

# GDC를 이용한 뇌동맥류의 혈관내 치료 : 4년간의 경험

부산대학교 의과대학 신경외과학교실<sup>1</sup>, 진단방사선과학교실<sup>2</sup>,  
계명대학교 의과대학 진단방사선과학교실<sup>3</sup>  
고준경<sup>1</sup> · 최창화<sup>1</sup> · 이태홍<sup>2</sup> · 백승국<sup>3</sup>

## Endovascular Treatment of Cerebral Aneurysms with Guglielmi Detachable Coils : Retrospective Review of a 4-Year Experience

Jun Kyeung Ko, M.D.,<sup>1</sup> Chang Hwa Choi, M.D.,<sup>1</sup>

Tae Hong Lee, M.D.,<sup>2</sup> Seung Kug Baik, M.D.<sup>3</sup>

Departments of Neurosurgery,<sup>1</sup> Diagnostic Radiology,<sup>2</sup> Busan National University College of Medicine, Busan, Korea

Department of Diagnostic Radiology,<sup>3</sup> Keimyung University College of Medicine, Daegu, Korea

**Objective :** The authors evaluate the usefulness, results, and technical problem of endovascular treatment of cerebral aneurysms with Guglielmi detachable coil(GDC).

**Methods :** Forty patients with 31 ruptured and 11 unruptured aneurysms were treated with GDC embolization. Twenty-four aneurysms were located in the anterior circulation and 18 in the posterior circulation. Aneurysms size was categorized small( $n=31$ ) or large( $n=11$ ) and neck size was categorized narrow( $n=30$ ) or wide( $n=12$ ). We statistically analyzed occlusion rate according to the location, rupture, size, and neck size of aneurysms, and investigated the procedure-related complications and clinical outcomes.

**Results :** GDC treatment of aneurysms was successful in 40 aneurysms of 39 patients(95.2%). Total occlusion was achieved in 24(60.0%) cases, subtotal occlusion in 12(30%), and incomplete occlusion in 4(10.0%). Each total occlusion rate was 69.0% in small-sized, 36.4% in large-sized, 69.0% in narrow-necked, and 36.4% in wide-necked aneurysms. Location and rupture of aneurysms did not influence occlusion rate. The technical complications included 4 thromboembolisms, 3 parent artery occlusions, and 1 perforation of aneurysm. Procedure-related morbidity and mortality were 10.3% and 2.6%. 3 subtotal or incompletely embolized aneurysms in posterior circulation rebled during the follow-up period.

**Conclusion :** The results of this study indicate that endovascular GDC treatment is an appropriate therapeutic alternative in cerebral aneurysms. However, the rebleeding by aneurysmal recanalization or regrowth is a major limitation of GDC treatment. Follow-up angiography and further technical improvement are mandatory to overcome rebleeding.

**KEY WORDS :** Cerebral aneurysm · Endovascular treatment · Detachable coil · Complication · Rebleeding.

## 서 론

GDC(Guglielmi detachable coil, Boston Scientific Corporation, Boston, USA)를 이용한 뇌동맥류의 혈관내 치료(endovascular treatment)는 1991년 Guglielmi 등<sup>10,11</sup>에 의해 처음 보고된 이후, 새로운 자재의 개발 및 시술 경험의 축적 등

으로 그 적용증이 점차 넓어지며, 치료의 성공률도 많이 향상되어 최근에는 동맥류의 치료에 있어 수술적 방법과 대등한 중요한 치료 방법의 하나로 인정받고 있다<sup>6,21,28</sup>. 국내에서도 1996년 처음으로 GDC를 이용한 뇌동맥류의 혈관내 치료가 시행되었고 그 이후 지속적으로 임상적 이용이 증가되고 있다.

그러나 아직까지 GDC 치료는 명확한 대상 환자 선정 기준이 없고 수술이 힘든 경우나 수술을 할 수 없는 경우에 선택적인 치료법으로 이용되고 있어서 치료 방침의 결정에 있어 근거가 되는 상대적인 성공률, 위험도, 재발률 및 수술과 비교한 장단점이 분명히 밝혀지지 않은 상태이다. 본 연구에서는 저자들이 4년간 경험한 증례들을 후향적으로 분석하고 문헌보고를 참조하여 뇌동맥류에서

• Received : May 2, 2003 • Accepted : August 6, 2003

• Address for reprints : Chang Hwa Choi, M.D., Department of Neurosurgery, Busan National University, College of Medicine, 1-10 Ami-dong, Seo-gu, Busan 602-739, Korea

Tel : 051) 240-7257, FAX : 051) 244-0282

E-mail : chwachoi@pusan.ac.kr

GDC를 이용한 혈관내 치료의 유용성, 치료결과 및 치료상의 문제점에 대하여 알아보고자 한다.

## 대상 및 방법

1999년 5월부터 2003년 4월까지 4년간 본원에서 혈관촬영술을 시행하여 뇌동맥류로 진단된 환자중 GDC를 이용하여 동맥류의 폐색을 시도하였던 40명의 환자의 42개의 동맥류를 대상으로 의무기록 및 방사선 소견을 후향적으로 분석하였다. 대상 환자의 연령은 20세에서 79세까지로 평균 50.9세였으며 여자가 31명, 남자가 9명이었다. 40명 중 4명의 환자에서 2개의 동맥류가 있었고 1명은 2개 모두 미파열 동맥류였고(Case 33), 3명은 파열된 동맥류에 동반된 1개의 미파열 동맥류가 있었는데 이중 2명의 환자는 파열된 동맥류를 수술적 결찰술로 치료한 후에 미파열 동맥류를 GDC로 치료하였고(Case 36,38), 나머지 1명은 파열된 동맥류와 미파열 동맥류를 동시에 GDC로 치료하였다(Case 5). 42예의 동맥류중 파열된 동맥류가 31예(73.8%)였고 미파열 동맥류가 11예(26.2%)였다. 미파열 동맥류 11예 중 파열된 동맥류에 동반되었거나 우연히 발견되었던 경우가 6예, 불완전한 수술적 결찰술 후 추적 혈관조영술상 동맥류의 경부가 남아 있거나 재발하였던 경우가 3예, 제3뇌신경마비로 발견된 경우가 1예, 그리고 두통으로 발견된 경우가 1예였다.

뇌동맥류 크기에 따라 소동맥류(small aneurysm)(≤10mm, 31예)와 대동맥류(large aneurysm)(10~24mm, 11예)로, 뇌동맥류 경부의 크기에 따라 좁은 경부(narrow neck)(≤4mm, 30예)와 넓은 경부(wide neck)(>4mm, 12예)로 구분하였다. 동맥류의 위치에 따라 전방순환계(24예)와 후방순환계(18예)로 분류하였으며, 전방순환계 동맥류 중에는 전교통동맥류가 11예로 가장 많았고, 후교통동맥류가 5예, 안동맥류가 4예, 그리고 상뇌하수체동맥류 및 뇌량주위동맥류가 각각 2예씩 있었다. 후방순환계 동맥류 중에는 기저동맥밀단부동맥류가 9예로 가장 많았으며, 후대뇌동맥류가 4예, 상소뇌동맥류가 3예, 그리고 전하소뇌동맥류 및 추골동맥류가 각각 1예였다.

뇌지주막하출혈 환자에서 치료 당시의 신경학적 상태는 Hunt-Hess grade에 따라 분류하였는데 grade II가 11명, grade III가 7명, grade IV가 5명, 그리고 grade V가 8명이었다.

GDC를 이용한 혈관내 치료는 대부분 복합적인 이유로 결정되었으며 본원에서 시행한 색전술의 적응증은 해부학적으로 수술로서는 접근하기가 어려웠던 경우, 환자 또는 보호자가 수술을 거부하고 색전술을 원했던 경우, 환자의 신경학적 증상이 심한 경우, 내과적으로 불안정한 경우, 불완전한 수술이후 재발한 뇌동맥류나 동맥

류의 경부가 남아있는 경우, 다발성 뇌동맥류 환자이거나, 고령 환자 등이었다.

