

# 생체내 혈관조형술을 이용하여 형성된 관상동맥내 3차원 혈류특성 해석

노형운\* · 서상호\* · 이병권\*\* · 권혁문\*\*\*

## 1. 서 론

국내의 순환계질환으로 인한 사망원인 중 심장 질환으로 인한 사망은 약 전체의 9% 정도로 그 비율이 높지는 않지만 계속 증가하는 경향을 나타내고 있다.

임상에서는 이와 관련하여 심장관련 질환을 예측하고 진단하는 방법이 많이 발전되고 있다. 동맥경화에 의한 심장질환의 원인을 예측하기 위하여 국내에서는 외국에서 나온 자료들을 많이 활용하고 있다. 그 이유는 한국인 혈관계의 자료구축이 아직 되어 있지 않기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Suh 등은 한국인의 관상동맥 모델을 데이터베이스화 하였고 혈관모델을 이상화시켜 동맥경화증의 발생 위치 및 진행기전을 살펴본 적이 있다<sup>1)</sup>. 그러나 위의 연구결과는 심장을 평면상에 있다고 가정한 3차원모델로 모델링한 결과로 완전한 공간상의 3차원 모델과는 판이하게 다르다. 이런 연구에 따른 동맥경화증의 예측과 진단은 과대 혹은 과소평가될 가능성이 있다.

따라서 본 연구에서는 컴퓨터 비전(computer vision)기술을 응용하여 공간상의 완전한 3차원모델을 구축된 한국인의 관상동맥에 대한 3차원 모델내 관상동맥내의 혈류특성을 정확히 예측하고자 하였다.

## 2. 3차원 관상동맥 모델

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 3차원 관상동맥 모델을 구축하기 위하여 좌관상동맥부분을 이상화하였고, 각각 남녀 40명씩을 대상으로 대동맥동에서부터 회선지(LCX), 대각분지(LAD)까지의 길이, 각도, 직경 등을 DB화하였다.

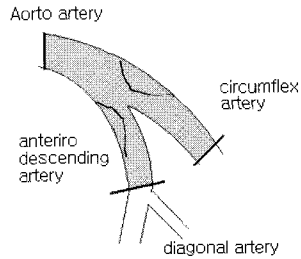


Fig. 1 Idealized geometry of the left coronary artery

## 3. 수치해석

공간상의 3차원 관상동맥내 혈류의 박동유동특성을 컴퓨터시뮬레이션 하기 위하여 CFX4.4를 이용하였다. 혈액유동은 Carreau model을 이용하여 모델링하였고 경계조건으로 Fig. 2와 같은 관상동맥의 압력파형을 적용하였고 적용된 수치해석 격자는 Fig. 3과 같다.

