

# 동맥경화증의 예측을 위한 컴퓨터 시뮬레이션의 활용

서 상호\*

## Application of Computer Simulation for the Prediction of Atherosclerosis

Suh, Sang-Ho\*

### 1. 동맥경화증

동맥경화증은 동맥 혈관벽 전반에 걸친 퇴행성 질환이고, 동맥경화증(arteriosclerosis)과 죽상동맥경화증(atherosclerosis)으로 구분한다. 동맥경화증은 주로 동맥혈관 중막(media)에 퇴행성 변화가 일어나서 섬유화가 진행되고 혈관 탄성이 줄어들어 수축기에 고혈압이 초래되고 심비대현상이 나타나는 일종의 노화현상이다. 다시 말하면 혈관이 딱딱해져서 탄성을 잃어버리는 것을 동맥경화라고 부른다. 동맥경화가 생기는 가장 큰 이유는 고령화와 고혈압이라 할 수 있다.

죽상동맥경화증은 혈관 내막에 국소적 콜레스테롤 침착과 세포증식이 일어나서 혈관내경의 협착현상이 발생됨으로써 그 말초의 혈액순환에 장애를 유발시켜 허혈성 질환을 유발하는 것이며 대표적으로 협심증, 심근경색과 같은 허혈성 심장혈관질환, 뇌경색과 같은 허혈성 뇌질환, 허혈성 하지혈관질환 등이 있다. 죽상동맥경화증의 발생빈도가 높은 곳은 대체로 동맥의 분지부나 만곡 부위이며, 이 질환 발생의 해부학적 특징은 이 부위의 혈관내부를 지나가는 혈액유동특성을 변화시켜 동맥경화성 죽상반이 타 부위보다 더 심하게 그리고 더 높은 빈도로 발생시키는 것으로 알려져 있다.

일반적으로 동맥경화증이라고 할 때 죽상동맥경화증에 국한하여 말하며 죽상동맥경화증은 여러 가지 원인으로 인해 혈관내막이 손상 받게 되는데, 이러한 손상에 따른 반응이 만성적인 염증반응을 유발하여 만성퇴행성질환의 형태를 띠게 된다는 것이 일반적으로 받아들여지고 있는 이론이다. 동맥경화증은 고혈압, 고지혈

증, 당뇨, 흡연 등의 위험인자와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 동맥경화증의 만성 염증성 발생 기전은 생물학적으로 혈액 내 잉여 콜레스테롤이 혈관 내피세포 층을 침투하면 백혈구가 이물질로 인지하여 식균 작용을 하게 되고, 식균 작용이 끝난 백혈구는 다시 혈액 속으로 빠져나가야 하지만 계속 침전하게 되는 콜레스테롤을 탐식하는 거식세포로 바뀌고 식균작용이 계속 진행되어 쌓이게 되면 일종의 반흔 형태의 죽상반이 형성되어 혈관 벽의 내막층이 두꺼워지면서 혈관 벽이 부풀어 올라 혈관내경이 좁아지는 협착현상이 발생한다. 최근에 발표된 동맥경화증의 발생기전에 관한 가설에 따르면 혈액의 혈유변화적인 특성과 혈류역학적 특성이 영향을 준다는 보고가 있는데 즉, 전단응력, 압력, 유동박리, 혈액의 점도 등의 영향을 받아 혈액에 포함된 생화학적 물질이 혈관벽 속으로 침투하여 혈관 벽을 부풀게 하거나, 응력을 크게 받게 되는 혈관계에서 혈관내피세포가 과열되고, 혈전 현상이 생김으로써 협착현상이 발생한다는 것이다. 발생기전에 관한 생물학적 연구의 초기가설로 '손상에 대한 반응설 (response-to-injury hypothesis)'이 대두되었는데, 죽상동맥경화증은 저밀도지방단백질(light density lipoprotein, LDL)의 침착에 의해 생긴다는 단순한 등비례 개념으로 많이 설명하여 왔다. 그러나 최근에는 이러한 혈관 전체에 대한 단순 등 비례적 원인 보다는 여러 가지의 복합적 위험인자로 인해 발생한다고 인식되고 있다. 동맥경화증의 발생은 생물학적인 접근, 혈류역학적 접근, 생물학적 및 혈류역학적 접근, 그리고 혈관형태학적 접근방법으로 설명하고 있다.

### 2. 동맥경화의 진단과 치료

동맥경화의 진단은 동맥경화의 위험인자들이 있는

\* 숭실대학교 기계공학과

지 여부를 확인하는 문진, 신체 진찰로부터 컴퓨터 단층촬영, 자기공명영상, 혈관촬영에 이르기까지 다양한 방법이 있으며, 전신성 동맥경화 상태를 파악하기 위한 방법과 국소적 동맥을 확인하기 위한 방법이 있다. 치료방법은 약물치료, 혈관성형술 및 문합술, 유전자 및 세포치료에 이르기까지 다양한 방법이 이용된다.

