

생체유체역학과 유체공학

생체유체역학은 혈관질환을 일으키는 혈액유동에 관한 학문으로 유체역학에 그 바탕을 두고 있다. 이에 따라 이 글에서는 생체유체역학과 유체공학의 관계를 설명하고, 생체유체역학의 분야를 설명함으로써 향후 국내 생체유체역학 연구에 있어 기계관련 공학자로서 앞으로 나아가야 할 일들을 정의하고자 하였다.

서상호 송실대학교 기계공학과, 교수
노형운 (주)아이베이지디스리, 대표이사

e-mail : suhsh@ssu.ac.kr
e-mail : rohlee@yahoo.com

생체유체역학의 정의

1830년경 루이 파스퇴르가 모든 병은 외부에서 들어오는 세균들 때문에 생긴다는 세균이론을 주장하면서 수많은 병들을 치료하는 데 획기적인 공헌을 하였고, 이 덕분에 지난 170년 동안 지구상에서 수많은 병들이 사라지게 되었다.

현재 우리가 사용하고 있는 현대의학의 주종인 약물치료(Drug Therapy) 방법은 이 세균이론(Germ Theory)에 뿌리를 두고 있다. 그러나 현재 많은 현대인들이 갖고 있는 동맥경화 등과 같은 혈관질환은 세균과는 아무 상관이 없다. 동맥경화와 같은 혈관질환은 혈관 어디에서나 생기는 것이 아니고 혈관이 갈라지는 분지관에서 생긴다.

이렇게 분지관에서 혈액이 막히는 이유는 혈액이 분지관을 지나면서 혈관 벽에 있는 내피세포에 상처를 일으키기 때문이며, 세균과는 상관이 없는 유체역학적인 사건이다.

생체유체역학은 혈관질환을 일으키는 혈액유동에 관한 학문으로 유체역학에 그 바탕을 두고 있다. 즉, 혈관질환이 무엇이며 왜 생기는지를 이해하는 학문이다. 더 세부적으로 말하면 혈관질환 중에 가장 잘 알려진 동맥경화에 대해 이해함으로써 새로운 진단과 치료기술들의 개발을 포괄하는 종합적 연구를 지향하고 있다.

“생명을 유지시키는 것은 피와 심장”

“The heart is the household divinity which, discharging its function, nourishes, cherishes, quickens the whole body, and is indeed the foundation of life, the source of all action.”

“심장은 우리 인체에 영양을 공급하고, 몸을 보호하며 활동력을 불어 넣어주는 일을 하는 신성한 곳이다. 그야말로 생명의 원천이며 모든 활력의 근원이다.”

하비¹⁾(William Harvey)가 한 이야기처럼 우리 몸 오장육부에 영향을 공급하고 그래서 우리의 생명을 유지하게 만드는 것은 혈액이다(그림 1). 심장이 마치 펌프와 같이 수축운동을 하면서 피를 온몸에 순환시킨다는 것은 잘 알려진 사실이다. 하지만 영국의 의사 하비가 피의 ‘순환 이론’을 밝히기까지 사람들은 그림 2와 같이 로마 시대의 위대한 의사 갈레노스의 이론, 즉, 피가 간에서 만들어져 신체의 각



그림 1 William Harvey(1578-1657) 영국의 의사, 혈액순환이론가



그림 2 로마 고대의 갈레노스

부분으로 보내지면서 영양분을 공급하고 사라진다는 이론을 받아들이고 있었다. 또한 하비가 미처 몰랐던 사실이지만 영양분과 더불어 중요한 산소를 공급해주는 역할을 한다.

1628년에 간행된 <심장과 피의 운동에 대하여>에서 하비는 피가 심장을 중심으로 순환한다는 사실을 밝혔다. 이것은 1,500년 동안 받아들여지던 갈레노스²⁾의 생리학 이론을 뒤집은 것으로 후대에 근대과학의 주요한 성취로 평가받았다.

그는 아리스토텔레스의 영향을 받아 간보다는 심장을 중요시하였고, 그림 3과 같이 양의 목동맥을 직접 잘라서 피가 솟아나오는 결과를 바탕으로 피가 순환한다는 것을 확신하게 되었다. 하비는 철사로팔목을 묶는 실험을 통해 피가 순환한다는 것을 사람들에게 보여 주었는데, 이것은 진공펌프에 대한 보일의 실험과 함께 역사상 가장 유명한 시범실험이었다.