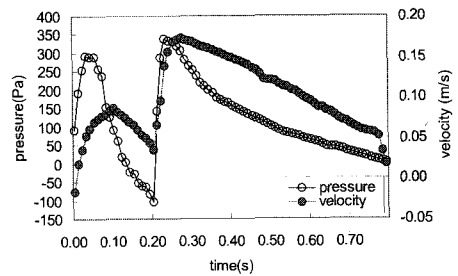


Fig. 2 Applied pressure and velocity waveforms for the inlet boundary condition

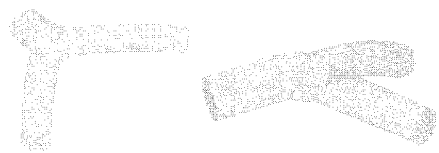


Fig. 3 Spatial three-dimensional meshes

\* 숭실대학교 기계공학과  
 \*\* 인제대 의대 상계백병원 심장내과  
 \*\*\* 연세대 의대 영동세브란스 병원 심장내과

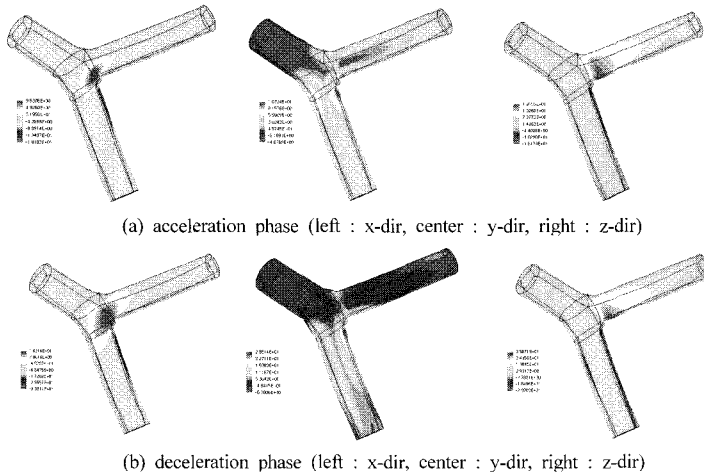


Fig. 4 Wall shear stress distributions in the coronary artery

#### 4. 결과 및 검토

관상동맥내 3차원 유동장을 관찰하기 위하여 Fig. 4와 같이 3차원 벽면전단응력을 나타내었다. Fig. 4의 (a), (b), (c)에서는 각각 x, y 와 z방향의 벽면전단응력을 살펴보았다. Fig. 4(a)에서 벽면전단응력은 유동의 주방향인 분지점쪽으로 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 감속시에서도 같은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 y방향과 z방향을 살펴보면 y방향 벽면전단응력이 큰 곳은 좌전하행지 내벽, z방향 벽면전단응력이 큰 곳은 대각분지관 내벽 쪽임을 알 수 있다. 반면에 좌전하행지 외벽과 대각분지관 외벽쪽에서는 음의 전단응력분포를 나타내고 있다. 벽면전단응력에 작용하는 값을 정량적으로 살펴보면 x, y, z방향에서 최대 값은 모두 10Pa이상이었으며 최소 전단응력값은 평균적으로 -10Pa이상이면서 특히 이차유동으로 인한 음의 벽면전단응력값이 매우 높게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 경향은 한주기동안만 살펴보았을 때 평균적으로 30~50Pa의 맥동전단응력이 작용하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과들은 Fig. 5과 같이 혈관내피세포의 거동과 연관시켜 볼 수 있다. Fig. 5의 (a)는 저전단응력이 작용할 때이고, Fig. 5의 (b)는 고전단응력이 작용할 때를 나타낸 것이다. 저전단응력이 작용할 때는 분지부 외벽부근에서 헬리컬 유동 및 역류로 인한 재순환유동에 의하여 혈관내피세포가 둥근형태를 나타내고 있고, 한 층(monolayer)으로 구성된 내피세포 사이의 연결이 약해지기 된다. 한 주기내에서 Fig. 5(b)처럼 고전단응

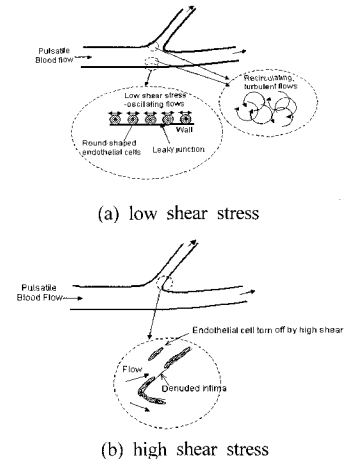


Fig. 5 Injured endothelial cells by the oscillating shear stress

력이 작용한다면 내피세포는 떨어져 나가고, 떨어져 나간 내피세포 자리에는 혈액 중 떠다니는 부유물질인 콜레스테롤과 LDL이 침착하여 동맥경화증이 발생할 수 있다.

#### 4. 결론

한국인 관상동맥내 3차원 혈액유동해석을 수행한 결과는 가속시나 감속시 벽면전단응력은 유동의 주방향인 분지점쪽으로 강하게 작용하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 벽면전단응력이 가장 큰 곳은 좌전하행지 내벽, 대각분지관 내벽쪽이었고, 반면에 좌전하행지 외벽과 대각분지관 외벽쪽에서는 음의 전단응력분포를 나타내었다. 한주기동안에 평균적으로 30~50Pa의 맥동전단응력이 혈관벽에 작용하게 된다. 특정한 부위에 맥동전단응력이 반복적으로 작용한다면 동맥경화증이 발생하게 될 위험성이 커지게 된다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00561-0(2002))지원으로 수행되었음.

#### 참고 문헌

- (1) Suh, S.H., Roh, H.W., Yoo, S.S., and Kwon, H.M., 1996, "Numerical Simulation of Blood Flow in the Human Left Coronary Artery", The 9th Int. Symp. on Trans Phenomena in the Thermal-Fluids Eng., pp.91~96.