

측방 동맥류 색전술 후 코일 위치에 따른 혈류 유동의 변화

이계한* (명지대 기계공학부), 송계웅 (명지대 기계공학부 대학원), 변홍식 (삼성서울병원 진단방사선과)

Changes of Blood Flow Characteristics for different Coil Locations after the Embolisation of Lateral Aneurysms

K. Rhee (Mechanical Eng. Dept. MJU), K. U. Song (Mechanical Eng. Dept., MJU), H.S. Byun (Radiology Dept. SMC)

ABSTRACT

Coil embolisation technique has been used to treat the intracranial aneurysms. Microcoils inserted into the aneurysm sac induce the blood flow stagnation inside the aneurysm sac, which causes the thrombus formation and embolisation of aneurysm. Since the intraaneurysmal flow patterns affect the embolisation process, we want to measure the flow field for different locations of coil inside the aneurysm sac. Lateral aneurysm models are manufactured using rapid prototyping, and the velocity fields are measured using particle image velocitimeter. Distally blocked models showed less flow into the aneurysm sac comparing to proximally blocked models. Also blocking the neck of aneurysm showed better inflow blocking comparing to blocking the dome of aneurysm. These results suggest that distal neck should be the preferred locations of coil for aneurysm embolisation.

Key Words : Hemodynamics (혈류역학), Coil(코일), Embolisation(색전술), Aneurysm(동맥류), PIV(입자영상속도계)

1. 서론

동맥류는 동맥의 일부분이 풍선 모양으로 부풀어 나는 혈관계 질환이다. 동맥류는 발생하며 성장하고 파열하는 경우가 발생하는데, 특별히 뇌혈관에서 발생한 동맥류의 파열은 지주막하 출혈을 야기하여 높은 사망률을 나타내고있다¹. 동맥류는 혈관의 전체가 부풀어 나는 방추형으로 발생하기도 하며, 혈관에 주머니 모양으로 발생하기도 한다. 주머니 모양으로 발생하는 동맥류는 혈관의 휘어진 측면에 발생하는 측방동맥류와 혈관 분지부 정점에 발생하는 종단동맥류 등으로 구분된다. 동맥류의 치료 방법으로는 수술적 방법과 방사선 과학을 이용한 중재적 시술방법이 사용되고 있다. 수술적 방법은 두개골을 절개하고 동맥류 목 부분을 클립을 이용하여 폐색하는 방법으로, 동맥류 폐색의 성공률이 높으나, 수술의 어려움 및 수술로 인한 합병증 등이 문제로 제기된다². 방사선 과학을 이용한

중재적 시술 방법은 가는 도관을 환자의 혈관에 삽입하여, 동맥류 주머니 내부에 위치시키고 도관을 통하여 색전물, 풍선, 미세 코일 등을 이용하여 동맥류 내부를 폐색하는 방법이다. 최근에는 GDC(Guglielmi detachable coil)을 동맥류 주머니 내부에 채우므로, 동맥류 내부의 혈류 정체를 유도하여 동맥류를 폐색하는 동맥류 색전술이 널리 사용되고 있다³.

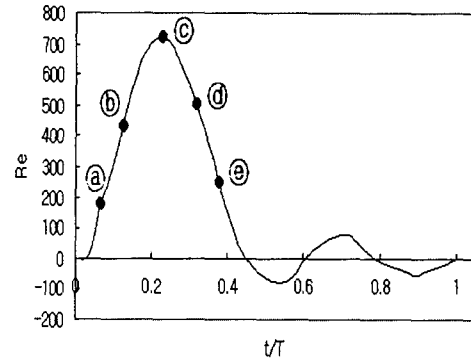
코일을 이용한 동맥류 색전술은 동맥류 내부의 혈류 유동의 정체를 유도하여 혈전을 형성시키므로 동맥류를 폐색하는 방법이다. 동맥류의 폐색 과정에는 다양한 혈액 인자, 혈관벽의 기능 변화 등이 관여하나, 동맥류 내부의 혈액의 유동은 혈전 형성에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 혈액의 정체는 혈전 형성에 영향을 미치는 중요한 혈류 역학적 요인이며, 혈류유동에 의한 혈관벽 진단응력은 혈관벽의 기능 변화를 발생하여, 혈전 형성에 영향을 미친다. 따라서 코일을 삽입한 후 동맥류 내부의