뇌동맥류 색전술 치료의 선택은 뇌혈관질환 진료팀이 협의하여 결정하였으며 지주막하출혈 후 치료에 걸린 시간은 평균 5.7일(2~15일)이었다. 모든 환자에서 propofol을 이용한 완전정맥마취(total intravenous anesthesia)를 하였으며, 헤파린의 투여는 안내도관(introducer sheath)을 대퇴동맥에 삽입이후 부터 시작하였으며 투여 양은 먼저 일시주사로 5000IU를 투여하고 나서 1000IU/h를 지속적으로 주입하여 ACT(activated coagulation time)를 기준 ACT의 2~4배로 유지하였다. 시술은 대퇴동맥을 천자하여 5~6F 안내도관을 삽입하고 5~6F의 유도도관(guiding catheter)을 환측 내경동맥 경부의 안정된 부위까지 진행시킨 뒤 여러 방향의 혈관촬영에서 동맥류의 입구를 가장 잘볼 수 있는 각도와 모동맥과 동맥류의 관계를 잘볼 수 있는 각도를 선택하여 디지털감산 투시에 의한 road-mapping 하에서 미세도관 및 와이어를 이용하여 동맥류를 초선택하였다. 미세도관은 유도도관에 연결시킨 Y-연결관을 통하여 삽입하였고 Y-연결관을 통하여 유도도관과 미세도관의 사이는 생리식염수를 초당 1~2 방울씩 통과시켜 지속적인 세척을 하였다.

혈관조영술에서 측정된 동맥류의 크기에 따라 첫 코일의 크기를 결정하였고 동맥류의 단경(short diameter)보다는 큰 크기의 코일을 선택하였고 첫 코일 이후의 코일은 원칙적으로 첫 코일보다는 작은 크기의 코일을 사용하였다. 코일의 채움(packing)은 동맥류가 완전히 채워져서 빈틈이 보이지 않거나 코일이 더 이상 동맥류 내로 삽입되지 않고 모혈관으로 빠져 나올 때 마지막 코일을 제거하고 시술을 중단하였다. 하나의 코일을 삽입한 후 혈관조영술로 경부와 모동맥의 양상을 확인하였으며 마지막 코일을 삽입한 후에는 모든 각도로 다시 혈관조영술을 시행하여 동맥류와 모혈관과의 관계, 남아 있는 동맥류 경부의 유무 및 주변 동맥의 이상 유무 등을 관찰하였다. 시술 후 전신성 헤파린의 투여는 48시간 동안 지속하고 aPTT(activated partial thromboplastin time) 혹은 ACT를 정상의 2배 정도에서 유지하였다.

시술 후 동맥류의 폐색 정도는 완전폐색(total occlusion), 아전폐색(subtotal occlusion), 불완전폐색(incomplete occlusion)로 나누어 평가하였고 완전 폐색은 시술 후 혈관촬영술에서 코일의 치밀한 채움으로 동맥류의 입구가 아주 조금 남아 있는 경우(100% 폐색), 아전폐색은 동맥류의 입구가 아주 조금 남아 있는 경우(95~99% 폐색), 그리고 불완전폐색은 느슨한 코일의 채움으로 동맥류가 부분적으로 남아 있는 경우(95%미만 폐색)로 정의하였다.

시술 후 뇌지주막하출혈 환자의 임상결과는 퇴원 당시의 Glasgow Outcome Scale(GOS)을 이용하여 평가하였고, 미출혈성 환자의

예후는 시술 전후의 증상 변화 또는 시술과 관련된 새로운 신경학적 변화 등을 추적하여 평가하였다.

뇌동맥류의 해부학적 특징과 폐색 정도와의 연관성 및 GDC 치료에서 Hunt-Hess grade와 예후의 연관성에 대하여 통계프로그램 SPSS(version 11.0)중 Fisher's exact test를 이용하여 통계적 유의성을 평가하였고 p value가 0.05이하일 경우 통계적 유의성이 있다고 하였다. 추적관찰기간은 1개월에서 42개월까지로 평균 13.5개월이었으며, 14예에서 4개월에서 18개월 사이에 추적 혈관조영술을 시행하였다.

## 결 과

40예의 뇌동맥류 중 40예(95.2%)는 성공적으로 치료되었다. 성공적으로 치료된 40예 중 24예는 완전폐색(60.0%, Fig. 1), 12예는 아전폐색(30.0%, Fig. 2), 그리고 4예는 불완전폐색(10.0%, Fig. 3)되었다. 뇌동맥류 2예에서 GDC를 이용한 동맥류 폐색을 실패하였는데, 넓은 경부를 가진 동맥류로 색전시 모동맥 폐색의 위험이 있었던 경우와 동맥류의 방향 때문에 GDC 삽입이 어려운 소위 difficult geometry가 각각 1예씩 있었다. 성공적으로 치료된 40예 뇌동맥류의 해부학적 특징, 치료 결과 및 환자의 예후는 파열과 미파열 뇌동맥류를 Table 1과 2로 나누어 정리하였다.

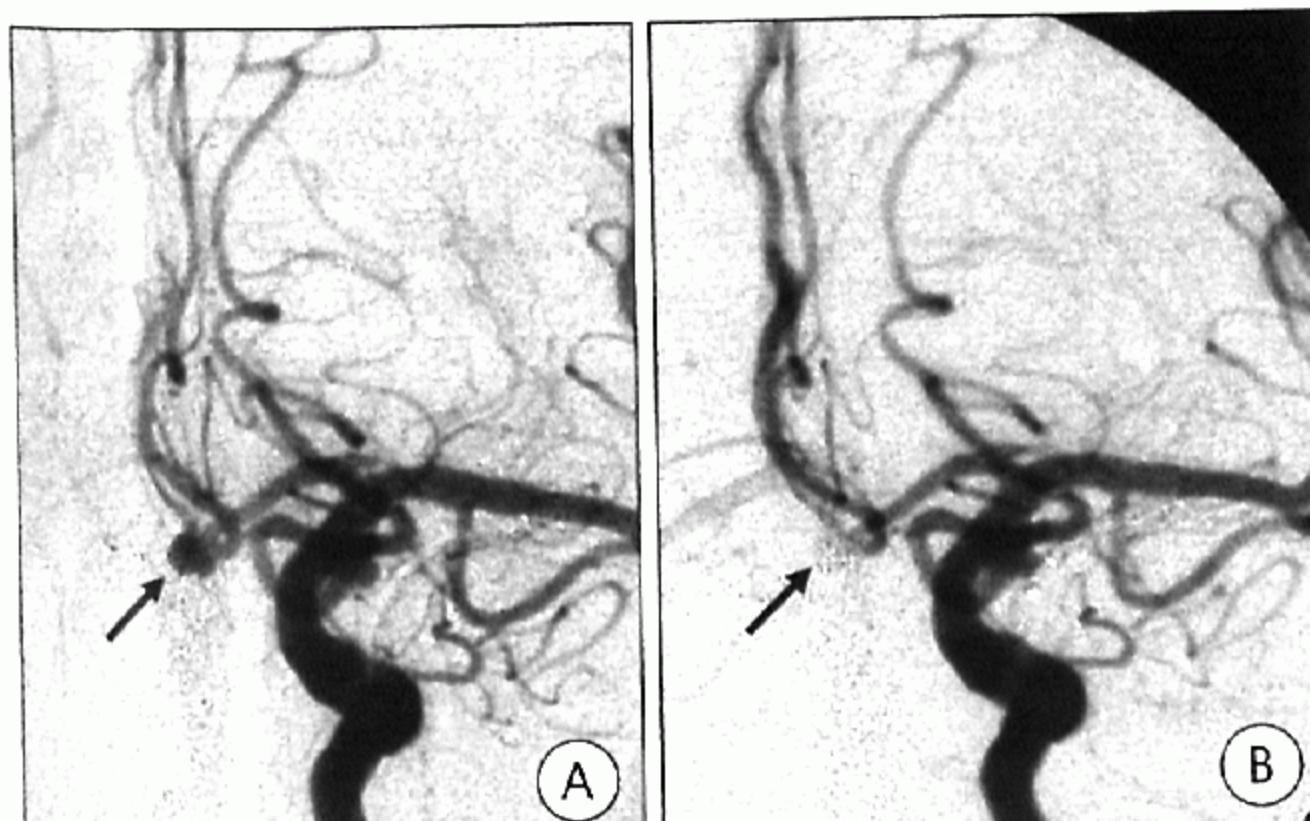


Fig. 1. A 66-year-old man with Hunt-Hess grade II subarachnoid hemorrhage (case 25) A : Left internal carotid angiogram before GDC embolization reveals a small aneurysm (arrow) arising from anterior communicating artery. B : Postembolization angiogram shows total occlusion of the aneurysm (arrow) with preservation of the anterior communicating artery patency.

