

수치해석을 이용한 카테터 삽입에 따른 혈류역학특성 분석

노형운* · 김재수* · 서상호** · 이병권***

1. 서론

최근 식생활의 서구화로 인해 순환기질환에 관한 유병율이 높아지고 있다. 순환기질환중 동맥경화에 의한 혈관협착은 중재적 시술법으로 치료하고 있다. 이런 중재적 시술법 중 카테터를 이용하는 풍선 확장술은 심장내과에서 많이 사용되는 방법이다. 풍선확장술시 카테터의 사용은 카테터 직경과 혈관의 지름이 유사할 경우에는 생체내 정보를 얻기 위해 압력을 측정할 동안 삽입된 카테터가 유동장애를 유발한다. 더욱이 혈관내 협착부의 기하학적 형태가 시술하기 쉬운 동심형태로 발생하는 것이 아니라, 다양한 형태, 즉 편심형태가 많기 때문에 풍선의 압력팽창을 균등하게 하였을 때 협착의 정도가 큰 영역에서는 아무런 문제가 없지만, 협착이 얇게 형성된 영역에서는 혈관이 파열되는 심각한 문제에 봉착한다(1-3).

따라서, 본 연구에서는 편심협착부가 있는 관상동맥내 카테터삽입에 따른 혈액유동특성을 평가하기 위하여 임상적인 자료로부터 협착된 관상동맥의 형상을 이상화하고, 임상으로부터 얻어진 관상동맥의 속도파형을 가지고 수치적인 방법으로 3 차원유동 해석을 수행하였다. 또한, 본 연구에서는 협착이 편심형태로 발생되었을 경우에 발생하는 전단응력 변화를 협착이 동심인 경우의 결과와 비교하여 치료에 관한 자료를 구축하고자 하였다.

2. 지배방정식

협착이 편심으로 발생된 관상동맥내 카테터 삽입에 따른 혈액유동특성을 수치적인 방법으로 해석하기 위한 지배방정식은 비정상, 비압축성 유동에 적용되는 다음 식을 사용하였다.

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau} \quad (2)$$

윗 식에서 ρ, \vec{v}, p 는 각각 밀도, 속도벡터와 압력이다. 식 (1)과 (2)를 이용하여 관상동맥내 혈류의 속도분포와 압력분포 그리고 벽면전단응력을 수치 계산하였다. 식 (1)의 전단응력텐서항은 전단응력과 속도변형률의 관계로 나타내었고, 이때 발생하는 비뉴턴유체적인 효과는 Carreau 방정식을 이용하여 혈류특성을 모델링하였다. 출구경계조건은 압력경계조건을 적용하였다(3).

3. 협착이 있는 관상동맥의 형상

관상동맥은 매우 복잡한 기하학적 형상을 가지고 있다. 혈관확장술시 편심형태의 협착이 있는 관상동맥의 형상은 Fig. 1 과 같다.(3) 협착부의 협착율은 약 65%이다. 편심 형태의 협착은 동심형태의 협착부의 중심에서 0.3mm 정도 밑으로 내려간 형태가 많아 본 연구에서는 동심형태의 협착의 결과와 비교하기 위하여 협착의 길이와 형상은 같게 해주었다. Fig. 1 은 카테터 프로브가 혈관내에 삽입된 모델로서 카테터의 중심축은 혈관의 중심과 일치한 경우이다(1,2).

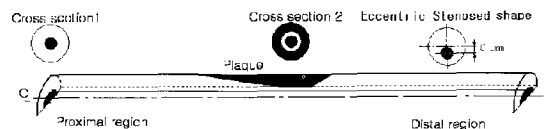


Fig. 1 Geometrical configuration of the stenosed coronary artery

4. 결과 및 검토

Fig. 2와 Fig. 3에는 동심인 형태와 편심인 형태의 협착부가 있는 관상동맥 모델내에 카테터를 삽입

* 조선대학교 항공조선공학부 교수

** 숭실대학교 기계공학과 교수

*** 인제대학교 상계백병원 교수

하였을 경우의 가속시와 감속시의 표면전단 응력 분포를 투명하게 나타내었다. 카테터에 작용 하는 응력값보다는 협착된 관상동맥에서 카테터의 응력으로 인하여 미치는 전단응력값을 나타낸 것이다.

