

흉부대동맥 근성형술의 전산유동학적 접근

윤상호* · 김영호*

1. 서 론

흉부대동맥 근성형술은 환자 자신의 광배근의 수축력을 이용한 심장보조장치의 하나이다. 광배근의 수축에 따른 가장 효율적인 형상을 위해 오름대동맥 혹은 내림대동맥을 감싸는 방법, 시계 방향 혹은 반시계 방향으로 감싸는 방법, 혹은 자극의 횟수를 조정하는 방법등이 연구되어 왔다.⁽¹⁻³⁾ 또, Ryu등⁽⁴⁾은 대동맥벽과 광배근 사이에 접촉에 관한 문제를 FEM으로 분석한 바 있다. 이와 같이 광배근의 여러 형상에 따른 많은 동물 실험에도 불구하고 유체역학적인 효율은 명확히 알려져 있지 않다. 혈관은 wrapping pressure에 의한 근육의 반복적인 수축에 의해 구조적인 응력 하에 놓여 있게 되고 혈관 내벽에서는 전단 응력이 존재하게 된다. 그러나 이런 유체와 고체의 상호관계에 대해서는 아직 보고된 바 없다.

본 연구에서는 유체와 고체의 상호작용을 고려해서 흉부대동맥 근성형술의 유동학적 효율을 결정하고자 한다.

2. 본 론

본 연구에서는 내림대동맥을 이차원 축대칭 원통 모델로 가정하고, wrapping pressure가 인가될 부분은 8cm 길이로 설정하였다. 표 1은 본 연구에 사용된 세 가지 다른 경우를 나타낸다.

그림 1은 경계조건으로 사용된 입구속도 및 wrapping pressure 파형을 나타낸다. 한 주기는 40개의 구간

표 1. 본 연구에 사용된 세 가지 다른 경우

Case	Descriptions
Case I	Wrapping pressure(WP)가 없는 경우
Case II	이완기 전주기 동안 WP가 작용하는 경우
Case III	이완기 반주기 동안 WP가 작용하는 경우

* 연세대학교 보건과학대학 의공학과

으로 구성되며, 각 구간은 0.02초로 설정하였다. 출구 압력은 80mmHg로 설정하였고 혈관 내벽에서는 no-slip을 가정하였다.

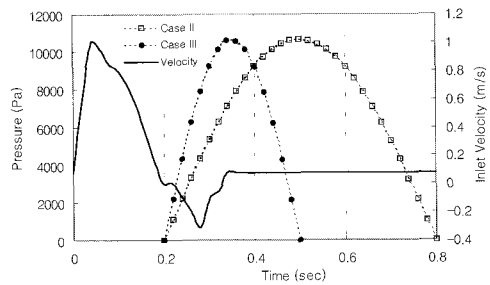


그림 1. 입구속도 및 wrapping pressure 파형

혈액은 밀도가 1056kg/m³, 점성계수가 0.0035kg/ms인 뉴턴 유체로 가정하였다. 혈관은 외경 2.0cm, 두께 0.2cm로 일정하게 하였으며, 탄성계수 0.7MPa, Poisson 비 0.49인 균질의 등방성 물질로 가정하였다. 모델의 입구와 출구에서는 단지 직경 방향의 변형만 일어나도록 구속하였으며 상용 소프트웨어인 CFD-ACE+⁽⁵⁾를 사용하여 수치해석을 수행하였다.

2.1 유동 해석

그림 2는 최대 "음"의 유동 후 유동패턴 및 혈관 내벽에서의 응력 분포를 나타낸다. Case II와 Case III의 경우, 근육 수축에 의해 혈관이 수축함에 따라 wrapping 영역 바깥쪽으로 혈류 및 내압이 증가하였고, 근육의 이완에 의해 혈관이 확장함에 따라 wrapping 영역 안쪽으로 유량이 증가하였다. 특히, 더 빠른 근육의 수축(Case III)은 더욱 증가된 유량 및 압력을 나타냈다. "음"의 유동 기간 Case II와 III의 경우 wrapping 영역 2cm 근위부 단면에서 각각 8ml/min와 17.3ml/min의 평균적인 유량 증가를 나타냈고, 10cm 근위부 단면에서는 각각 2.2ml/min와 5.6ml/min의 증가를 나타냈다. 그러나 전체 이완기 동안의 평균 유량은 대동맥 전체

에 걸쳐 상대적으로 일정하였다.

