

정상 및 비정상혈관의 혈류 특성 연구

Research on the Flow Characteristics of Normal and Abnormal Artery

*김승욱¹, #조성욱¹, 유홍선¹, 남지우¹

*S. Kim¹, #S. W. Cho(scho@cau.ac.kr)¹, J. W. Nam¹

¹중앙대학교 기계공학부

Key words : Hemodynamics, Computational fluid dynamics, Computed tomography, Coronary artery

1. 서론

죽상동맥경화증 (atherosclerosis)은 여러 가지 생화학적, 물리적 자극에 의해 시작되는 염증반응이 만성적으로 진행되어 발생하는 동맥혈관질환으로 알려져 있다. 혈류역학 (hemodynamics)은 동맥질환을 진단하고 평가하는 방법 중 하나인 혈액학 (hematology)의 한 분과로 심장의 주기, 내압, 박동, 심전도 등의 심장의 일이나 혈관 내에서의 혈액의 운동, 혈압, 혈류 속도 등을 연구 대상으로 한다. 최근 컴퓨터와 전산화 기술의 발전으로 인해 전산 유체역학기법 (CFD) 이나 유체-구조 상호작용 기법 (FSI) 등의 수치해석을 이용한 혈류역학적 접근이 가능하게 되었고, 이를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 대부분의 영상의학정보가 병변을 지닌 환자 중심으로 생성되는 어려움으로 인하여 많은 연구가 병변 혈관을 대상으로 진행되고 있다. 경화반의 발생부위 예측이나 병변의 진단 과정 및 그 기저를 이해하기 위해서는 병변혈관 뿐만 아니라 정상상태의 혈관의 혈류 특성에 대한 고려가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 실제 환자의 CT 정보를 활용하여 정상 및 비정상 혈관의 혈류 수치 모델을 재구성하였으며 이를 활용하여 정상 및 비정상 혈관의 혈류 특성을 비교·분석하였다.

2. 수치모델 생성

혈관 질환은 혈관 전체에서 발생하지 않고 만약 부나 분지부 같은 국소적인 위치에서 주로 발생한다. 따라서 병변을 지닌 CT 영상을 재구성하여 우선적으로 병변혈관을 생성하고 경화반을 가상적으로 제거함으로써 정상혈관을 생성하였다. 정상혈관을 생성과정은 병변 CT 영상의 명암 스톱드홀드를 조절과 경계부 수정을 통하여 진행했다.

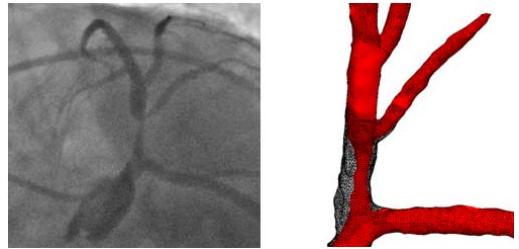


Fig. 1 Angiography (Left) and 3D geometry of the reconstructed normal (Right, wire frame) and abnormal(Right, red solid) arterial model.

영상의학정보의 재구성은 3D-Doctor (able soft, ver. 4.0)를 통해 이뤄졌으며 수치모델의 생성 및 수치계산은 ANSYS ICEM CFD 및 ANSYS CFD (ver. 13.0)을 통해 이뤄졌다.

혈류는 층류, 비압축성, 비뉴턴 유체로 간주되었으며 연속방정식과 비정상 나비아 스톱크 방정식을 이용하여 유동을 계산하였다.

3. 혈류 특성

정상 및 비정상혈관의 혈류 특성을 분석하기 위하여, 식 (1)과 같이 죽상경화반 발생 예측에 널리 활용되는 인자로 알려진 OSI (Oscillatory Shear Index)를 검토하였다.

$$OSI = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\int_0^T |\bar{\tau}_w| dt}{\int_0^T |\bar{\tau}_w| dt} \right) \quad (1)$$

여기서 $\bar{\tau}_w$ 는 혈관벽에 작용하는 전단응력, T는 심장 주기를 의미한다.

