

축대칭 및 비대칭 복부대동맥류의 유동 및 응력 특성 : 유체-고체 상호작용

윤상호* · 김영호*

1. 서 론

복부대동맥류에 관련하여 유동가시화, 레이저 도플러 계측, hot-film 계측 또는 컬러 도플러 유동 매핑등을 이용한 유동 실험연구가 이루어졌다.^(1,2) Vorp 등⁽³⁾은 유한요소해석을 이용하여 복부 대동맥류의 비대칭 모델에 관한 구조해석을 수행하여 비대칭성에 의한 응력집중현상을 발표한 바 있다. 그러나 종래의 연구에서는 유동과 구조를 동시에 해석하려는 시도가 부족하였으므로, 맥동유동 하에서 복부대동맥류의 전체적인 기전을 설명하지 못하였다. 최근 복부대동맥류의 대칭 모델에 유체-고체 상호작용을 고려한 연구가 발표된 바 있다.⁽⁴⁾ 본 연구에서는 유체 및 고체의 상호작용을 고려하여 복부대동맥류의 축대칭 모델과 비대칭 모델에서의 맥류유동과 응력해석을 수행하고자 하였다.

2. 본 론

그림 1은 본 연구에 사용된 비대칭 모델의 형상을 나타내고 있다.

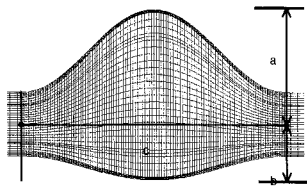


그림 1. 비대칭 복부 대동맥류 모델

표 1은 축대칭 모델과 비대칭 모델 복부대동맥 모델에서 사용된 aspect ratio와 대칭지수(β)를 나타내고 있다. 대칭 모델과 비대칭 모델의 대칭지수는 각각 1과 0.69이었다. 두 모델의 aspect ratio는 0.6으로 동일하게 하였다.

표 1. 두 모델의 aspect ratio와 대칭지수

	축대칭모델	비대칭모델
aspect ratio = (a+b)/c	0.6	0.6
$\beta = b/a$	1	0.69

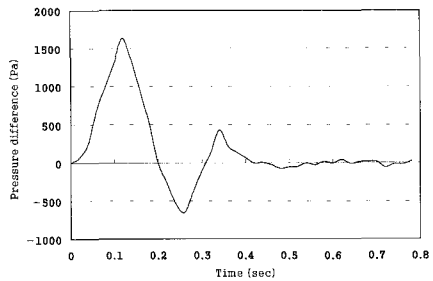


그림 2. 입구에서의 경계조건

그림 2는 복부 대동맥에서의 압력차이로, 본 연구의 경계조건으로 사용되었다. 동맥류 최대 확장부의 혈관 두께는 1.5mm에서 반으로 서서히 줄어들도록 하였다. 입구와 출구는 대칭조건으로써, 축방향으로 구조적 제약을 가하여 단지 반경방향으로만 변형이 일어나도록 하였다. 혈관은 탄성계수 0.7MPa, Poisson 비는 0.49인 균질의 등방성 물질로 가정하였다. 혈액은 밀도가 1056kg/m³, 점성계수가 0.0035kg/ms인 뉴턴 유체로 가정하였으며 상용 소프트웨어인 CFD-ACE⁽⁵⁾를 사용하여 수치해석을 수행하였다. 정확한 해를 구하기 위해서 네 사이클을 실행하였으며, 네 번째 사이클의 결과 값을 분석하였다.

* 연세대학교 보건과학대학 의공학과

2.1. 유동 패턴

그림 3은 최대 수축시 두 모델의 유동 패턴을 나타낸다. 비대칭 모델의 경우, 동맥류 시작 부위에서 강하게 유입된 유동은 아래쪽으로 치우치면서 최대 확장부 내부에서 커다란 와류와 아래쪽에 작은 와류를 형성하였다. 동맥류 끝 부분에서는 확장부 위쪽에 작은 와류가 관찰되었다. 특히, 동맥류 내벽을 따라서 현저한 2차 유동이 관찰되었다.