유동 변화에 관한 많은 연구가 수행되었다⁴. 목이 넓은 광경 동맥류나, 크기가 큰 거대 동맥류를 코일로 치료할 경우 동맥류 주머니 내부를 완전히 코일로 채우기 어려운 경우가 발생하여, 부분 폐색으로 인한 동맥류의 재발 및 파열이 보고되고 있다⁵. 코일을 이용하여 동맥류를 부분 폐색 할 경우 동맥류의 부분 폐색 위치에 따라 동맥류 내부의 유동 특성이 변하며, 이는 동맥류 내부의 혈전 형성에 영향을 미칠 수 있다. 또한 동맥류가 발생한 모혈관의 형상에 따라 동맥류로 유입되는 유동 특성이 변하므로, 모혈관의 형상에 따라 효율적인 동맥류 폐색을 위한 코일의 위치가 변할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 내경 동맥에서 발생한 측방 동맥류에 코일로 인한 부분 폐색이 발생할 경우, 부분 폐색 위치 및 내경동맥의 곡률 반경의 변화에 따른 동맥류 내부 혈류 유동의 변화를 생체의 모델 실험을 이용하여 측정하여, 효율적인 동맥류 폐색 위치를 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

동맥류가 자주 발생하는 내경동맥에서 발생한 측방 동맥류 모델을 선정하였다. 내경동맥과 동맥류의 형상은 개인에 따라 모양과 크기가 다르므로, 환자의 혈관 조영술을 이용하여 측정한 동맥류의 크기의 평균값을 갖는⁶ 모델을 제작하였다. 동맥류가 발생한 동맥류의 모델은 휘어진 원통형 혈관에 구형 동맥류가 발생한 형상이다. 모혈관의 형상에 따른 동맥류 내부 유동 특성을 관찰하기 위하여, 휘어진 모혈관의 측방에 동맥류가 발생한 모델과 직선형 모혈관의 측방에 발생한 동맥류 모델을 각각 모델링하였다. 모델의 형상을 3 차원 모델링한 자료를 이용하여 급속 조형법(Rapid Prototype, RP)을 이용하여, 실제의 형상보다 5 배 큰 모델을 제작하였다. 유동가시화를 위하여 RP 모델을 이용하여 투명한 실리콘 모델을 제작하였다. 코일이 삽입된 모델을 제작하기 위하여, 직경이 0.5 mm 인 투명 플라스틱을 구형(직경 17mm)으로 뭉쳐서 동맥류 주머니 내부에 삽입하여 모델을 제작하였다. 코일은 동맥류 천정 근위부, 천정 원위부, 목 근위부 및 목 원위부에 각각 삽입하여 부분 폐색 위치가 다른 모델을 제작하였다.

제작된 모델은 공압식 심실보조기로 구동되는 모의 순환장치에 삽입되었다. 유량은 초음파 유량계로 측정되었으며, 모의순환장치는 뇌혈관에서 발생하는 유량과형을 만들어 낼 수 있다 (Fig. 1). 면적 평균 속도를 기준으로한 레이놀즈수의 최대값은 약 700, 평균값은 약 200 이고, 위도슬레이수는 7.5 이었다. 모델의 곡면에 의한 광학적 뒤틀림을



최소화

Fig. 1 Non-dimensionalized flow waveform. Reynolds numbers are calculated based on the areal mean velocity at each moment. a,b,c,d,e note velocity measurement phase.

하기 위해, sodium thiocyanate 포화 용액을 작동 유체로 사용하였다. 유동장은 16 화소 (1.3mm)의 정사각형 면적으로 나뉘어, 획득된 두 프레임의 각 면적의 입자 분포의 상호상관 관계를 이용하여, 속도 분포를 계산하였다. 속도장은 입자영상속도계 시스템 (TSI Inc. U.S.A.)을 사용하였다. 사용된 입자영상속도계 시스템의 정확성은 검증된 바 있다⁷. 속도장이 측정된 평면은 동맥류 목의 중앙 평면이다.

