

좌심실을 통한 새로운 관상동맥 우회수술법의 소개 및 이론적 해석

심은보* · 고흥종* · 선 경**

1. 서론

관상동맥 질환의 치료를 위한 지금까지의 수술방법은 크게 보아서 약물치료, 풍선확장술과 스텐트시술 같은 PTCA(Percutaneous transluminal coronary angioplasty), 외과적 수술법의 세가지 부류로 나눌 수 있다. 이 중에서 외과적 수술법은 가장 중증의 환자에게 일반적으로 시행되며 대동맥-관상동맥 우회술이 가장 흔히 시술 되고 있다. 그러나 이러한 관상동맥 시술을 받은 환자들의 상당수가 다시 혈관이 좁아지는 재협착 등과 같은 부작용을 겪게 되며 이를 해결하고자 하는 많은 시도들이 있어 왔다. 최근 들어 좌심실을 통한 새로운 관상동맥 우회 수술법이 개발되었고 현재 이에 대한 관심이 점점증하고 있다. 이 방법은 Percardia INC.에 의해서 개발되어 많은 동물실험을 거쳐 현재 인체임상실험 직전 단계에 있다.

본 연구는 이러한 새로운 수술법에 대한 소개 및 이론적 방법을 이용한 공학적 분석을 시도하였다. 이를 위하여 관상동맥 순환계에 대한 lumped parameter 모델을 구현하였으며, 최적의 shunt설계를 위한 parametric study를 수행하였다.

2. 본론

2.1 계산모델

Percardia INC.에 의해 제안된 새로운 관상동맥 수술과 관련된 시스템은 크게 세가지 부류로 나눌 수 있다. 즉 좌심실과 관상동맥을 연결하는 shunt system인 VSTENT™(Fig. 1), 외과의사로 하여금 좌심실 근육층을 관통하여 관상동맥에 shunt를 부착하기 위한

VCAB™(Fig. 2), 그리고 막힌 관상동맥 부분을 찾기 위한 VPASS™으로 나눌 수 있다. 여기에서는 주로 VSTENT™와 관련된 원리 및 이에 관한 공학적 분석⁽¹⁾을 수행하였는데, 그 개략도가 Fig. 1에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 좌심실로부터 직접 막힌 관상동맥 이후로 혈류를 유도하고 있으며 이를 위하여 shunt가 설치되어 있다.

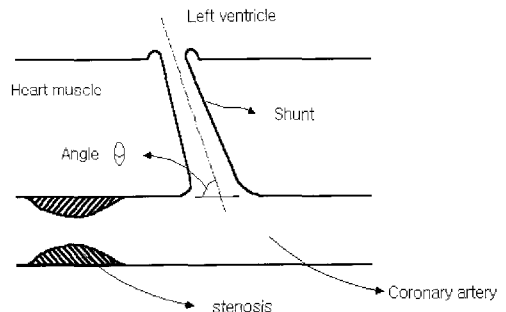


Fig. 1 Schematic of VSTENT™ implant

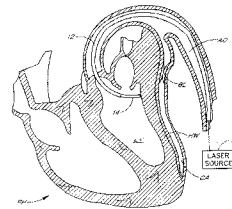


Fig. 2 Schematic of VSTENT™ surgical delivery system

Fig. 3은 Fig. 1에 나타난 VSTENT™ implant의 효과 및 최적의 설계변수를 구하기 위한 이론적 방법에 대한 개략도이며, lumped parameter model에 기반을 두고 있다. 즉 여기에서는 인체의 전체 심혈관계 모델⁽²⁾에 관상순환계를 삽입하였으며, 좌심실과 관상동맥 사이의 shunt는 유동 저항체로서 근사하였다.