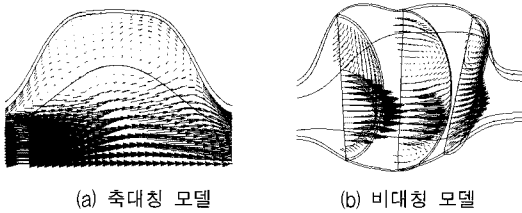


그림 3. 최대 수축 시 두 모델에서의 유동 패턴

2.2. Von Mises 응력분포

그림 4는 최대 수축시 동맥류 내벽에 작용하는 von Mises 응력분포를 나타내고 있다. 비대칭 모델의 경우, 확장부위가 큰 위쪽 혈관 벽에서는 최대 확장부 양쪽으로 최대응력(289.3kPa)이 작용되는 반면, 확장 부위가 작은 아래쪽 혈관 벽에서는 최대 확장부에서 최대 응력(276.9kPa)을 나타냈다. 축대칭 모델의 경우, 최대 확장부 양쪽에서 최대 응력(246.9kPa)을 나타냈다. 또한 두 모델 모두 최대 확장부 양쪽에서 더욱 큰 변형을 보였다.

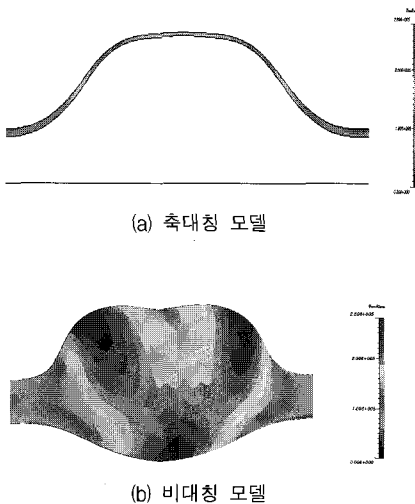


그림 4. 최대 수축시 두 모델에서의 von Mises 응력분포

3. 결 론

유체-고체 상호작용을 고려하여 비대칭 및 축대칭 복부대동맥류 모델에 대한 맥류유동과 응력분포를 해석하였다. 본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 비대칭 모델의 경우 동맥류 내부에서는 심박주기에 따라 다양한 크기와 와류 구조를 형성하였고, 현저한 이차 유동이 관찰되었다.
- 2) 비대칭모델의 경우 응력분포는 대칭모델과 큰 차이를 나타내었다. 비대칭 모델은 팽창이 큰 쪽의 전후 부위에서 최대 응력이 관찰되었으며, 그 크기는 대칭 모델에 비해서 큰 값을 나타내었다. 한편 팽창이 작은 쪽의 중앙부에 또 하나의 응력집중부가 관찰되었다.
- 3) 축대칭 모델은 최대 확장부 양쪽에서 증가된 응력 집중을 보였으며 보다 다양한 모델에 대한 해석을 통해서 복부 대동맥류의 파열에 대한 역학적 기전을 이해할 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 과학기술부, 한국과학재단 지정 연세대학교 의용계측 및 재활공학 연구센터의 지원에 의한 것임.

참고 문헌

- (1) R.D. Budwig, D. Elger, H. Hooper and J. Slippy, 1993, "Steady flow in abdominal aortic aneurysm models." J Biomech Eng, Vol. 115, pp. 418-423.
- (2) Hiroshi U., 1999, "Effects of Size and Shape on the Hemodynamics of Saccular Aneurysms", Neurosurgery, Vol. 45, pp. 119-130.
- (3) Vorp, D. A., Raghavan, M. L. and Webster, M. W., 1998, "Mechanical Wall Stress in Abdominal Aortic Aneurysm : Influence of Diameter and Asymmetry." J. Vasc. Surg., Vol. 27, pp.632-639.
- (4) 권치호, 김영호, 2001, "맥류유동에 의한 축대칭 복부대동맥류의 유체-고체 상호작용", 의공학회지, Vol. 22, pp. 59-68
- (5) CFD-ACE Tutorials, Volume I, 1998