### 3. 동맥경화의 진단에 컴퓨터 시뮬레이션의 활용

동맥경화를 예측하고, 치료하는 방법에는 진술한 임상적인 방법이 주로 이용되고 있다. 최근에 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 동맥경화의 진단에 활용하고자 하는 연구가 국내외적으로 관심을 받아왔다. 혈류역학적 관점에서 동맥경화의 발생과 진행 그리고 재발생에 대한 연구도 괄목한 성과를 이루었다. 컴퓨터 시뮬레이션은 동맥경화와 관련된 혈액유동문제를 수학적으로 모델화한 기본법칙의 미분방정식을 풀이하는 것이다. 동맥경화증은 동맥혈관의 분지부나 곡관부에 주로 발생한다. 동맥혈관은 통일된 기하학적 형상이 없기 때문에 심장혈관, 뇌혈관 및 말초혈관을 수치 시뮬레이션하기 위해서는 각각의 혈관에 대한 정확한 기하학적 정보를 입력해야 한다. 복잡한 기하학적 형상의 혈관모형을 만들고 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 격자계를 생성해야 한다. 혈액유동은 심장의 수축 및 이완작용으로 인해 주기성을 갖는 매우 불규칙한 맥동파형을 갖는다. 따라서 혈관 내 혈액유동을 모델화할 경우에는 관심을 갖는 특정 혈관에서의 혈압파형과 속도파형을 정확히 파악하여야 한다. 이러한 특성은 카테터를 이용하는 탐습적(invasive) 방법과 심전도, MR, CT, Duplex Scan 또는 Doppler Ultrasound Signal과 같은 비탐습적(non-invasive) 방법을 활용하여 구하게 된다. 이러한 자료는 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 이산화방정식의 경계조건으로 이용할 수 있게 된다. 인체의 순환구조는 심장의 운동에 의하여 발생하는 압력장에 의하여 유동장이 형성되기 때문에 압력분포를 경계조건으로 활용하기도 한다. 경계조건을 이용할 때 반드시 고려해야 할 사항들은 혈관 입구의 유동속도분포를 고려해야 하고, 비뉴턴유체의 특성을 갖는 혈액의 점성 특성을 반영해야 하며, 수치해의 수렴을 위한 사항도 고려해야 한다. 유동문제를 컴퓨터 시뮬레이션으로 활용하기 위해서는 다양한 지식이 요구된다. 그러나 이러한 지식을 단시일 내에 습득하기 곤란한 경우에는 대안으로 상업적으로 개발된 상용코드를 이용하여 동맥경화와 관련된 혈액유동문제를 해결 할 수 있다.

동맥경화의 진단에 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 연구는 시뮬레이션 결과의 정확성을 담보하기 위해 임상 결과와의 연관관계가 많이 연구되어 축적되었고, 동맥경화증의 발생과 혈류역학적 특성들에 관한 연구도 많이 수행되었으며, 치료를 위한 중재적 시술이나 문합술에 따른 혈류역학적 특성에 대한 연구도 많이 수행되었다. 앞으로 동맥경화의 진단에 컴퓨터 시뮬레이션을 효과적으로 활용하기 위해서는 다음 사항이 고려되어야 할 것이다.

동맥경화의 진단을 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 실시간(real-time)으로 수행하기 위해서는 이 분야에 대한 지속적인 관심이 필요하다. 혈관의 모델화를 위한 데이터베이스 구축작업이 임상가와 시뮬레이션 전문가에 의해 이루어져야 하고, 혈관의 혈류역학적 특성 측정 및 자료 구축이 지속적으로 이루어져야 한다. 또 영상 자료의 실시간 3차원 모형화 기술도 보다 정밀해져야 한다. 관련 전문가들에 의한 자동 혈관모델 소프트웨어 개발도 있어야 한다. 컴퓨터 시뮬레이션의 알고리즘도 동맥경화의 진단이 실시간으로 이루어질 수 있기 위해서는 효율적으로 구성되어야 한다. 동맥경화의 진단을 컴퓨터 시뮬레이션으로 정확하게 하기 위해서는 동맥경화의 발생가설도 생물학적으로 연계되어 연구되어야 한다.

## 후 기

본 발표자료는 순환기질환의공학회 학술상 수상을 기념하는 강연자료입니다. 학술상 수여와 관련된 관계자 여러분께 깊은 감사드리며, 학술상 수상의 영광을 함께 연구를 수행했던 모든 선배, 동료 및 후배들에게 바칩니다.

## 참고 문헌

- (1) 조영일, 유정열, 서상호, 이병권, 이상준, 권혁문, 생체유체역학(혈관질환의 진단과 치료의 공학적 접근, 야스미디어, 2006.
- (2) 서상호, 동맥경화증의 발생 및 진행에서 혈류역학적 기전 확립, 한국과학재단보고서, 2005.