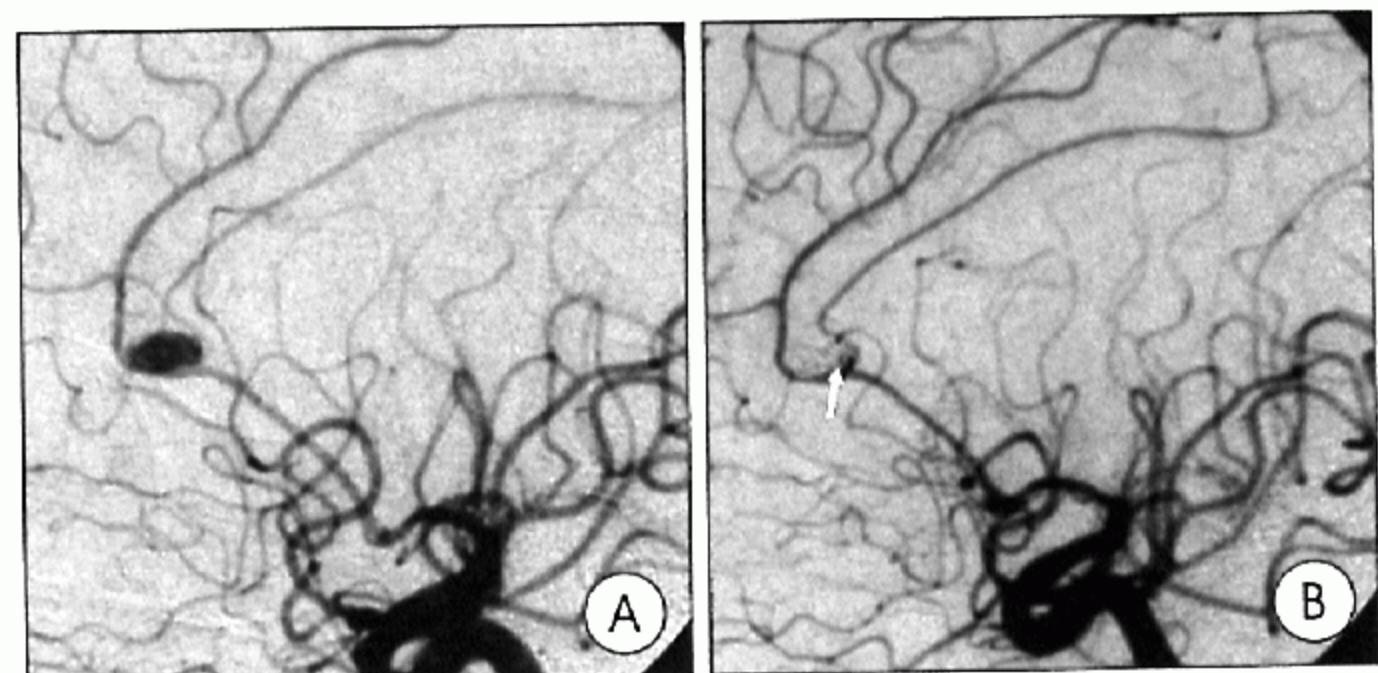


Fig. 2. A 70-year-old woman with Hunt-Hess grade II subarachnoid hemorrhage (case 26) A : Right internal carotid angiogram before GDC embolization demonstrates a small pericallosal aneurysm. B : Postembolization angiogram shows subtotal occlusion of the aneurysm with remnant neck (arrow) and preservation of the parent artery patency.

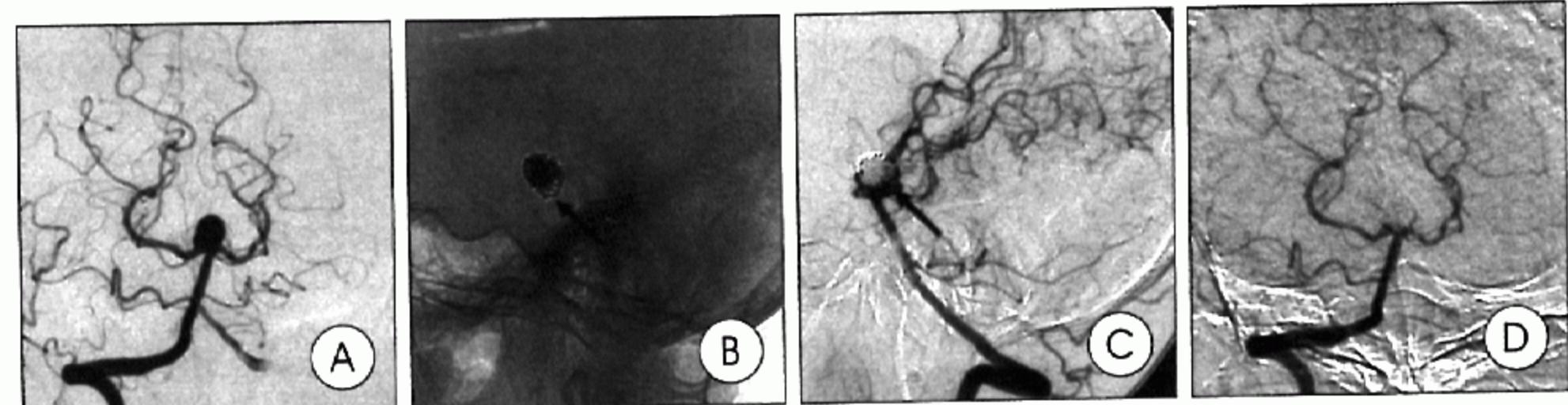


Fig. 3. A 63-year-old woman with Hunt-Hess grade II subarachnoid hemorrhage (case 23) A : Right vertebral angiogram before GDC embolization reveals a large basilar tip aneurysm with wide neck. B, C : Postembolization plain radiography (B) and vertebral angiogram (C) obtained in the lateral projection demonstrate incomplete occlusion of the aneurysm with remnant sac (arrows). The aneurysm is incompletely occluded because thromboembolic complication is developed at both proximal posterior cerebral arteries during procedure (not shown). D : Postembolization vertebral angiogram shows preservation of both posterior cerebral artery patency after intraarterial thrombolysis with abciximab.

## 뇌동맥류의 해부학적 특징에 따른 폐색정도의 차이

성공적으로 치료된 40예 중 파열된 뇌동맥류는 31예였고, 9예는 미파열 뇌동맥류 였다. 파열된 뇌동맥류 31예 중 18예는 완전폐색(58.1%), 9예는 아전폐색(29.0%), 4예는 불완전폐색(12.9%)되었다. 미파열 뇌동맥류 9예 중 6예는 완전폐색(66.7%), 3예는 아전폐색(33.3%)되었다. 파열여부에 따른 완전폐색률의 차이를 비교하였을 때 통계적 유의성은 없었다( $p=0.733$ ).

24예의 전방순환계 동맥류 중 23예에서 성공적으로 치료되었고 그 중 17예에서 완전폐색(73.9%), 5예에서 아전폐색(21.7%) 그리고 나머지 1예에서는 불완전폐색(4.4%)되었다. 18예의 후방순환계 동맥류 중 17예에서 성공적으로 치료되었고, 그 중 7예는 완전폐색(41.2%), 7예는 아전폐색(41.2%), 3예는 불완전폐색(17.6%)되었다. 전방순환계 동맥류에서 후방순환계 동맥류보다 완전폐색의 성공률이 높게 나타났으나 두 군 사이에 유의한 차이는 없었다( $p=0.104$ ).