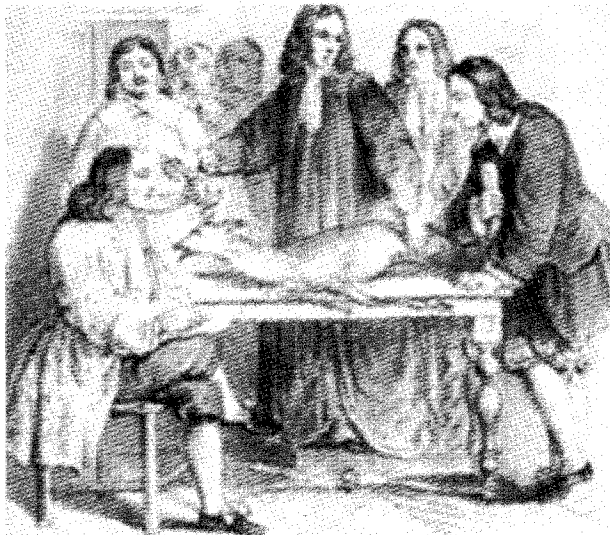


그림 3 양을 해부해 혈액순환을 연구하는 하비의 모습을 그린 그림

각주)

- 1) 피는 심장의 펌프질에 의해 온몸으로 순환된다고 처음으로 주장하였다.
- 2) 실험생리학을 확립한 학자로 해부학의 대가. 한때 로마 황제인 마르쿠스 아우렐리우스의 시의(侍醫)로 활약했으며 사람과 비슷한 영장류 아프리카 원숭이 해부를 통해 혈액의 흐름에 대해 많은 연구를 했으며 많은 서적을 남긴 사람. 서양의학의 기초를 세운 학자

물론 하비의 업적은 그 혼자만의 것은 아니다. 그의 동시대 혹은 그보다 앞선 시대에 살았던 르네상스 시대의 많은 해부학자들에 의해 갈레노스의 이론으로는 설명하기 어려운 많은 관찰 사실들이 축적되어 있었던 것이다.

유체역학의 공헌

심장병과 동맥경화는 전통적으로 심장내과 및 흉부외과에서 다루고 있는데 고혈압과 고지혈증이 그 원인으로 생각되어 혈압과 콜레스테롤을 정상으로 유지하는 것이 주된 치료 방법이었고 목적이었다.

그림 4와 같은 동맥경화는 혈관 어디에서나 생기는 것이 아니고 혈관이 갈라지는 분지관이나 만곡부에 많이 생긴다. 분지관에서 혈관이 막히는 가장 큰 이유는 혈액이 분지관을 지나면서 혈관벽에 상처를 일으키기 때문이다. 혈관 내벽에 생기는 상처가 바로 동맥경화가 시작되는 제일 처음의 과정이고 혈관질환을 일으키는 근본 원인이다.

문제는 어떤 다른 사람의 경우는 상처가 아주 심하게 생겨서 분지관이 빨리 막히게 되는데 반해, 어떤 다른 사람의 경우는 상처가 별로 안 생겨서 나이가 들어도 분지관이 전혀 막히지 않는다는 사실이다. 그 이유는 혈액의 유동, 특히 혈액의 유체역학적 특성에 따라 혈관 내벽에 상처가 생길 수도 있고 안 생길 수도 있기 때문이다.

서양의학에서는 병의 치료를 위해 왜 이런 병이 생기나 하는 것을 이해해야 병을 제대로 고칠 수 있다고 믿기 때문에 지금껏 많은 의사들과 학자들이 심장병이 생기는 원인을 연구해오고 있다.

1980년까지는 심장병 혹은 동맥경화의 원인이 고혈압과 고지혈증이라고 막연히 믿어 왔는데, 그 후 심장마비에 걸려 죽은 사람들의 거의 반가량이 정상적인 혈압과 콜레스테롤을 가졌다는 것을 알게 되면서 그 원인이 다른 데 있을 수도 있다는 생각을 하게 되었다.