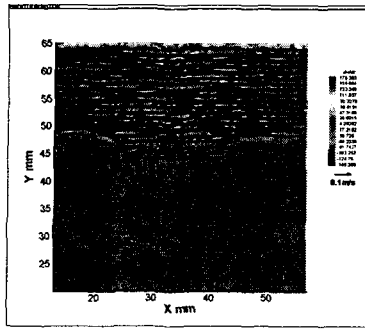
3. 결과

3.1 직선형 모혈관

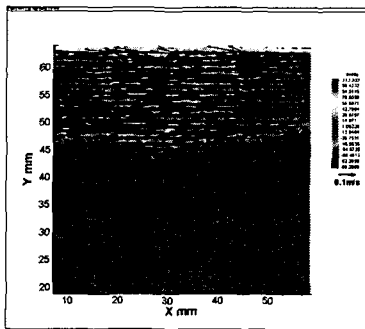
가속 중기 및 유량 최고기에서 천정부 근위부 및 원위부 폐색한 모델의 유동장은 유사하였으나 동맥류 목 근위부 폐색 모델은 원위부 폐색 모델에 비해 목 원위부에서 유출되는 유속이 크게 나타났다 (Fig.2). 감속 중기에서 천정부 근위부 폐색 모델은 원위부 폐색 모델에 비해 동맥류 원위부 목에서의 유입 속도가 크게 나타났다. 원위부 폐색 모델은 근위부 폐색 모델에 비해 동맥류 목 원위부의 유입 및 유출 속도가 적으므로, 효율적인 동맥류 폐색 위치이다. 목 폐색 모델은 천정부 폐색 모델에 비해 동맥류 내부의 유동이 적으므로 동맥류 폐색에 효율적인 위치임을 알 수 있다.

3.2 곡선형 모혈관

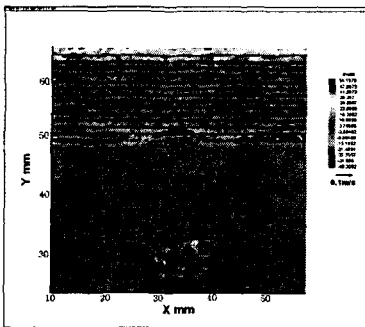
가속 중기에 모혈관의 목 근위부 폐색한



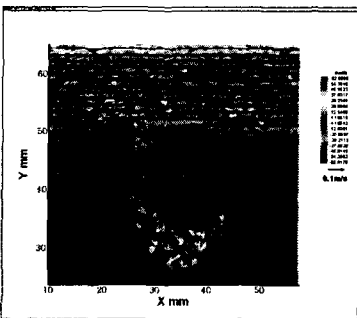
(a) Coils at proximal dome



(b) Coils at distal dome

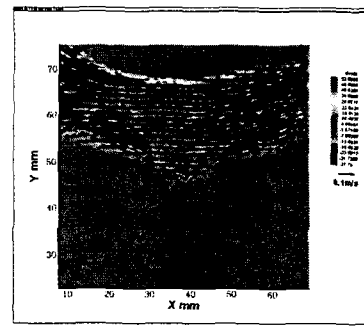


(c) Coils at proximal neck

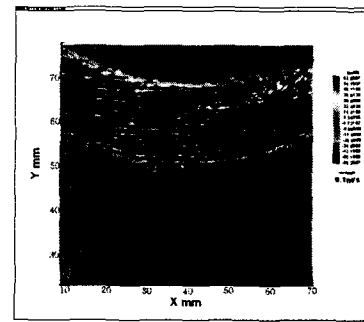


(d) Coils at distal neck

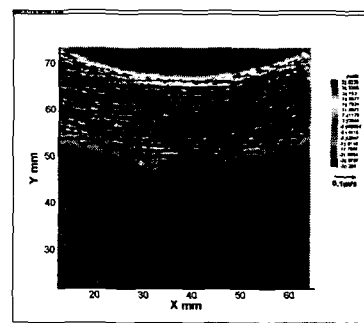
Fig. 2 Velocity field at peak flow rates in straight mother vessel models.



