Proceedings of
The Second National Congress on Fluids Engineering
August 22-24, 2002, Muju, Korea

편심협착부가 있는 관상동맥내 카테터삽입에 따른 혈액유동특성

노형운*·서상호**·권혁문***·이병권****

Blood Flow Characteristics due to Catheter Insertion in the Eccentric Stenosed Coronary Artery

Hyung-Woon Roh*, Sang-Ho Suh**, Hyuk-Moon Kwon***and Byung-Kwon Lee****

Key Words : *Blood Flow Characteristics(혈액유동특성), Catheter Insertion (카테터 삽입), Eccentric Stenosis (편심 협착), Coronary Artery(관상동맥)*

Abstract

Catheters are used to measure translesional pressure gradients in the stenosed coronary arteries. Catheter insertions during coronary angioplasty cause flow obstructions. A narrowed flow cross section with catheter present effectively introduced a tighter stenosis than the enlarged residual stenoses after balloon angiplasty. In general, the form of stenoses are no uniform. Sometimes, these are occurred the irregularly eccentricity. If the analyses are conducted for uniform stenosed artery, the results will be underestimated. Thus, in this study, three dimensional computer simulations are conducted to investigate the flow blockage effects due to the catheter insertion during the coronary angioplasty. The results for the eccentric stenosed artery are compared with those of the concentric stenosed artery.

1. 서 론

최근 식생활의 서구화로 인해 순환기질환에 관한 유병율이 높아지고 있다. 순환기질환중 동맥경화에 의한 혈관협착은 중재적 시술법으로 치료하고 있다. 이런 중재적 시술법 중 카테터를 이용하는 풍선확장술은 심장내과에서 많이 사용되는 방법이다. 풍선확장술시 카테터의 사용은 혈관의 지름이 큰 경우에는 큰 문제가 없지만 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 발생되는 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]. 이에 대한 문제점을 극복하기 위한 자료를 구축하기 위하여 카테터로 인하여 발생되는 유량과 유동장의 변화, 위상차와의 관계, 평균압력구배의 진폭차에 관한 정보를 획득하기 위하여 수치해석에 관한 연구들이 진행 중이다[1,2].

본 연구에서는 편심협착부가 있는 관상동맥내 카테터삽입에 따른 혈액유동특성을 평가하기 위하여 임상적인 자료로부터 협착된 관상동맥의 형상을 이상화하고, 임상으로부터 얻어진 관상동맥의 속도파형을 가지고 수치적인 방법으로 3차원유동해석을 수행하고자 하였다. 또한, 본 연구에서는 협착이 편심형태로 발생되었을 경우에 발생되는 전단응력변화를 협착이 동심인 경우의 결과와 비교하여 치료에 관한 자료를 구축하고자 하였다.

* 조선대학교 항공우주공학과 rohlee@chosun.ac.kr
** 숭실대학교 기계공학과 suhsangho@sfel.ssu.ac.kr
*** 연세대학교 의과대학 영동세브란스병원 내과
kwonhm@yumc.yonsei.ac.kr.
**** 인제대학교 의과대학 심장내과
cardiobk@sanggyepaik.or.kr

2. 지배방정식

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

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \tag{1}$$

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

윗 식에서 ρ, $\vec{v}$, p는 각각 밀도, 속도벡터과 압력이다. 식 (1)과 (2)를 이용하여 관상동맥내 혈류의 속도분포와 압력분포 그리고 벽면전단응력을 수치계산하였다. 식 (1)의 전단응력텐서항은 전단응력과 속도변형률의 관계로 나타내었고, 이때 발생되는 비뉴턴유체적인 효과는 Carreau 방정식을 이용하여 혈류특성을 모델링하였다. 협착된 관상동맥내 혈액유동특성의 지배방정식을 해석하기 위한 수치적인 방법에서 대류항처리는 하이브리드 차분법을 사용하였다. 운동량 방정식의 압력항의 이산화는 SIMPLEC 알고리즘을 적용하여 압력과 속도의 상관관계를 고려한 연속방정식의 이산화방정식으로부터 구하였다, 출구경계조건은 압력경계조건을 적용하였다[3].