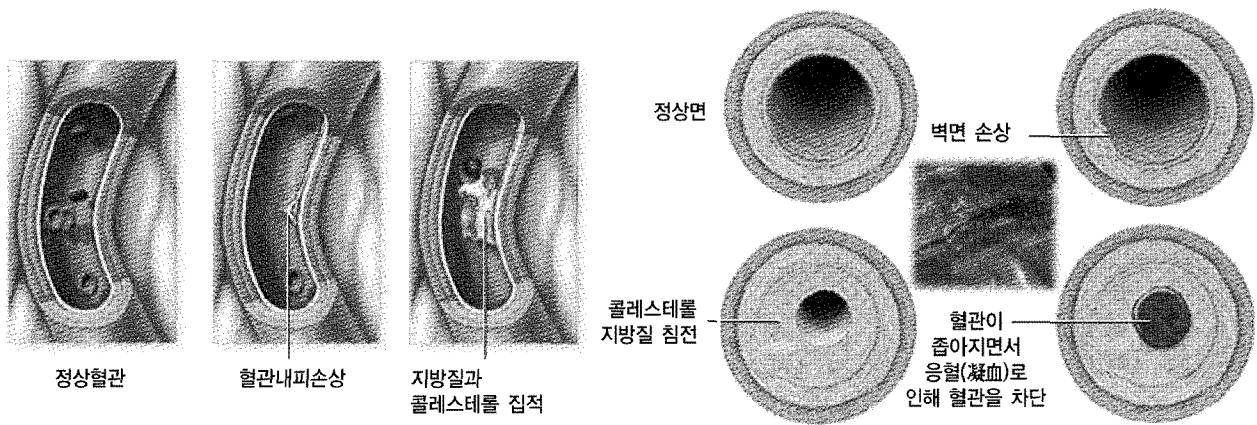


그림 4 동맥경화의 진행과정

유체역학을 공부하는 사람들은 혈액의 유동에 많은 관심을 갖고 있고, 특히 혈관 안에서의 혈액유동은 아주 복잡해서 전부터 많은 유체역학 전문가들이 혈액의 유동에 대해 열심히 연구를 해왔다. 그러던 중 1980년경에 “동맥경화는 분지혈관에서만 생기는 병이다”라는 연구결과를 유체역학 전문가들이 발표하면서 의학적 특히 심장내과 의사들로부터 관심을 끌게 되었다. 이는 심장마비를 일으키는 동맥경화라는 병의 근본 원인이 무엇인지를 찾아보려 했던 유체역학을 공부한 사람들이 내린 결론이었다.

그 핵심이론은 다음과 같이 요약할 수 있다. 혈액의 유동이 만들고 있는 전단응력의 특성이 가장 중요한 인자인데, 분지혈관에서만 이 전단응력이 내피세포의 손상을 일으킨다는 것을 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 찾아내었다. 전단응력이란 말은 혈관벽면에 평행하게 작용하는 저항력을 면적으로 나눈 값으로 정의된다. 그 후 20여 년이 지난 지금은 심장병에 관한 연구를 하는 거의 모든 의사들과 의과대학 교수들은 전단응력이 내피세포에 상처를 일으켜서 동맥경화가 시작되는 것을 마치 성경에 쓰여 있는 사실처럼 믿고 말하는 것을 볼 수 있다. 이것은 1980년대로 돌아가서 생각해 보면 정말 큰 발전이라고 볼 수 있고 유체역학을 공부한 사람들이 심장병 분야에 크게 공헌한 것이라고 말할 수 있다.

질병의 원인이 유체역학적인 인자 때문이었다는 것은 알았지만 아직 이러한 발견이 실제 임상에서 진단이나 치료에 사용되지 못하고 있다. 예를 들어 분지혈관

에서의 내피세포의 손상이 동맥경화의 출발점이고 이것은 전단응력 때문이라고 하지만 이 전단응력을 측정하는 임상적 방법이 아직 없기 때문이다. 이러한 측정 방법들을 개발하고 또 임상에 쓰일 수 있는 치료기술을 개발하는 일이 과학자들이 앞으로 해야 할 일이다.

의사와 공학자

의사(Physician or clinicians)들은 몸이 아픈 환자들을 돌보면서 이들의 병을 고치는 것이 그 임무이고 사명이다. 그래서 의사들은 ‘환자의 병이 왜 생겼는가’ 하는 것을 찾기보다는 환자들의 병을 진단하고 치료하는 데 더 초점을 맞추고 있다. 물론 병을 가장 효과적으로 진단하고 치료하기 위해 제일 최선의 방법은 ‘병이 왜 생겼나’ 하는 것을 이해하는 것이다. 병이 왜 생겼지만 알게 되면 쉽게 그 병을 고칠 수 있기 때문에 예전에 대부분의 병들이 각종 세균들의 감염에 의해 생겼을 때는 그 근본원인을 찾기만 하면 당장 병을 고칠 수 있었다.

21세기에 우리가 갖고 있는 대부분의 질병들은 혈관질환과 연결되어 있고 그 중 가장 흔한 증상이 고혈압과 뇌졸중이다. 거의 대부분의 환자의 경우(80% 이상) 고혈압이 왜 생겼는지 그 원인을 모른다. 이렇게 그 원인을 모르는 고혈압을 본태 고혈압 Essential hypertension이라고 부른다. 이 경우 의사는 환자에게 잘 맞는 혈압약을 찾아서 환자의 혈압을 정상으로 낮추어 주면 의사로서의 해야 할 임무를 완벽하게 한

것으로 볼 수 있다.

이런 약물필요의 목적은 혈압을 정상으로 “유지”하는 데 있기 때문에 환자는 약을 평생 복용해야 한다. 치료의 목적이 고혈압을 일으킨 원인을 “제거”하는 것이 아니라는 점이다. 그런데 고혈압 환자의 경우 혈압이 정상으로 회복되면 동맥경화가 예전처럼 빨리 진행되고 있지는 않지만 동맥경화는 여전히 서서히 계속되고 있다는 데 문제가 있다. 또 앞으로 이 환자가 심장마비(급성심근경색)나 뇌졸중을 경험할 가능성은 물론 많이 줄어들었지만 없어진 것은 아니라는 점이다.