31예의 소동맥류 중 29예는 성공적으로 치료되었고, 그 중 20예는 완전폐색(69.0%), 9예는 아전폐색(31.0%)되었으며 불완전폐색은 없었다. 11예의 대동맥류는 모두 성공적으로 치료되었고, 그 중

Table 1. Summary of GDC treatment of ruptured intracranial aneurysms

Case No	Age/Sex	H-H grade/ Fisher grade	Aneurysm location	Size	Neck	Occlusion rate	Complication	GOS
1	40/F	II/III	BA tip	Large	Narrow	Subtotal	PAO	SD
2	49/M	II/II	P-com	Large	Narrow	Total	None	GR
3	57/F	V/III	BA tip	Small	Wide	Subtotal	None	SD
4	20/M	V/IV	AICA	Large	Narrow	Subtotal	RB	SD
5	64/F	V/IV	PCA	Large	Narrow	Total	TE	MD
6	48/F	IV/IV	PCA	Small	Narrow	Subtotal	RB	D
7	67/F	V/III	BA tip	Large	Narrow	Incomplete	RB	D
8	49/F	III/III	SCA	Small	Wide	Total	PAO	SD
9	35/M	II/III	VA	Large	Wide	Incomplete	None	GR
10	45/F	III/III	BA tip	Small	Narrow	Total	None	GR
11	44/F	II/II	SHPA	Small	Wide	Subtotal	None	GR
12	39/F	IV/III	A-com	Small	Narrow	Total	None	GR
13	46/M	II/III	PCA	Small	Narrow	Total	None	GR
14	69/F	IV/III	OA	Small	Narrow	Total	None	GR
15	42/F	III/II	SCA	Small	Narrow	Subtotal	None	GR
16	44/F	V/IV	A-com	Small	Wide	Total	None	D
17	29/M	II/III	A-com	Small	Wide	Subtotal	None	GR
18	43/M	III/III	OA	Small	Narrow	Total	PAO	MD
19	39/M	II/IV	P-com	Small	Narrow	Subtotal	None	GR
20	45/F	III/III	SHPA	Small	Narrow	Total	None	MD
21	43/F	III/III	A-com	Small	Narrow	Total	TE	GR
22	62/F	IV/III	BA tip	Small	Narrow	Total	Pf	D
23	63/F	II/II	BA tip	Large	Wide	Incomplete	TE	GR
24	26/F	V/III	Pericallosal	Small	Wide	Total	None	D
25	66/M	II/III	A-com	Small	Narrow	Total	None	GR
26	70/F	II/II	Pericallosal	Small	Narrow	Subtotal	None	MD
27	79/F	V/III	A-com	Small	Narrow	Total	None	V
28	73/F	II/III	A-com	Large	Narrow	Total	None	GR
29	76/F	III/III	A-com	Small	Narrow	Total	None	SD
30	69/F	IV/III	P-com	Large	Wide	Incomplete	None	GR
31	61/F	V/IV	A-com	Small	Narrow	Total	None	D

H-H grade : Hunt-Hess grade. A-com : anterior communicating artery, AICA : Anterior inferior cerebellar artery, BA : Basilar artery, OA : Ophthalmic artery, PCA : Posterior cerebral artery, P-com : Posterior communicating artery, SCA : Superior cerebellar artery, SHPA : superior hypophyseal artery, VA : Vertebral artery PAO: Parent artery occlusion, Pf : Perforation, RB : Rebleeding, TE : Thromboembolism GOS : Glasgow outcome scale, GR : good recovery, MD : moderate disability, SD : severe disability, V : Vegetative, D : death

Table 2. Summary of GDC treatment of unruptured intracranial aneurysms

Case No	Age/Sex	Presentation	Aneurysm location	Size(mm)	Neck	Occlusion rate	Complication	Results
5 *	64/F	Associated aneurysm	PCA	Large	Narrow	Total	None	-
32	76/F	Incomplete clipping	P-com	Small	Narrow	Total	None	-
33	45/F	3rd nerve palsy Associated aneurysm	P-com SCA	Small Small	Narrow Wide	Total Fail	None	Improvement
34	51/F	Headache	OA	Small	Narrow	Total	None	Improvement
35	44/F	Incomplete clipping	A-com	Small	Narrow	Subtotal	None	-
36	52/F	Associated aneurysm	OA	Small	Narrow	Total	None	-
37	21/F	Incidental	BA tip	Small	Wide	Total	None	-
38	52/F	Associated aneurysm	BA tip	Small	Wide	Subtotal	None	-
39	38/M	Incomplete clipping	A-com	Small	Narrow	Fail	None	-
40	55/F	Incidental	BA tip	Large	Narrow	Subtotal	TE	MD

\* Same patient with contralateral ruptured PCA aneurysm described in Table 1. See Table 1 for additional abbreviations

4예는 완전폐색(36.4%), 3예는 아전폐색(27.2%), 나머지 4예는 불완전폐색(36.4%)되었다. 소동맥류에서 대동맥류보다 완전폐색률이 높게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p=0.004$ ).

뇌동맥류 경부의 크기가 4mm보다 작은 좁은 경부를 가진 동맥류 30예 중 29예는 성공적으로 치료되었고, 그 중 20예는 완전폐색(69.0%), 8예는 아전폐색(27.6%), 1예는 불완전폐색(3.4%)되었다. 12예의 넓은 경부를 가진 동맥류 중 11예는 성공적으로 치료되었고, 그 중 4예는 완전폐색(36.4%), 4예는 아전폐색(36.4%), 3예

는 불완전폐색(27.2%)되었다. 넓은 경부의 동맥류에 비해 좁은 경부의 동맥류에서 완전폐색의 성공률이 높게 나타났으며 통계적 유의성이 있었다( $p=0.043$ ).

### 뇌동맥류 GDC 치료의 합병증과 예후

GDC를 이용한 뇌동맥류 치료 중 기술적 합병증이 9예(22.5%)있었다. 가장 많은 합병증은 혈전-색전증으로 4명에서 발생하였고 그 중 3명(Case 5,21,23)은 시술 중 발견되어 즉각적인 국소적 혈

전용해술로 해결할 수 있었고 시술 후 시행한 자기공명영상에서 뇌경색의 증거는 보이지 않았다(Fig. 4). 나머지 1명은 우연히 발견된 기저동맥말단부의 미파열 대동맥류로 아전폐색 3시간 후에 다발성 색전성 뇌경색(multiple embolic infarction)이 발생하여 중등도 장애(moderate disability) 상태로 퇴원하였다(Case 40).

다음으로 많은 합병증은 코일이 모동맥내로 돌출된 경우로 3명에서 발생하였고 이 중 2명은 모동맥이 완전폐색 되었고, 1명은 모동맥내로 마지막 코일의 일부가 돌출되었다. 모동맥의 완전폐색이 있었던 2예(Case 1,8)는 기저동맥말단부동맥류와 상소뇌동맥류로 시술 후 모두 소뇌경색이 발생하여 중증 장애(severe disability) 상태로 퇴원하였다. 모동맥내로 마지막 코일의 일부가 돌출되었던 1예(Case 18)는 안동맥동맥류로 적절한 heparization을 시도하였으나 시술 후 이틀째 좌하지부전마비가 발생하였고, 이때 시행한 자기공명영상에서 우측 전대뇌동맥 영역의 뇌경색이 있었다(Fig. 5). 이후 환자는 꾸준한 물리치료 등으로 시술 후 3개월째 보조기없이 보행 가능한 상태로 퇴원하였다.

1예(Case 22)의 파열된 기저동맥말단부동맥류의 경우 시술 중 미세도관에 의한 동맥류의 천공으로 조영제의 누출이 관찰되어 계속적인 코일 채움과 heparin antidot 사용으로 지혈은 가능하였으

**Table 3.** Hunt-Hess grade and Glasgow outcome scale in 31 embolized patients with subarachnoid hemorrhage

Grade	Total	Outcome			
		GR	MD	SD	V
II	11	9	1	1	0
III	7	3	2	2	0
IV	5	3	0	0	0
V	8	0	1	2	1
					4

See Table 1 for abbreviations ( $p<0.05$ )

나. 시술 중 혈관촬영에서 다발성 혈전 및 색전으로 인한 양측 내경동맥과 상소뇌동맥의 폐색을 관찰할 수 있었고 시술 후 이틀만에 사망하였다.