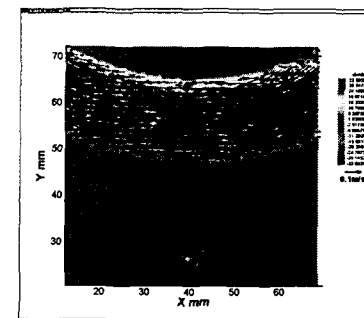
(a) Coils at proximal dome



(b) Coils at distal dome



(c) Coils at proximal neck



(d) Coils at distal neck

Fig. 3 Velocity field at peak flow rates in curved mother vessel models.

모델은 원위부 폐색한 모델에 비해 목 원위부 유출 속도가 크게 나타났다. 측정 평면에서 유입부가 나타나지 않았으나, 동맥류 목 근위부에서 측정 평면의 상하 평면을 통해 유입되었으리라 추정된다. 천정부 폐색한 모델은 근위부 및 원위부 코일 위치에 따라 유동장의 큰 변화가 없었다. 유량 최고기에서 목, 천정 모두 근위부 폐색한 모델은 원위부 폐색한 모델에 비해, 목 원위부 유출 속도가 크게 나타났다 (Fig.3). 감속 증기에서 목, 천정 모두 근위부 폐색한 모델은 원위부 폐색한 모델에 비해, 목 원위부 유입 유속이 크게 나타났다. 곡선형 모혈관은 직선형 모혈관 모델에 비해 동맥류 내부로 유입 유량이 크며, 이는 모혈관의 곡률 반경에 의해 원심력에 의한 유동이 존재하기 때문이다.

4. 결론

동맥류 주머니의 원위부 폐색은 근위부 폐색에 비해 직선형 모델과 곡선형 모델에서 모두 동맥류 내부로의 유동이 크게 나타났으므로 동맥류 원위부 폐색이 혈전의 형성 및 동맥류 색전에 효율적임을 나타냈다. 동맥류 목 원위부 폐색은 천정 원위부 폐색에 비해 원위부 유출 속도가 적으므로 목 원위부 폐색이 동맥류 색전에 가장 효율적인 위치이다. 또한 원위부 폐색으로 인한 동맥류 내부로의 유동의 감소 효과는 곡선형 모혈관 모델에서 더 크게 나타났다.

후 기

본 연구는 보건 의료기술연구개발사업 (01-PJ1-PG3-31400-003)에 의해 지원 받아 수행 되었습.

참고문헌

1. Johanson, K., "Aneurysm," Scientific American, Vol. 247, pp. 110-122, 1982.
2. Kerber, C. W., Hecht, S.T., Knox, K., Buxton, R.B. and Meltzer, H.S., "Flow dynamics in a fatal aneurysm of the basilar artery," AJNR. Vol. 17, pp.1417-1412, 1996.
3. Grave, B.V., Partington, C.R., Refenacht, D.A., Rappe, A.H., and Strother, C.M., "Treatment of carotid aneurysm with platinum coils: an experimental study in dogs," AJNR, Vol. 11, pp. 249-252, 1990.
4. Gobin, Y.P., Counord, J.L., Flaud, P., and Duffaux, J., "In vitro study of hemodynamics in a giant saccular aneurysm model: Influence of flow dynamics in the

parent vessel and effects of coil embolization," Neuroradiology, Vol. 36, pp. 530-536, 1994.

5. Lin, T., Fox, A.J. and Drake, C.G., "Regrowth of aneurysm sacs from residual neck following clipping," J Neurosurgery, Vol. 70, pp. 556-560, 1989.
6. Parlea, L., Fahrig, R., Holdsworth, D.W. and Lownie, S.P., "An analysis of the geometry of saccular intracranial aneurysms," AJNR. Vol. 20, pp.1079-1089, 1999.
7. 오지순, 이계한, 변홍식, "혈류유동이 뇌동맥류 형성에 미치는 영향," 의공학회지, Vol.21, pp. 567-573, 2000.