Figs. 2, 3에서 보듯이 속도는 협착부의 형상이 동심인 경우보다 편심인 경우의 전단응력이 가속 시에는 38.9%, 감속시에는 6.1% 크게 전단응력이 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한, 가속이나 감속시 모두 편심인 형태의 경우에는 아래쪽 즉 협착이 얇게 형성된 곳에서 좀 더 큰 전단응력이 미치고 있음을 알 수 있다. 또한, 카테터가 삽입된 것과 삽입되지 않은 경우의 결과를 비교하여 본 결과 카테터의 삽입으로 인하여 카테터의 지름과 유사한 관상동맥 혈관에서는 최대 7.8 배 이상의 전단 응력이 협착 부에 작용하고 있음을 알 수 있었으며 압력강하는 약 17 배 이상의 유동붕쇄효과를 나타 내고 있음을 알 수 있었다.

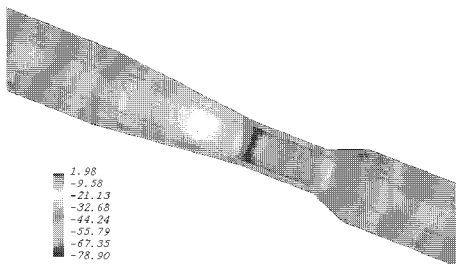
5. 결론

수치해석결과 편심된 경우에 관상동맥에 미치는 전단응력은 동심인 경우보다 평균 38.9% 정도 더

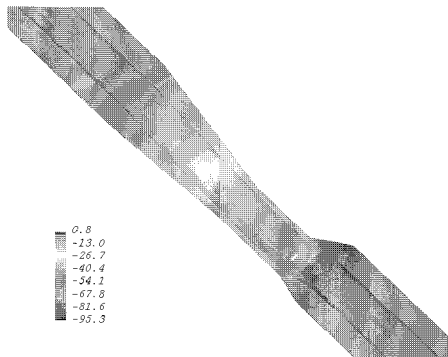
큼을 알 수 있었다. 카테터 삽입으로 인해 전단 응력이 크게 작용하는 동맥경화 죽상반의 모양이 찌그러지거나 파열되어 될 수 있음을 확인하였다. 이러한 사실은 편심인 형태로 발생된 관상동맥 내에서는 중재술시 세밀한 주의가 필요함을 의미 한다.

참고 문헌

- (1) 노형운, 김재수, 서상호, 권혁문, "카테터 삽입에 따른 협착 관상동맥내 혈류특성변화", 춘계기계학회 학술대회 논문집(2002)
- (2) Cho, Y. I. and Kensey, K. R., "Effects of the Non-Newtonian Viscosity of Blood on Hemo-dynamics of Diseased Arterial Flows", *Advances in Bioengineering*, Vol. 15(1989), pp. 147-158.
- (3) Suh, S. H., Yoo, S. S., and Roh, H. W., "Numerical Analysis of Branch Flows for Newtonian and Non-Newtonian Fluids", *KSME J.* Vol. 18, No. 10(1994), pp. 2762-2772.

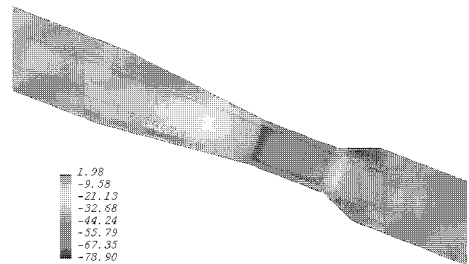


(a) concentric stenosed shape

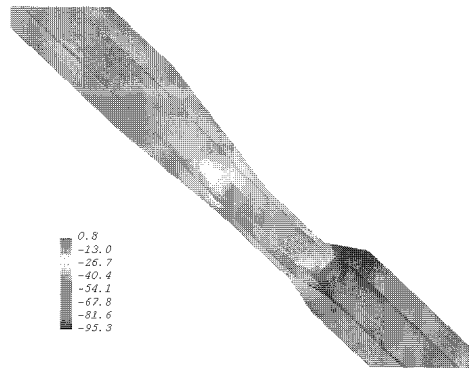


(b) eccentric stenosed shape

Fig. 2 Wall shear stress distributions on the surfaces of the concentric and eccentric stenosed coronary arteries(acceleration phase)



(a) concentric stenosed shape



(b) eccentric stenosed shape

Fig. 3 Wall shear stress distributions on the surfaces of the concentric and eccentric stenosed coronary arteries(deceleration phase)