질내 출혈이 발생한다²⁶⁾. 출혈후 1년내 재출혈율은 약 6%이며, 이후 매년 2~3%가 출혈한다²⁶⁻²⁷⁾. 임신과 이병변에 대한 의견의 일치는 없으나 임신은 두개강내 동정맥기형의 초기 또는 반복 출혈율을 높이는 자극적 요소가 된다고 사료되고 있다. 간질은 성인의 동정맥기형의 가장 많은 초기증상으로²⁰⁾²³⁾²⁶⁾ 30세전에 많으며, 평균연령은 25세이다²⁸⁻²⁹⁾. 크기가 큰 병변이 작은 병변에 비하여 간질발생율이 높다. 초기증상으로 두통은 약 1~26%²²⁻²³⁾²⁶⁾³⁰⁻³¹⁾이고 발생기전은 알려져 있지 않아 파악되지 않은 동정맥기형에서는 신경학적 결손 증상이 나타나며, 동정맥기형으로 인하여 심장의 기전장애, 수두증 등도 발생할 수 있다³²⁾.

뇌동정맥기형의 치료목적은 첫째, 가능한한 병소를 완전히 제거하여 잔존된 병소로 부터 출혈을 방지하는데 있다. 부분적으로만 뇌동정맥기형을 제거하면, 관류압의 증가로 출혈의 위험도가 증가된다. 둘째 목적은, 환자의 신경학적 기능을 보전하는데 있다³⁷⁾.

수술환자의 선택은 환자의 증상, 신경학적상태, 수술 위험도와 환자 병소의 해부학적 양상 및 환자의 자연병력들이며, 궁극적으로는 환자가 치료받기를 원하는 자

세이다. 심하고 반복된 출혈 또는 신경학적 결손이 지속되는 환자는 전형적인 치료를 받아야할 환자들이다. 반면 간질, 혈류 소실로 인한 증상, 또는 두통 등의 증상의 환자들은 보존적으로 치료해야한다. 신경학적 상태가 악화된 환자들은 수술의 위험도를 수궁하게되나, 신경학적손상이 전혀없는 환자에게 대하여는 수술치료의 적용이 절대적으로 필요할때까지 기다리거나, 이 질환의 자연병력(natural history)진행에 수술의 위험도가 용납될 때 수술적 치료를 시행한다. 특히 Spetzler-Martin등급⁵ I~Ⅲ은 수술이병율과 사망율이 매우 낮으므로 수술적치료가 가장 표준적인 치료이다. 저자의 증례들중 Spetzler-Martin등급⁶ I~Ⅱ에서는 이병 및 사망환자가 없었으며, Ⅲ~Ⅳ등급에서는 9명중 오직 2명만이 경도의 이병이 관찰되었다.

동정맥기형에 대한 수술적 이병율과 사망에 대한원인은 수술중 뇌조직견인과 혈관연축³³⁾, 수술후 출혈³⁴⁻³⁶⁾ 정상관류압의 붕괴(normal perfusion pressure breakthrough)³⁷⁾에 기인한다.

뇌동정맥기형을 급작히 제거하면, 병도주위의 뇌조직에 정동맥압의 변화, 동정맥압은 감소되고 동맥압은 증가되어 관류압이 증가되며, 뇌동정맥주위의 뇌는 정상자동조절이 사실상 소동맥들이 확장된 상태 혈류량이 증가되는 현상이 정상관류압 붕괴이다³⁷⁻⁴⁰⁾.

최근 맥관술의 발달로 수술전에 병소의 혈관을 감소시키거나 방사선치료 또는 수술전에 그 크기를 감소시키는 치료의 위험도를 줄이고 있다. 특히 심부의 접근하기 어려운 부위의 동정맥기형은 Solomon과 Stein⁴¹⁾ 등의 미세술기로 82%에서 완전히 제거했다고 보고하고 있으나, 크기가 작을 때는 방사선치료가 이상적 치료법이라 사료된다. 그러나 뇌동정맥기형의 크기가 2.0~2.7cm로 부피가 4~10cm³이상일때도 방사선치료로 효과가 없다⁴²⁾.

수술적 치료일시 후 뇌동맥촬영을 실시하여 뇌동맥류 잔존여부를 관찰 후 만일 잔존되면 다시 수술로 제거하나, 정위적 방사선치료로 제거가 근대의 뇌동맥 수술적 치료의 방법이다.