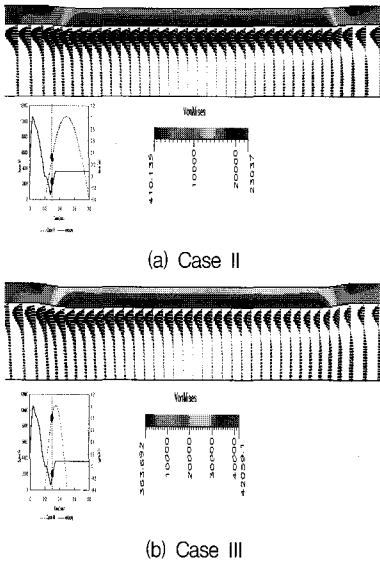


그림 2. 최대 "응"의 유동 후 유동 패턴 및 응력 분포

2.2. 압력-시간 적분

그림 3은 "응"의 유동 기간 혈관 벽 근처와 혈관 중심에서의 압력-시간 적분을 나타낸다. 일반적으로 압력-시간 적분은 wrapping 영역의 근위부 보다 원위부에서 더욱 증가하였다. Case III의 경우 가장 크게 증가했으며 혈관 벽 근처보다 중심에서 더욱 증가하였다.

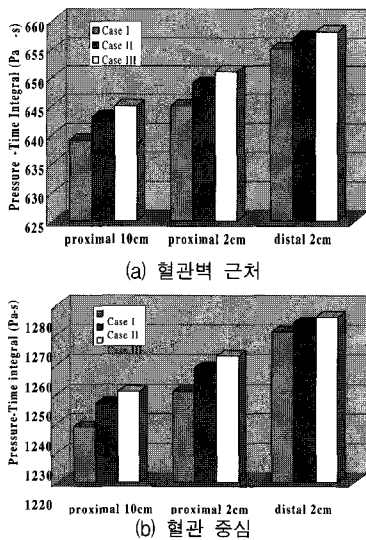
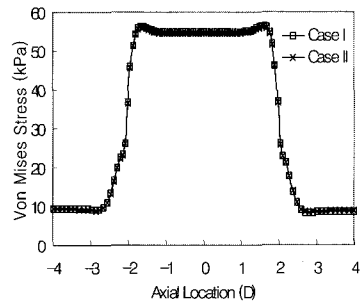


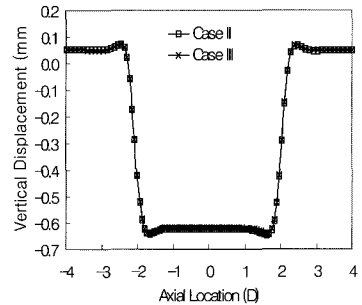
그림 3. 혈관 벽과 혈관 중심에서의 압력-시간 적분

2.3. Von Mises stress 및 최대 변형

그림 4는 최대 근육 수축시 혈관 내벽에서의 von Mises stress 및 최대 변형을 나타낸다. 응력 분포는 Case II와 Case III 모두 매우 비슷하였다. 최대 응력 집중은 wrapping 영역 바로 안쪽 혈관 벽에서 나타났고, wrapping 영역 바로 바깥쪽에서도 약한 응력 집중이 관찰되었다. 최대 변형은 Case II와 Case III 모두 0.63mm로 거의 일정하였다. 최대 응력이 집중된 위치와 최대 변형이 발생된 위치가 서로 일치하였다.



(a) von Mises stress



(b) 변형

그림 4. 최대 근육 수축시 혈관 내벽에서의 von Mises stress 및 최대 변형

3. 결론

흉부대동맥 근성형술의 효율을 결정하기 위해 유체와 고체의 상호작용을 고려한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 초기 이완기 동안 빠른 근육 수축은 후방으로의 유동을 증가시키는데 더욱 효과적이다.
- 2) 압력-시간 적분은 흉부대동맥 근성형술의 유체역학적

효율을 결정하는데 효과적인 파라미터가 될 수 있다.

- 3) 이완기 전체 동안의 근육 수축은 반주기 동안의 수축에 비해 혈관 내벽에서 더 큰 응력 분포를 나타냈다. 따라서 초기 이완기 동안 자극에 의한 근육의 빠른 수축은 후방으로의 유동의 증가를 가져와 결국 관상동맥으로의 혈액 유입량을 증가시킬 수 있다.

후 기

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

참고 문헌

- (1) Cmoliik, B. L., Thompson, D. R., Sherwood, T.,

- et al., 2001, "Increased Coronary Artery Blood Flow With Aortomyoplasty in Chronic Heart Failure," *Ann Thorac Surg*, Vol. 71, pp.284-289,
- (2) Chachques J. C., Grandjean P. A. and Cabrera Fischer E. I., 1990, "Dynamic Aortomyoplasty to Assist Left Ventricular Failure," *Ann Thorac Surg*, Vol. 49, pp.225-230,
- (3) Bolotin, G., Wolf, T., van der Veen, F. H., et al., 1999, "Acute Descending Aortomyoplasty Induces Coronary Blood Flow Augmentation," *The Society of Thorac. Surg.*, Vol. 68, pp.1668-1675,
- (4) 류기홍, 김영호, 오중환, 2000, "흉부대동맥 근성형술의 유한요소적 접근" 대한의용생체공학회., Vol. 22, pp.183~184,
- (5) CFD-ACE Tutorials, Volume 1, 1998.