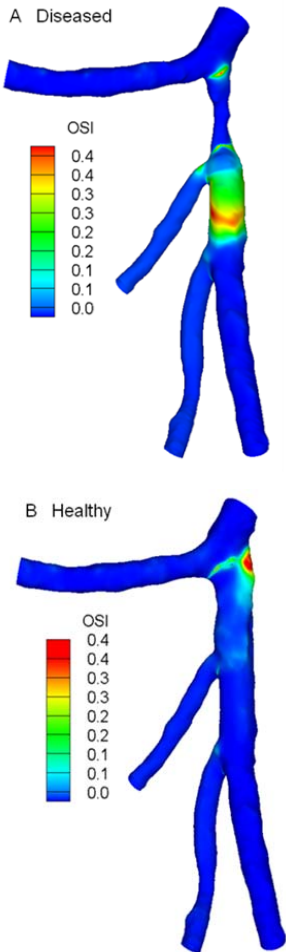


Fig. 2 Distributions of the oscillatory shear index for abnormal (A) and normal (B) artery.

그림 2(B)와 같이 병변이 없는 정상 혈관의 경우 LM에서 LAD로 연결되는 분지부에서 높은 OSI가 나타난다. 이는 분지를 지나는 유동이 정체되거나 역류될 가능성이 높으며 이에 경화반이 발생할 가능성이 높음을 의미한다. 또한 그림 2(A)에 도시된 실제 환자의 협착부위의 시작부와 일치한다.

병변 혈관 모델의 경우, 이와 달리 협착을 지난 LAD 하류쪽에서 높은 OSI가 발생한다. 협착을 지나면서 증가된 혈류 속도는 협착의 영향으로 협착 직후에서 재순환하게 된다. 따라서 협착 하류의 OSI가 높게 나타나며 이는 경화반의 진전방향이 혈관 하류 방향으로 진행된다는 임상 결과와 일치한다.

4. 결론

본 연구에서는 실제 병변을 지닌 환자의 영상의 학정보를 재구성하여 정상 및 비정상 인체 혈관 모델을 생성하였으며 이를 통해 정상 및 비정상 상태에서 경화반의 발생 및 진전 방향에 대하여 예측하였다. 정상 및 비정상 혈관 모델의 경화반 발생 및 진전 부위 예측은 일반적인 임상정보와 유사하였으며 정량적인 예측성을 제시할 수 있었다. 차후 연구를 통해 다양한 환자에 대한 검증 작업을 통해 합리적인 혈류 수치 모델에 대한 개발이 요구된다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0010379).

참고문헌

1. Knight, J., Baumüller, S., Kurtcuoglu, V., Turina, M., Turina, J., Schurr, U., Poulidakos, D., Marshall, W Jr., Alkadhi, H., "Long-term follow-up, computed tomography, and computational fluid dynamics of the cabrol procedure," *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **139**, 1602-1608, 2010.
2. Ro, K. C., Lee, S. H., Cho, S. W. and Ryou, H. S., "Numerical study on blood flow characteristics of the stenosed blood vessel with periodic acceleration and rotating effect," *Korea-Australia Rheology Journal*, **22**, 129-139, 2010.
3. Cho, S. W., Kim, S. W., Sung, M. H., Ro, K. C. and Ryou, H. S., "A Study Using FSI method on the Effects of Vessel's Material Properties on Blood Flow Characteristics in Stenosed Artery under Human Body," *Korea-Australia Rheology Journal*, **22**, 129-139, 2010.
4. Tang, D., Yang, C. and Ku, D., "A 3-D thin-wall model with fluid-structure interactions for blood flow in carotid arteries with symmetric and asymmetric stenoses," *Computers & Structures* **72**, 357-377, 1999.