공학자의 접근방법은 고혈압 환자의 경우에 왜 혈압이 올라갔는가를 끈질기게 추구하는 것이다. 또 혈관질환(동맥경화)이 생기는 제일 처음 사건이 분기관 혈관 내벽에 생기는 상처라고 했는데, 왜 분기관에서 상처가 생기는지 질문하면서 이 상처가 생기는 원인을 끝까지 찾는 것이다. 또 “어떻게 하면 이 상처를 덜 생기게 할 수 있을까?”라고 질문하면서 실제 임상에서 쓸 수 있는 현실적이고도 경제적인 방법들을 생각해 보는 것이다.

혈관질환이 분기관에서 주로 생기고 또 어떤 특정 부류의 환자들만 경우에만 심한 상처를 만든다는 점에서 혈관질환의 시작은 공학적인 사건이라고 볼 수 있다. 그래서 공학적인 해결방법과 접근방법으로 문제를 해결(제거)할 수 있다고 생각한다. 공학도 혼자 문제를 해결할 수 있다는 것이 아니라 이 문제를 해결할 수 있는 방법과 도구를 공학자들은 이미 갖고 있다는 것이다. 단지 임상에서 일어난 문제들을 접해 볼 기회가 없었기 때문에 무엇이 문제인지를 모르고 있을 뿐이다.

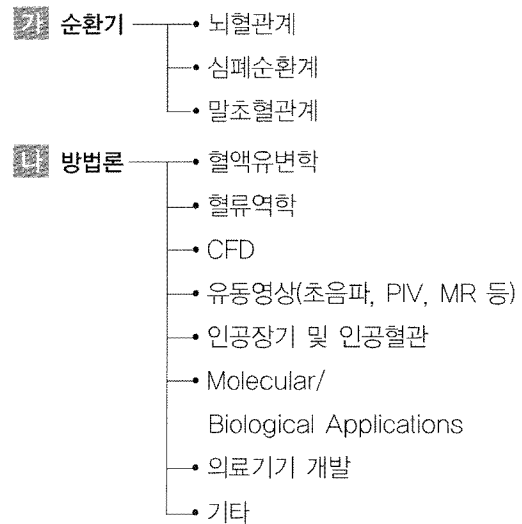
그래서 생체유체역학과 같은 연구를 통해 우리가 갖고 있는 공학적 지식과 도구들을 혈관질환을 진단하고 치료하는데 사용해 보자는 것이다. 혈관질환의 진단과 치료를 위해 다음과 같은 희망사항들이 있다.

- 혈관질환이 일어나는 그 원인들을 정확히 이해할 수 있으면 좋겠다.
- 많은 사람들 중 가까운 장래에 심장마비나 뇌졸중을 일으킬 사람들을 골라낼 수 있는 기술이 있으면 좋겠다.
- 마찬가지로 가까운 장래에 신장이 망가져서 못 쓰게 될 사람들을 미리 골라낼 수 있으면 좋겠다.

이처럼 혈관질환을 일으킬 가능성이 있는 사람들을 미리 골라낼 수 있는 Screening 방법들이 개발되면 이들을 적극적으로 치료함으로써 최악의 불상사를 미리 막을 수 있을 것이다.

생체유체역학의 분야

현재 생체유체역학과 관련된 연구가 활발히 진행 중에 있다. 기본적으로 생체유체역학은 의학 또는 공학의 한 분야의 지식만으로는 이를 구현할 수 없으며 여러 학문분야가 복합적으로 관련된 융합과학이라고 할 수 있다.



위에서 보듯이 순환기에서 발생하는 문제 및 기전을 파악하는 것이 목적이고 이와 관련된 의학, 공학, 생물학 및 의공학의 관련분야들을 열거할 수 있다. 또한 심장의 전기적 흥분, 기계적 수축작용 및 혈류유동, 관상동맥 혈류역학 등은 해석하기 위하여 역학적, 제어공학적 기술과 관련되어 있다. 즉 기존의 계층, 프로테옴 등과 같은 분자생물학적 연구와는 달리, 생체유체역학은 기계공학 분야가 핵심기술 중 하나이다.

그러나 현재 국내 생체유체역학 연구는 의과대학의 몇몇 임상의를 중심으로 진행되고 있으며, 공학자들의 참여나 관심은 지극히 저조하다. 이로 인하여 국내의 학제융합적 공동연구가 매우 부족하며, 향후 국내 생체유체역학 연구에 걸림돌로 작용할 수 있다.