* 금오공과대학교 기계공학부

** 고려대 의대 흉부외과

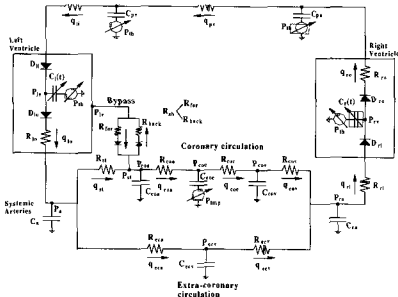


Fig. 3 Lumped parameter model of coronary circulation

그림에서 나타난 저항, capacitor, diode 등의 전기회로적 요소들로 이루어진 시스템에 대하여 역학적 법칙을 적용하면 각 노드에서의 압력 및 저항을 따라서 흐르는 유량을 구할 수 있다.

2.2 계산결과 및 검토

Fig. 4는 관상동맥이 완전히 막혀있는 경우를 상정하여 계산한 유량의 변화 패턴으로서 동물실험 결과와 잘 일치하고 있다.

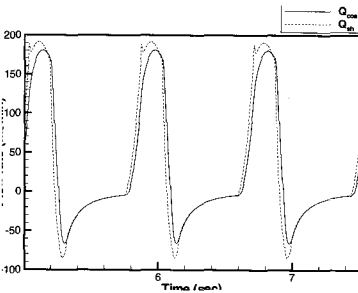


Fig. 4 The shunt flow rate, Q_{sh} , and the coronary artery flow rate, Q_{coa} , as a function of time.

그림에서 보듯이 심장의 수축기에는 좌심실의 고압으로 인하여 좌심실에서 관상동맥으로 많은 혈류가 밀려오며, 반대로 이완기에는 좌심실의 저압으로 인하여 역류가 발생한다. 즉 관상동맥으로 흐르는 혈류를 늘리기 위해서는 이와 같은 역류를 감소시킬 수 있는 방법이 필요하게 된다. 이와 같은 목적을 위하여 Fig. 1에서 보듯이 taper가 있는 Shunt가 제안되었으며, 이에 대한 이론적 연구 결과는 Fig. 5에 나타나 있다. 이 경우 정방향의 경우 shunt저항(R_{for})과 역류시 shunt저항(R_{back})가 다르며, 이의 비가 하나의 중요한 설계변수가 된다. 그림에서 보듯이 역류시 저항이 커질수록 net

flow rate는 늘어난다. 그러나 그 경향은 관상동맥의 막힘 정도(stenosis의 저항)에 따라서 다소 변한다. 완전히 막힌 관상동맥 환자의 경우 R_{back}/R_{for} 가 변하더라도 net flow rate는 거의 변함이 없는 반면, 관상동맥의 막힘정도가 미약할수록 R_{back}/R_{for} 가 증가함에 따라서 net flow rate가 큰 폭으로 증가한다.

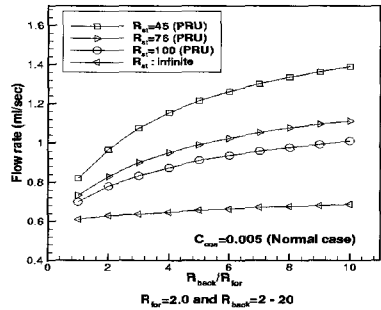


Fig. 5 Flow rate according to resistance ratio and stenosis resistance.

3. 결론

본 연구에서는 좌심실로부터 직접 막힌 관상동맥까지 피를 공급하는 새로운 관상동맥 수술기법에 관한 공학적 분석을 시도하였다. 이의 이론적 분석을 위하여 관상순환계에 대한 lumped parameter model을 구현하였으며, 이를 통하여 다양한 parametric study를 수행하였다. 계산결과를 살펴보면 심장의 수축 및 이완기에 shunt를 통한 정방향 및 역방향의 혈류를 발견할 수 있었다. 이때 net flow rate는 R_{back}/R_{for} 에 따라서 변함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Shim, EB, Heldt, T, Mark, RG, Kamm, RD, "Numerical analysis of the blood flow in stenosed coronary artery using multi-scale simulation model," IEEE Computers in Cardiology, Vol. 27, pp. 219-222, 2000.
- (2) Heldt, T, Shim, EB, Mark, RG, Kamm, RD, "Computational model of cardiovascular function during orthostatic stress," IEEE Computers in Cardiology, Vol. 27, pp. 777-780, 2000.