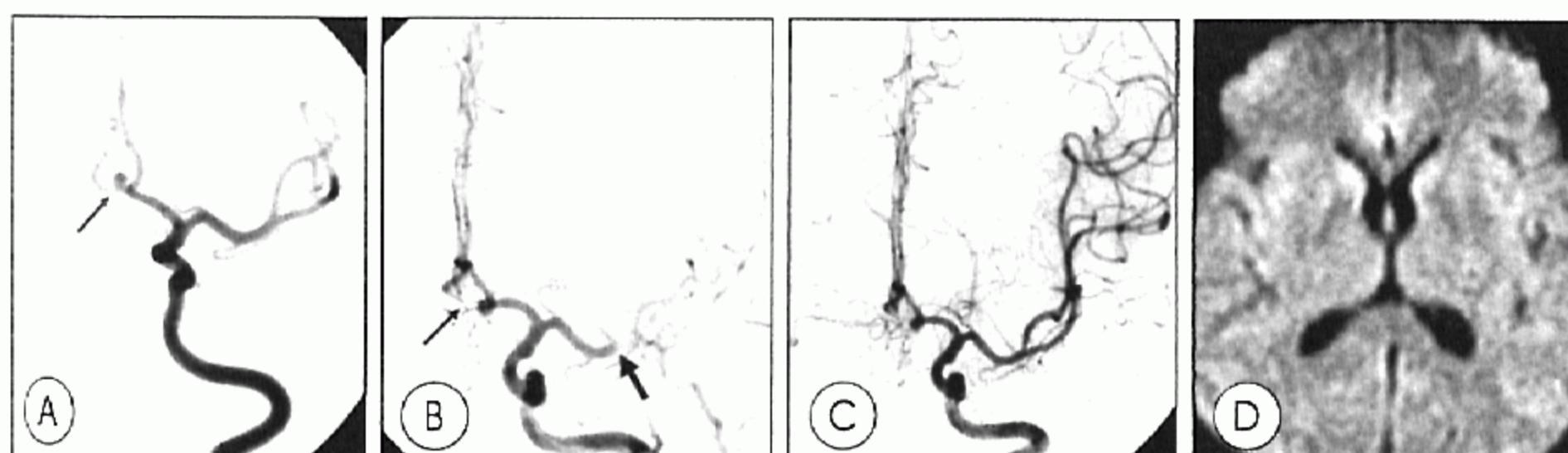
시술 중 혈관조영술로 혈관연축(vasospasm)이 확인되었던 2예(Case 23,27)에서 동맥류의 폐색 후 국소적 papaverine을 투여하여 혈관연축이 호전되었고, 이후 혈관연축은 발생하지 않았다.

GDC 치료 후 재출혈이 3예에서 있었는데, 모두 파열된 후방순환계 동맥류(전하소뇌동맥류, 후대뇌동맥류, 기저동맥말단부동맥류)로 2예의 대동맥류와 1예의 소동맥류의 아전 및 불완전폐색 후 발생하였다. GDC 치료 1개월 후에 재출혈한 전하소뇌동맥류의 경우(Case 4) 다시 GDC 색전술을 시도하여 동맥류의 근위부 모동맥을 폐색하였으며 9개월 이후에 중증 장애(severe disability) 상태로 퇴원(입원당시 Hunt-Hess grade V)하였다. 나머지 2예는 아

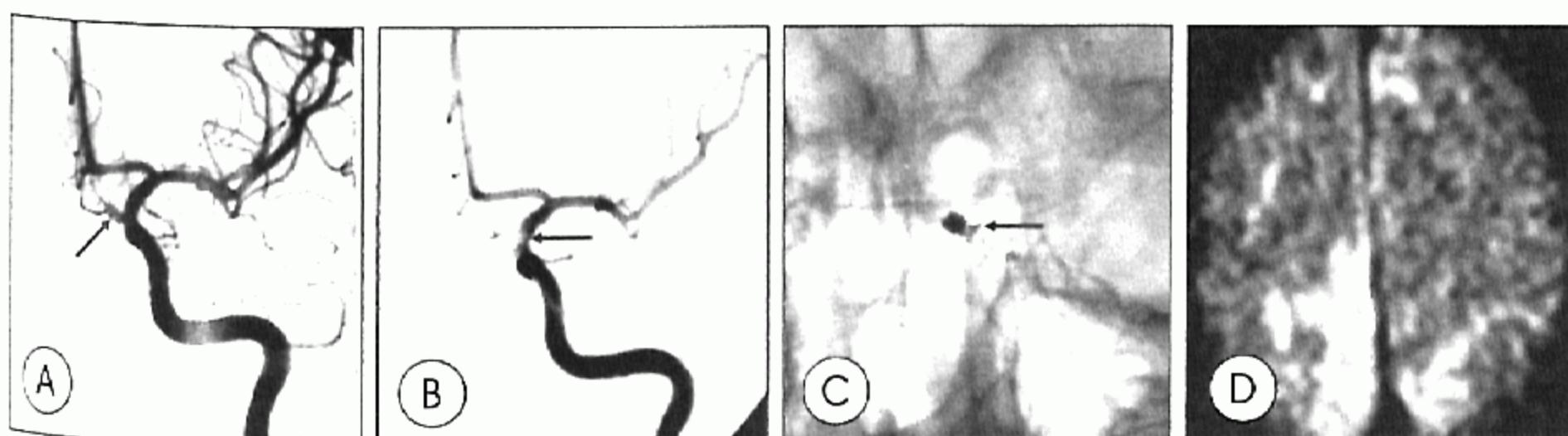
전폐색 되었던 후대뇌동맥류(Case 6)와 불완전폐색 되었던 기저동맥말단부동맥류(Case 7)로 각각 시술 2개월, 1개월 후에 재출혈이 발생하여 사망하였다.

GDC를 이용한 뇌동맥류 치료가 성공하였던 자주막하출혈 환자는 31명이었으며, 입원시 Hunt-Hess grade는 II가 11명, III가 7명, IV가 5명 및 V가 8명으로 퇴원시 예후 양호군(완전 회복, 중등도 장애)은 입원시 Hunt-Hess grade II 11명 중 10명, III 7명 중 5명, IV 5명 중 3명, 그리고 V 8명 중 1명이었다(Table 3). Hunt-Hess grade는 수술과 마찬가지로 GDC 치료에서도 자주막하출혈의 독립적인 예후인자임이 통계적으로 확인되었다( $p=0.005$ ).

GDC를 이용한 혈관내 치료를 실패하였던 1명을 제외하고 미출혈성 환자 8명 중 1명은 앞서 기술한 바와 같이 시술 후 발생한 혈전-색전증으



**Fig. 4.** A 43-year-old woman with Hunt-Hess grade III subarachnoid hemorrhage(case 21) A : Left internal carotid angiogram before GDC embolization reveals a small aneurysm(arrow) arising from anterior communicating artery. B : Angiogram after insertion of the final GDC demonstrates total occlusion of the aneurysm(thin arrow), but thromboembolic occlusion(thick arrow) is noted at left distal middle cerebral artery. C : The occluded middle cerebral artery is immediately recanalized by intraarterial thrombolysis with urokinase. D : There is no evidence of the acute infarction on brain magnetic resonance image performed after procedure.



**Fig. 5.** A 43-year-old man with Hunt-Hess grade III subarachnoid hemorrhage (case 18) A : Left internal carotid angiogram before GDC embolization shows a small aneurysm(arrow) arising from ophthalmic artery. B,C : Angiogram(B) and plain radiography(C) after insertion of the final GDC reveal total occlusion of the aneurysm, but the distal part of final coil is protruded in the parent internal carotid artery(arrows). D : On brain magnetic resonance image performed 2 days after the embolization, acute cerebral infarction is occurred in the right anterior cerebral artery territory.

로 시술 전보다 악화된 신경학적 상태로 퇴원하였으나(Case 40), 제3뇌신경마비와 두통이 있었던 2명은 시술 후 모두 증상이 소실 되었고 시술 전 증상이 없었던 5명은 시술 후 신경학적 변화나 새로운 증상이 발생하지 않았다.