3. 협착이 있는 관상동맥의 형상

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

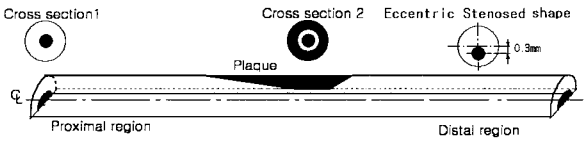
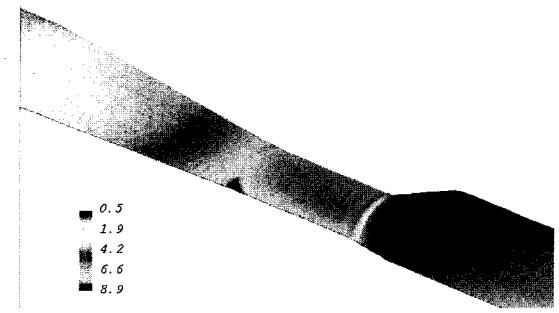


Fig. 1 Geometrical configuration of the stenosed coronary artery

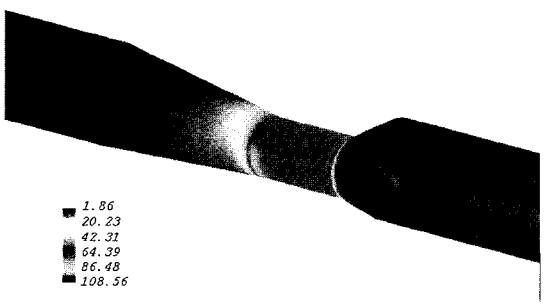
4. 결과 및 토의

Fig. 2와 Fig. 3에는 동심인 형태와 편심인 형태의 협착부가 있는 관상동맥 모델내에 카테터를 삽입하였을 경우의 가속시와 감속시의 표면전단응력분포를 나타내었다. 카테터에 작용하는 응력값보다는 협착된 관상동맥에서 카테터의 응력으로 인하여 미치는 전단응력값을 나타낸 것이다. 편심인 경우에는 혈관의 형상이 대칭이 아님으로 전체를 모델화하여 나타내었지만, 동심인 경우는 협착부의 아래와 위가 대칭이므로 Fig. 1의 윗쪽만 계산된 1/2모델에 대해 전단응력분포를 나타내었다.

Figs. 2, 3에서 보듯이 속도는 협착부의 형상이 동심인 경우보다 편심인 경우의 전단응력이 가속시에는 12배, 감속시에는 10배정도의

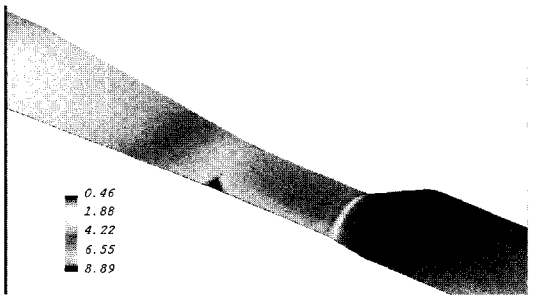


(a) concentric stenosed shape

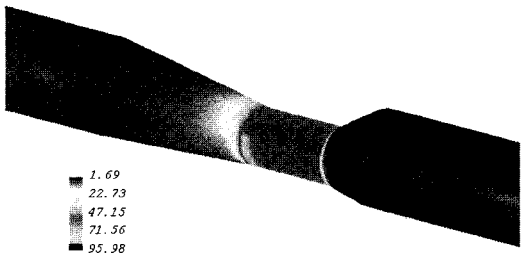


(b) eccentric stenosed shape

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 distributionse on the surfaces of the concentric and eccentric stenosed coronary arteries (deceleration phase)

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.

저자들의 선행연구결과[1]로부터 카테터의 삽입으로 인하여 카테터의 지름과 유사한 관상동맥 혈관에서는 최대 10배 이상의 유동봉쇄 효과를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이러한 경향은 편심일 경우에는 더욱 더 심각하게 일어남을 알 수 있었다. 더 나아가 수술시 갑작스러운 카테터의 삽입으로 인한 전단응력의 증가는 경화된 협착부위를 강하게 짓누를 수 있고, 전단응력이 크게 작용하는 동맥경화 죽상반의 모양이 찌그러지거나 파열되어 죽상파편이 혈관 말단부로 감으로 지름이 작은 혈관을 막을 수 있는 가능성이 있음을 유추할 수 있었다.

5. 결론

편심형태로 협착된 관상동맥내 카테터 삽입에 따른 혈액유동특성을 수치해석하였다. 편심된 경우에 관상동맥에 미치는 전단응력은 동심인 경우보다 평균 11배정도 더 큼을 알 수 있었다. 카테터 삽입으로 인해 전단응력이 크게 작용하는 동맥경화 죽상반의 모양이 찌그러지거나 파열되어 될 수 있음을 확인하였다. 이러한 사실은 편심인 형태로 발생된 관상동맥내에서는 중재술시 세밀한 주의가 필요함을 의미한다.

참고문헌

[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 Hemodynamics 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.