

협착부 후방의 Shear Stress가 낮은 혈관부위에서 백혈구의 유체운동에 대하여

장근식* · 이은석**

1. 서 론

동맥경화는 혈관 벽 내부에 혈액 내의 세포물질이 침착 되어 혈관 벽이 두터워지며 탄력을 잃게 되는 증상을 말한다.

동맥경화의 발생 기전에 대해서는 여러 가지 이론들이 제시되어 왔다. 혈전이 침착 되어 혈관 벽과 상호 작용한다는 'encrustation', 혈관내피세포의 lipoprotein에 대한 투과도가 높아져 발생한다는 'insudation', 그리고 혈관 벽 내부에서 계속적인 상처에 대한 염증반응이 증가하여 발생한다는 'response to injury' 등을 들 수 있다⁽¹⁾. 한편 혈류 역학적인 관점으로는 '높은 전단응력과의 연관설', '낮은 전단응력과의 연관설' 그리고 이 두 가설의 혼합설 등이 제시되고 있다. '높은 전단응력과의 연관설'은 혈관 벽에 높은 전단응력이 작용하여 혈관 벽이 상처를 입음으로써 동맥경화가 발생한다는 이론이고 '낮은 전단응력과의 연관설'은 낮은 전단응력이 작용하는 부분에 혈관 벽과 혈액이 상호 작용하여 동맥경화가 발생한다는 이론이다.⁽²⁾

이처럼 동맥경화의 발생 기전에 대한 이론이 확립되지 않았으나 이 모든 이론들에 공통으로 등장하는 현상은 일단 혈관내피세포에 결함이 생기고 나면 동맥경화가 진전된다는 것이다. 또한 동맥경화의 진전은 혈류역학적 변수, 즉 혈액의 속도나 전단응력과 관련이 있을 것이라고 보고 있다.

2. 본 론

본 연구에서는 이러한 의문점을 해결하기 위한 노력의 일부로서 혈관 협착부의 후방에서 전단응력이 낮

아진 곳에 백혈구가 축적되어 동맥경화로 발전하는 병리현상과 혈액의 유체역학적 물리현상이 혹시 어떤 상관관계가 있을는지 고찰하여 본다. 먼저 혈액 중에 부유하고 있는 백혈구의 밀도가 전단응력이 낮은 혈관부위에서 높아지고 있는지, 협착부 후방에서는 백혈구가 어떤 유체운동을 하고 있는지 탐색하기 위해서 유체방정식을 컴퓨터해석하여 수학적 모델링을 수행한다.

2.1 혈류와 백혈구

유동중에 부유하고 있는 백혈구와 같은 입자는 여러 가지 작용하는 힘의 결과로 운동하게 된다. 부유하는 입자에 작용하는 힘으로는 크게 유체의 점성에 의한 점성저항력과 입자들간의 상호작용에 의한 힘을 들 수 있다. 입자가 부유하고 있는 유동은 입자의 유동에 대한 momentum response time(τ_f)과 입자와 입자간의 collision time(τ_c)에 따라 dilute flow와 dense로 분류할 수 있다. Dilute flow는 τ_c 가 τ_f 보다 커서 입자의 충돌을 고려해 줄 필요가 없으나 Dense flow는 τ_c 가 더 작으므로 입자의 충돌을 고려해 주어야 한다.⁽³⁾

2.2 시뮬레이션 방법

입자가 유동에 의한 점성저항력으로 운동하는 현상을 구현하기 위하여 Eulerian-Lagrangian 방법을 사용한다. 즉, 유동장은 Eulerian에 기초하여 계산하고 여기서 계산된 유동변수들을 사용하여 입자의 운동을 뉴턴의 운동방정식에 의해 계산한다. 이때 각각의 입자가 입구에서부터 시작하여 출구까지 나갈 때 까지 particle trajectory를 각각 계산하는 방법을 Trajectory calculation (TC) 라 하고 입자를 전 영역에 분포시킨 뒤 단위시간에 모든 입자를 동시에 계산하는 방법을 Simultaneous particle tracking (SPT) 라 한다.⁽⁴⁾ TC의 경우 recirculation 지역에서 입자가 맴돌므로 해서

* 한국과학기술원 기계공학과 항공우주전공

** 한국과학기술원 기계공학과 항공우주전공 석사과정

문제가 발생한다.

본 연구에서는 백혈구의 입자운동을 SPT method를 사용하여 계산한다. 혈관의 협착부 근방에서 백혈구 분포밀도를 구하고 벽면 Shear Stress와의 상관관계를 구하여 제시한다.

참고 문헌

(1) O'rourke and Nichols, 1998, "McDonald's Blood Flow in Arteries", Oxford University Press, pp.

398~401.

- (2) 서상호, 유상신, 권혁문, 2001, "혈관질환의 혈류역학적 연구", 대한기계학회 2001년도 유체공학부문 학술강연회 강연집, pp.1~5.
- (3) Crowe, Sommerfeld, et al., 1998, "Multiphase flows", CRC Press, pp.25~27.
- (4) E. Wassen, Th. Frank, 2001, "Simulation of cluster formation in gas-solid flow induced by particle-particle collisions", Int. J. Multiphase Flow, vol. 27, pp.437-458