GDC를 이용한 동맥내 치료의 기술적 문제와 관련된 유병률(morbidity)과 사망률(mortality)은 각각 10.3%(4명)와 2.6%(1명) 이었다. 14예에서 4개월에서 18개월 사이에 시행되었던 추적 혈관조영술에서 코일의 이동이나 동맥류의 재발은 보이지 않았다.

## 고 찰

**H**록 뇌동맥류의 GDC 치료가 많이 시행되고 있으나 아직까지는 뇌동맥류 치료에 있어 수술적 동맥류 경부결찰술이 가장 확실한 방법으로 인정되고 있다. 그러나 뇌동맥류의 위치나 크기로 인하여 수술이 힘든 경우 모동맥 근위 결찰(proximal ligation of parent artery)이나 동맥류의 포장술(wrapping) 등이 시도되었고 한편으로는 뇌동맥류의 비수술적 치료방법에 대한 연구가 오래 전부터 있었다<sup>1,3,5,13~15)</sup>. 1980년 초기에 수술이 힘든 뇌동맥류에 대해 분리풍선을 이용한 치료를 보고하였고<sup>1,5)</sup>, 그 후 분리풍선을 이용한 동맥류 치료가 많이 시행되었다<sup>13,14)</sup>. Higashida 등<sup>14)</sup>은 215예의 뇌동맥류를 분리풍선을 이용하여 치료하였는데 127예(59.1%)는 모동맥을 폐색하였고 88예(40.9%)는 모동맥을 보존하고 뇌동맥류를 직접 폐색하였으며 시술과 관련된 합병증으로 215예 중 사망이 21예(9.8%), 뇌경색이 16예(7.4%)였고 모동맥을 보존하고 뇌동맥류 직접 치료한 88예에서는 사망이 16예(18.2%), 뇌경색이 9예(10.2%)로 높은 합병증을 보였다. 그리고 미세코일이 개발되어 뇌동맥류 치료에 이용되었으나 분리풍선을 이용한 치료와 비슷한 정도의 합병증을 보였고 분리코일이 아니기 때문에 코일장착을 제어할 수 없고 한 번 넣은 코일은 제거할 수 없어 코일이동에 의한 합병증의 위험성이 높은 단점이 있었다<sup>3,15)</sup>.

1991년 Guglielmi 등<sup>10,11)</sup>은 처음으로 전기적으로 분리가 가능한 배금 코일인 GDC를 이용한 뇌동맥류의 혈관내 치료를 보고하였다. 그 이후 GDC를 이용한 동맥류의 혈관내 치료는 엄청난 발전을 하고 있으며 뇌동맥류의 중요한 치료법으로 인정받고 있다<sup>16,21,28)</sup>. GDC의 최고 장점으로는 코일을 동맥류에 위치시키고 혈관조영술로 정확한 위치와 폐색에 의한 결과를 확인한 후 분리가 가능하여 코일의 위치가 부적절할 경우 제거 또는 위치변경이 가능하다는 점이다. 그리고 GDC 치료는 수술에 비해 뇌실질이나 관통동맥(perfprating artery)손상의 위험이 적고, 내과적 질환이나 동맥류의 위치 등으로 수술이 불가능한 경우에도 시술이 가능하며, 코일이 매우 부드럽고 나선형태로 만들어져 동맥류 안에서 무끄를 형

성하기 때문에 동맥류의 변형이나 벽의 자극없이 동맥류의 형태에 맞게 완전폐쇄가 가능하고 파열될 가능성은 적은 장점이 있다.

Gurian 등<sup>12)</sup>에 의하면 색전술의 적응증은 1) 내과적으로 불안정한 경우(심부전 또는 폐부전등) 2) 고령(생리적으로 75세 이상) 3) 파열된 뇌동맥류환자에서 심한 뇌부종이나 혈관연축이 관찰되어 지연수술이 필요한 경우 4) 뇌지주막하출혈 후 신경학적 상태가 나쁜 경우(Hunt-Hess grade IV, V) 5) 불충분한 수술 후 뇌동맥류가 재발하였거나 뇌동맥류의 일부가 남아 있는 경우 6) 환자나 보호자가 수술을 거부한 경우 7) 뇌동맥류의 위치나 모양으로 인하여 수술적 치료가 어렵다고 판단되는 경우 등이라고 하였다. 그러나 이러한 적응증은 술자의 경험이나 주관에 따라 많은 영향을 받는다.

## 뇌동맥류 특성에 따른 방사선학적 결과

뇌동맥류의 혈관내 치료에 있어 중요한 것이 폐색된 뇌동맥류의 재개통과 재성장이며 이는 주로 코일의 채움 정도와 관련이 있다<sup>17)</sup>. Cognard 등<sup>4)</sup>은 아전폐색 되었던 동맥류의 추적 혈관조영술에서 폐색되지 않고 남아 있던 동맥류 경부에 혈전이 생겨 동맥류가 완전폐쇄 되었다고 하였다. 그렇지만 아전 혹은 불완전폐색된 동맥류는 코일의 모양이 변하고 시간이 경과하여도 동맥류내에 더 이상의 혈전이 생기지 않는 상태로 남아있다고 하며 동맥류의 일부 특히 입구 부위가 재개통된다고 한다<sup>2)</sup>. 이런 경우 재개통된 부위에서의 동맥류의 재성장과 이에 따른 재출혈의 위험이 있다. 따라서 동맥류 입구의 치밀한 코일 채움이 동맥류의 재개통을 방지할 수 있는 방법이라 생각된다.

본 연구에서 파열 여부에 따른 동맥류의 폐색 정도는 완전폐색률이 파열된 뇌동맥류(58.1%)에서 미파열 동맥류(66.7%)보다 낮게 나타났으나, 시술 중 동맥류 천공의 염려로 인한 색전의 적극성 차이 및 넓은 경부를 가진 미파열 동맥류의 경우 환자 및 보호자가 불완전폐색 및 색전술의 기술적 합병증에 대한 우려로 인해 시술을 반대한 경우가 많아 위 두 군의 색전율 비교는 편견(bias)이 막아 큰 의의가 없다고 하겠다.

후방순환계 동맥류는 전방순환계 동맥류보다 수술적 어려움이 많다. 하지만 후방순환계 대혈관의 geometry는 intravascular navigation, 선택적 도관(selective catheterization) 및 동맥류의 색전에 특히 유리하다<sup>28)</sup>. 기저동맥은 곧게 뻗어 있으며 기저동맥 말단부동맥류는 기저동맥과 직선상에 있거나 약간 기울어져 있는 경우가 대부분이어서 동맥내 GDC 치료의 좋은 적응증이라고 할 수 있다<sup>23)</sup>. 말단부 내경동맥은 굽곡이 심하고 예각으로 기시하는 동맥류가 많아 후방순환계에 비하여 혈관내 치료가 더 힘들다고 알려져 있다<sup>18)</sup>. 본 연구의 결과는 앞선 문헌보고와 달리 전방순환계의 완전폐색률이 73.9%로 후방순환계의 완전폐색률(41.2%)보다

높게 나왔으나 환자 선택 기준에 있어 전방순환계 동맥류의 경우 해부학적으로 혈관내 치료가 불리하다고 판단된 경우 미리 수술을 적극적으로 권유하였기에 본 연구에서 나타난 전/후방순환계 동맥류의 완전폐색률 차이는 객관적인 비교가 힘들다고 생각된다.

1997년 국내 8개 center의 합동연구에서 403명의 뇌지주막하 출혈환자에 대한 GDC 색전술의 치료결과를 보면 좁은 경부를 가진 소동맥류의 완전폐색은 70.8%에서 가능하였고, 넓은 경부를 가진 소동맥류의 완전폐색률은 31.2%였으며, 대동맥류의 경우 35%, 거대동맥류에서는 50%에서 완전폐색을 보였다고 한다<sup>28)</sup>. 본 연구에서는 소동맥류의 경우 69.0%, 대동맥류는 36.4%의 완전폐색률을 보였으며, 경부크기에 따라 좁은 경부의 동맥류는 69.0%, 넓은 경부의 동맥류는 36.4%에서 완전폐색이 되었다. GDC를 이용한 동맥류의 혈관내 치료에서 동맥류의 크기와 경부가 작고 좁을수록 완전폐색률이 높은 것으로 알려져 있으며<sup>7)</sup>, 본 연구에서도 같은 결과를 확인할 수 있었고 그 차이는 통계적 유의성이 있었다.