결 론

뇌동정맥기형 19명에 대한 임상적 분석연구 및 수술 치료는 다음과 같다.

평균연령 30.8세 이고 주증상은 출혈이었다. 중대뇌 동맥이 주 영양동맥이고, 배액정맥 및 정맥동은 표재성에 더 많이 위치하였다. 따라서 eloquent area 병소가 더 빈발하였으며, 병소의 크기는 거의 6cm이만이였다.

Spetzler-Martin등급에 따른 Glasgow outcome scale 주 I~IV등급은 외과적치료로 인한 2증례에서만 정도의 이병율이 있었으나 사망율은 없었다. 따라서 I~IV 등급은 외과적 치료가 가장 적합한 치료방법이라고 사료되었다.

References

- 1) Yasargil MG : *Microneurosurgery* IIIA. Stutgart, New York, George Thieme Verlag 1987 ; 3-7
- 2) Henschen F : *Handbuch spez. path. Anatomic und Histologie*. Springer, Berlin, 1995 ; P521
- 3) Virchow R : *Ueber die Erwa : Terung klinier Geqaße*. *Vichows Arch* 1851 ; 3 : 427-462
- 4) Moniz E : *Lencephalographic atrerielle, son importance dans la localisation des Tumerus cerebrales*. *Rev Neurol* 1927 ; 2 : 72-89
- 5) Giordano D : *Contributo alla cura della lesioni treumatiche ed alla trapanazione del cranio*. *Gazz Med Ztal* 1890 ; 41 : 5-15
- 6) Spetzer RF, Martin NA : *A proposed grading system for arteriovenous malformations*. *J Neurosurg* 1986 ; 65 : 476-483
- 7) Jennett B, Bond M : *Assessment of Outcome Aqter Severe Brain Damage : A practical Scale*. *Lancet* 1975 ; 480-484
- 8) Jellinger K : *Vaseular nalfomations of the central neroous System : A morphological overview*. *Neruosurg Rev* 1986 ; 9 : 177-216.
- 9) McCormick WF : *Pathology of vasculatr malformations of the brain*. In : Winson C.B, Stein BM, Stein BM, eds. *Intracranial Arteriovenous malformations*. Baltimoru Md : Williams & wilkins : 1984 ; 44-63
- 10) Mccormick WF : *The pathology of angiomas*. In : Fein JM, FLamm ES, eds. *Cerebrovascular surgery*. volume IV. New York, NY : Springer-Verlag 1885 ; 1073-1095
- 11) Noran HH : *Intracranial vascular tumors and malformations*. *Arch Pathol* 1945 ; 39 : 393-419
- 12) Stehbens WE : *Telangiectases, hemangiomas, aretriovenous aneurysms, and allied disorders*. In : *Pathology of the corebral Blood Vessels*. St Locis, Mo : CV Mosby 1972 ; 471-558
- 13) McCormick WF, Hardman JM, Boulter JR : *Vascular malformations(angiomias) of the brain, with spcial reference to those occurring in the posterior fossa*. *J Nourousurg* 1968 ; 28 : 241-251
- 14) Brihange J, Blackwood W : *Arteriovenous aneurysm of the cerebral hemispheres*. *J path Bact* 1957 ; 73 : 25-31
- 15) Dandy WE : *Venous abnormalities and angiomas of the brain*. *Arch Surg* 1928 ; 17 : 715-913
- 16) Handy WE : *The pathology of supratentorial angiomas*. *J Neurosurg* 1958 ; 15 : 65-75
- 17) Kaplan HA, Anderson SM, Browder EJ : *Vascular malformations of the brain : An anatomical study*. *J Neurosurg* 1961 ; 18 : 630-635
- 18) Batjer H, Suss R, Sanson D : *Intracranial arteriovenous malformations associated with aneurysms*. *Neurosurgery* 1986 ; 18 : 29-25
- 19) Kondziolka D, Nirom BJ, Lasjaunias P, et al : *Cerebral arteriovenous malformations with associated arterial aneurysms : Hemodynamic and therapeutie considerations*. *Can J Neuro Sci* 1988 ; 15 : 130-134
- 20) Perret G, Nishioka H : *Report on the Cooperative Study of Intracranial Aneurysms and Subarachnoid Hemorrhage, Section VI. Arteriovenous malformations : An analysis of 545 cases of cranio-cerebral arteriovenous malformations and fistulae reported to the cooperative study*. *J Neruosurg* 1966 ; 25 : 467-490
- 21) Svien HJ, McRae JA : *Arteriovenous anomalies of the brain : Fate of patients not having definitive surgery*. *J Neurosurg* 1965 ; 23 : 23-28
- 22) Fults D, Kelly DL Jr : *Natural history of arteriovenous malformations of the brain : A clinical study*. *Neurosurgery* 1984 ; 15 : 658-662
- 23) Jomin M, Lesoin F, Lozes G : *Prognosis for arteriovenous malformations of the brain in adults based on 150 cases*. *Surg Neurol* 1985 ; 23 : 362-366
- 24) Pool JL : *Treatment of arteriovenous malformations of the cerebral hemispheres*. *J Neurosurg* 1962 ; 19 : 136-141
- 25) Mackenzie I : *The clinical presentation of the cerebral angioma : A review of 50 cases*. *Brain* 1953 ; 76 : 184-214
- 26) Grat CJ, Perret GE, Torner JC : *Bleeding fron cerebral arteriovenous malformations as part of their na-*