### 뇌동맥류내 색전술의 합병증 및 예후

코일색전술에 의한 기술적인 합병증에는 동맥류 천공 및 혈전-색전증과 모동맥 폐색 등이 있다. Vinuela 등<sup>28)</sup>은 시술 중 동맥류나 혈관천공으로 인한 뇌출혈이 전체 환자 403명 중 11명(2.73%)에서 발생했다고 보고하였는데, 그 중 9명이 소동맥류에서 발생하였다고 보고하였다. 이러한 경우의 뇌출혈은 대개 지주막하출혈로 나타나지만 때로는 뇌실질내출혈, 뇌실내출혈 및 경막하출혈 등의 형태로 나타나기도 한다<sup>12)</sup>. 색전술 중 발생하는 동맥류의 천공은 계속적인 코일 압축으로 대부분 지혈이 가능하다고 하나 출혈이 조절되지 않는 경우 치명적이라 하겠다. 본 연구의 증례 중 기저동맥 말단부의 소동맥류 환자에서 치료 중 동맥류가 미세도관에 의해 천공되어 지속적인 코일 압축으로 지혈되었으나 환자상태의 급격한 악화로 시술 후 2일째 사망하였다. 천공은 주로 소동맥류의 첨부에서 생기는데 이는 코일이 동맥류내로 자리 잡는 과정에서 동맥류의 이전 파열 부위를 뚫고 생겼다는 보고가 있다<sup>18,28)</sup>. 파열된 소동맥류의 완전폐색을 위해 무리하게 코일을 채우는 과정에서 동맥류 천공 및 코일의 이동으로 인한 모동맥 폐색 등의 합병증이 호발하기 때문에, 이런 경우 무리하게 동맥류를 완전 폐색 시키는 것보다 동맥류의 목을 약간 남기면 이러한 합병증을 예방할 수가 있고, 남은 부분은 환자와 뇌의 상태가 회복된 후에 직접 수술하거나 혈관내 추가 치료를 고려할 수 있다<sup>18,25)</sup>.

또한 Vinuela 등<sup>28)</sup>은 시술과 관련하여 2.48%의 혈전-색전증의 발생률을 보고하면서, 주로 동맥류의 경부가 넓고 시술 후에도 약간의 경부가 남아 있던 환자에서 시술 후 48시간이내 발생하고 잔여 경부의 혈전의 진행과 두개강내 신선 혈괴(fresh clot)의 이동

등이 그 원인으로 이를 예방하기 위해 최종 뇌혈관촬영에서 혈전-색전증의 가능성성이 인지되면 시술 후 2~3일간의 전신적인 해파린 투여와 아스피린의 장기복용을 병용한다고 하였다. 이동하는 혈전은 대개 크기가 작아서 소혈관을 폐쇄시켜 작은 영역에 국한된 다발성 뇌경색을 유발한다<sup>25)</sup>. 본 연구에서도 혈전-색전증이 4예 발생했으며 3예는 시술 중 발견되어 국소적 혈전용해술로 해결할 수 있었고 1예는 우연히 발견된 기저동맥말단부의 미파열 대동맥류로 아전폐색 후 다발성 뇌경색이 발생하여 중등도 장애(moderate disability) 상태로 퇴원하였다.

색전술 후 발생하는 모동맥 폐색은 코일의 이동 또는 동맥류 경부 혈괴의 자연성 발생에 의하며 폐색 원위부의 측부혈관(collateral vessel)이 충분하지 못한 경우나 관통동맥이 막힌 경우 치명적이므로 혈관내 시술이나 수술로 즉각적인 재개통이 요구되나 현실적으로 어려운 경우가 많다<sup>12)</sup>. 따라서 수술과 마찬가지로 동맥류에 대한 혈관내 치료 시에도 반드시 측부혈관에 대한 검사가 선행되어야 한다<sup>24)</sup>.

Malisch 등<sup>29)</sup>은 GDC 색전술을 시행했던 100명의 환자를 최소 2년 이상 추적관찰한 결과 소동맥류의 경우 재출혈은 발생하지 않았으나, 대동맥류의 경우 4%, 거대동맥류의 경우 33%에서 재출혈이 발생하였다고 한다. 동맥류의 크기가 크거나 경부의 폭이 넓은 동맥류의 경우 동맥류내에 코일을 압축해서 채우는데 한계가 있으며 시간이 경과할수록 코일 압축(impaaction)으로 인해 재충만(refill) 및 재개통이 발생하여 남아있는 동맥류의 성장과 이에 따른 재출혈의 가능성이 더 많이 존재하는 것으로 알려져 있다<sup>18)</sup>. Vinuela 등<sup>28)</sup>은 부분폐색 후 6개월에서 3년까지의 추적관찰기간 중 재출혈의 빈도는 2.2%로 높지 않다고 보고하고 있으나 본 연구에서는 이보다 높은 7.5%(3예)의 재출혈이 발생하였다. 재출혈된 경우는 모두 후방순환계 동맥류로 아전 혹은 불완전폐색 후 1~2개월에 발생하였고, 그중 2예가 재출혈로 인하여 사망하고 1예는 중증장애상태로 퇴원한 바, 재출혈은 예후에 치명적이라 하겠다.

혈관연축은 동맥류 파열에 의한 지주막하 출혈 환자의 예후를 결정하는 중요한 요소 중의 하나로 출혈 후 빠른 시간에 수술을 시행하는 것이 혈관 연축을 적극적으로 치료하는데 도움을 준다고 알려져 있다<sup>26)</sup>. GDC 치료도 초기에 시행하는 것이 수술과 마찬가지로 많은 이점이 있다고 하며<sup>22)</sup>. 특히 초기에 코일색전술로 파열된 동맥류를 보호한 후에 papaverine 등의 약물로 혈관연축에 대한 치료를 적극적으로 할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서도 2예에서 시술 중 확인된 혈관연축에 대해 동맥류 폐색 후 papaverine을 투여하여 혈관연축을 치료할 수 있었다(Case 23,27). 비록 많은 연구가 있었지만, 수술적 결찰술과 GDC 치료 후 혈관연축 발생의 빈도와 정도의 차이는 각 연구마다 결과가 상반되게 나타나 아직까지

논란이 많은 부분이다<sup>9,20</sup>. 그러나 최근 한 보고에서 장기 추적검사에서 임상적 예후는 차이가 없지만 수술적 치료군에서 혈관내 치료군보다 혈관연축 발생의 빈도와 정도가 심하다고 하였다<sup>24</sup>.

일반적으로 뇌동맥류의 GDC를 이용한 혈관내 치료와 관련된 유병률과 사망률은 수술적 결찰술보다 낮은 것으로 알려져 있다. Saveland 등<sup>27</sup>은 Hunt-Hess 등급 1-III인 145예 뇌동맥류의 수술적 결찰에서 12%의 유병률과 7%의 사망률이 있었다고 하였다. GDC를 이용한 혈관내 치료의 경우, Vinuela 등<sup>28</sup>은 시술과 관련해서 8.9%의 유병률과 1.7%의 사망률을 보고하였고 Cognard 등<sup>4</sup>은 6%의 유병률과 2%의 사망률을 보고하여 수술적 결찰보다 낮은 유병률과 사망률을 나타내고 있으며 본 연구에서도 시술과 관련된 유병률이 10.3%, 사망률이 2.6%로 비슷한 결과를 보였다. 더욱이 전방순환계 동맥류에 비해 수술로 접근하기가 어려운 후방순환계 동맥류에서는 수술적 결찰술로 인한 유병률과 사망률이 혈관내 치료보다 더욱 더 높은 것으로 알려져 있다<sup>16,20,23</sup>. 그러나 Koivisto 등<sup>19</sup>은 자주막하 출혈 초기에 수술적 결찰술과 혈관내 치료를 각각 57명과 52명에서 시행한 결과 수술군에서의 유병률과 사망률이 8.8%와 15.8%였고 혈관내 치료군에서는 각각 7.7%와 13.5%로 통계적으로 의미 있는 차이는 없다고 하였다.

## 결 론

GDC를 이용한 혈관내 치료는 크기가 작고 경부가 좁은 뇌동맥류에서 치료의 결과가 우수하다. 비록 시술과 관련된 기술적인 합병증으로 10.3%의 유병률과 2.6%의 사망률이 있었지만, GDC 치료는 수술이 어려운 경우에 좋은 치료법으로 생각된다. 예후에 치명적인 재출혈은 아전 혹은 불완전폐색된 동맥류의 재성장에 의해 발생할 수 있으므로 이를 예방하기 위해 동맥류의 치밀한 코일 채움이 필요할 것으로 생각된다. 하지만 완전폐색을 위한 코일의 과도한 채움은 모동맥 폐색이나 동맥류 천공의 위험이 수반되기에 시술자의 숙련된 기술과 냉철한 판단력이 요구된다.

### • Acknowledgement

이 논문의 요지는 2002년 대한신경외과학회 추계학술대회와 2003년 대한뇌혈관학회 학술대회에서 구연발표되었음.

## References

- 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 : 3-21, 1984
- Byrne JV, Hubbard N, Morris JH : Endovascular coil occlusion of experimental aneurysms : partial treatment does not prevent subsequent rupture. *Neurol Res* 16 : 425-427, 1994
- Casasco AE, Armard A, Gobin YP, Houdart E, Rogopoulos A, George B, et al : Selective endovascular treatment of 71 intracranial aneurysms with platinum coils. *J Neurosurg* 79 : 3-10, 1993
- Cognard C, Weill A, Castaings L, Rey A, Moret J : Intracranial berry aneurysms : angiographic and clinical results after endovascular treatment. *Radiology* 206 : 499-510, 1998
- Debrun G, Fox A, Drake C, Peerless S, Girvin J, Ferguson G : Giant unclippable aneurysms: treatment with detachable balloons. *AJNR Am J Neuroradiol* 2 : 167-173, 1981
- Eskridge JM, Song JK : Endovascular embolization of 150 basilar tip aneurysms with Guglielmi detachable coils : results of the Food and Drug Administration multicenter clinical trial. *J Neurosurg* 89 : 81-86, 1998
- Fernandez Zubillaga A, Guglielmi G, Vinuela F, Duckwiler GR : Endovascular occlusion of intracranial aneurysm with electrically detachable coils : correlation of aneurysm neck size and treatment results. *AJNR Am J Neuroradiol* 15 : 815-820, 1994
- Graves VB, Strother CM, Duff TA, Perl J 2nd : Early treatment of ruptured aneurysms with Guglielmi detachable coils: effect on subsequent bleeding. *Neurosurgery* 37 : 640-647, 1995
- Gruber A, Ungersbock K, Reinprecht A, Czech T, Gross C, Bednar M, et al : Evaluation of cerebral vasospasm after early surgical and endovascular treatment of ruptured intracranial aneurysms. *Neurosurgery* 42 : 258-67, 1998
- Guglielmi G, Vinuela F, Dion J, Duckwiler G : Electrothrombosis of saccular aneurysms via endovascular approach. Part 2 : Preliminary clinical experience. *J Neurosurg* 75 : 8-14, 1991
- Guglielmi G, Vinuela F, Sepetka I, Macellari V : Electrothrombosis of saccular aneurysms via endovascular approach. Part 1 : Electrocchemical basis, technique, and experimental results. *J Neurosurg* 75 : 1-7, 1991
- Gurian JH, Martin NA, King WA, Duckwiler GR, Guglielmi G, Vinuela F : Neurosurgical management of cerebral aneurysms following unsuccessful or incomplete endovascular embolization. *J Neurosurg* 83 : 843-853, 1995
- Higashida RT, Halbach VV, Barnwell SL, Dowd C, Dormandy B, Bell J, et al : Treatment of intracranial aneurysms with preservation of the parent vessel : results of percutaneous balloon embolization in 84 patients. *AJNR Am J Neuroradiol* 11 : 633-640, 1990
- Higashida RT, Halbach VV, Dowd CF, Barnwell SL, Heishima GB : Intracranial aneurysms : interventional neurovascular treatment with detachable balloons-results in 215 cases. *Radiology* 178 : 663-670, 1991
- Higashida RT, Halbach VV, Dowd CF, Barnwell SL, Heishima GB : Interventional neurovascular treatment of a giant intracranial aneurysm using platinum microcoils. *Surg Neurol* 35 : 64-68, 1991
- Hillman J, Saveland H, Jakobsson KE, Edner G, Zygmunt S, Fridriksson S, et al : Overall management outcome of ruptured posterior fossa aneurysms. *J Neurosurg* 85 : 33-38, 1996
- Hope JK, Byrne JV, Molyneux AJ : Factors influencing successful angiographic occlusion of aneurysms treated by coil embolization. *AJNR Am J Neuroradiol* 20 : 391-399, 1999
- Kim JS, Byun HS, Kim KJ, Lee JI, Hong SC, Shin HJ, et al : Coil embolization of intracranial aneurysms : the effectiveness and limitation. *J Korean Neurosurg Soc* 27 : 749-756, 1998
- Koivisto T, Vanninen R, Hurskainen H, Saari T, Hernesniemi J, Vapalahti M : Outcomes of early endovascular versus surgical treatment of ruptured cerebral aneurysms. A prospective randomized study. *Stroke* 31 : 2369-2377, 2000
- Lang DA, Galbraith SL : The management outcome of patients with a ruptured posterior circulation aneurysm. *Acta Neurochir (Wien)* 125 : 9-14, 1993
- Malisch TW, Guglielmi G, Vinuela F, Duckwiler G, Gobin YP, Martin NA, et al : Intracranial aneurysms treated with the Guglielmi detachable coil : midterm clinical results in a consecutive series of

- 100 patients. *J Neurosurg* 87 : 176-183, 1997
22. Murayama Y, Malisch T, Guglielmi G, Mawad ME, Vinuela F, Duckwiler GR, et al : Incidence of cerebral vasospasm after endovascular treatment of acutely ruptured aneurysms : report on 69 cases. *J Neurosurg* 87 : 830-835, 1997
23. Nichols DA, Brown RD Jr, Thielen KR, Meyer FB, Atkinson JL, Piepgras DG : Endovascular treatment of ruptured posterior circulation aneurysms using electrolytically detachable coils. *J Neurosurg* 87 : 374-380, 1997
24. Rabinstein AA, Pichelmann MA, Friedman JA, Piepgras DG, Nichols DA, McIver JI, et al : Symptomatic vasospasm and outcomes following aneurysmal subarachnoid hemorrhage : a comparison between surgical repair and endovascular coil occlusion. *J Neurosurg* 98 : 319-325, 2003
25. Rhee DY, Kim SY : Controversies in the coil embolization of intracranial aneurysms. *J Korean Neurosurg Soc* 28 : 1220-1225, 1999
26. Saveland H, Hillman J, Brandt L, Edner G, Jakobsson KE, Algers G : Overall outcome in aneurysmal subarachnoid hemorrhage. A prospective study from neurosurgical units in Sweden during a 1-year period. *J Neurosurg* 76 : 729-734, 1992
27. Saveland H, Hillman J, Brandt L, Jakobsson KE, Edner G, Algers G : Causes of morbidity and mortality, with special reference to surgical complications, after early aneurysm operation : a prospective, one-year study from neurosurgical units in Sweden. *Acta Neurol Scand* 88 : 254-258, 1993
28. Vinuela F, Duckwiler G, Mawad M : Guglielmi detachable coil embolization of acute intracranial aneurysm : perioperative anatomical and clinical outcome in 403 patients. *J Neurosurg* 86 : 475-482, 1997
29. Yalamanchili K, Rosenwasser RH, Thomas JE, Liebman K, McMorrow C, Gannon P : Frequency of cerebral vasospasm in patients treated with endovascular occlusion of intracranial aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* 19 : 553-558, 1998