- tural history. J Neurosurg 1983 ; 58 : 331-337*
- 27) Crawford PM, West CR, Chadwick DW, et al : *Arteriovenous malformations of the brain : Natural history in unoperated patients. J Neurol Neurosurg Psychiat 1986 ; 49 : 1-10*
 - 28) Waltimo O : *The relationship of size, density, and location of intracranial arteriovenous malformations to the type of initial symptom. J Neurol Sci 1973 ; 19 : 13-19*
 - 29) Parkinson D, Backers G : *Arteriovenous malformations : Summary of 100 consecutive supratentorial cases. J Neurosurg 1980 ; 53 : 285-299*
 - 30) Brown RD Jr, Wiebers DO, Forbes G, et al : *The natural history of unruptured intracranial arteriovenous malformations. J Neurosurg 1988 ; 68 : 352-357*
 - 31) Robinson JL, Hall CS, Sedzimir CB : *Arteriovenous malformations, aneurysms, and pregnancy. J Neurosurg 1974 ; 41 : 63-70*
 - 32) Barrow DL : *Intracranial Vascular Malformations Neurosurgical Topics. American Association of Neurological Surgeons, Illinois 1990 ; 1-233*
 - 33) Parkinson D, Backers G : *Arteriovenous malformations : Summary of 100 consecutive supratentorial cases. J Neurosurg 1980 ; 53 : 285-299*
 - 34) Wilson CB, U HS, Domingue J : *Microsurgical treatment of intracranial vascular malformations. J Neurosurg 1979 ; 51 : 445-454*
 - 35) Drake CG : *Cerebral arteriovenous malformations : Considerations for and experience with surgical treatment in 166 cases. Clin Neurosurg 1979 ; 26 : 145-208*
 - 36) Batjer HH, Devous MD, Seivert GB, et al : *Intracranial arteriovenous malformation : Relationship between clinical factors and surgical complications. Neurosurgery 1989 ; 24 : 75-79*
 - 37) Spetzler RF, Wilson CB, Weinstein P, et al : *Normal perfusion pressure breakthrough theory. Clin Neurosurg 1978 ; 25 : 651-672*
 - 38) Spetzler RF, Roski RA, Zabramski J : *Middle cerebral artery perfusion pressure in cerebrovascular occlusive disease. Stroke 1983 ; 14 : 552-555*
 - 39) Morgan MK, Johnston IH, Sundt TM Jr : *Normal perfusion pressure breakthrough complication surgery for the vein of Galen malformation : Report of three cases. Neurosurgery 1989 ; 24 : 406-410*
 - 40) Wharen RE Jr, Anderson RE, Sundt TM Jr : *The Nd : YAG laser in neurosurgery. Part 2. Clinical studies : An adjunctive measure for hemostasis in resection of arteriovenous malformations. J Neurosurg 1984 ; 60 : 540-547*
 - 41) Solomon RA, Stein BM : *Interhemispheric approach for the surgical removal of thalamostriate arteriovenous malformations. J Neurosurg 1987 ; 66 : 345-351*
 - 42) Lawton MT, Hamilton MG, Spetzler RF : *Multimodality Treatment of Arteriovenous Malformation : Thalamus, Basal Ganglia, and brain Stem. Neurosurgery 1995 ; 7 : 29-36*