

복부 대동맥류(AAA) 치료를 위한 스텐트 삽입 유한 요소 해석

장일광* · 김재형* · 김현규** · 장용훈*

Finite element analysis of endovascular stent grafting for Abdominal Aortic Aneurysm

Ilkwang Jang*, Jae Hyung Kim*, Hyun-Gyu Kim**, Yong Hoon Jang*

Abstract : A finite element analysis is performed to investigate an endovascular stent grafting for the treatment of abdominal aortic aneurysm (AAA), which is usually required to restrain blood flows to the defected region through the reinforcement of stent. The stent grafting technique is controlled by the stent location and the corresponding contact status. In order to construct a robust numerical model, CT images of the abdominal aorta should carefully be secured and reprocessed for the contact analysis. The abdominal aorta is assumed to be hyperelastic material and a specific contact algorithm such as the augmented Lagrangian method is developed. Through the investigation of contact pressure and deformation, a clinically successful example of stent grafting is suggested.

1. 서 론

최근 혈관의 악화로 복부나 흉부의 대동맥이 풍선처럼 부풀어 오르는 동맥류 발생이 급증하고 있다. 이러한 현상은 혈관 직경이 계속 증가하여 동맥류가 파열되는 경우 사망을 야기시킨다. 이러한 동맥류는 복부 대동맥, 신동맥, 뇌동맥 등에서 자주 발생하고 있고 특히 뇌동맥을 제외하고 가장 빈번하게 발생하는 부위가 복부 대동맥이다.

복부 대동맥류는 복부 대동맥의 혈관 외막(Tunica Adventitia)과 혈관 내막(Tunica Intima)의 팽창으로 인해 혈관 중간막(Tunica Media)의 약화가 진행되고 혈액이 유입되어 형성, 성장하게 된다.

복부 대동맥류가 계속 성장하게 되면 개복수술 또는 혈관내 시술을 통해 치료할 수 있다. 혈관이 크게 파열된 경우는 개복수술을 통한 치료를 수행하지만 이는 입원기간이 길고, 환자의 회복이나 수술에 따르는 합병증들이 수반될 수 있다. 이러한 단점을 보완할 수 있도록 스텐트-그라프트 시술법(endovascular stent grafting)이 개발되었다. 스텐트-그라프트 시술은 사타

구니 혈관만을 작게 절개하여 스텐트 기구를 혈관 안으로 삽입 후 대동맥류 발생 위치까지 이동시키고 설치하여 대동맥류가 혈압에 노출되지 않도록 차단하는 시술이다.

동맥류가 성장함에 따라 혈관이 약화될 수 있고 혈압의 영향에 의해 혈관의 파열이 발생할 수 있고 복부 대동맥의 파열은 높은 확률로 사망을 일으키므로 이를 치료하는 시술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 복부 대동맥류에 대하여 대동맥류에 의한 유동 특성의 전산유체해석 연구(1), 스텐트 삽입 후의 유동 특성의 전산유체해석 연구(2) 그리고 스텐트 자체의 구조역학에 대한 연구(3) 등이 이루어져 왔다. 그러나 혈관 내부의 스텐트 삽입 시술 성공 여부를 예측할 수 있는 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 복부 대동맥류의 스텐트-그라프트 삽입 상태에 대한 초탄성-접촉 유한요소해석을 수행하였다.

2. 본 론

스텐트-그라프트 삽입술의 유한요소해석을 위하여 혈관 및 스텐트의 변형 및 접촉해석을 수행할 수 있는 수치해석 기법을 정립하였다. 초탄성 재료의 대변형

* 연세대학교 기계공학부

** 서울과학기술대학교 기계공학과

및 접촉형상의 수치해석 기법은 updated Lagrangian 방법 구성과 Mooney-Rivlin 재료의 유한요소 수식화를 통하여 개발되었다. 개발된 알고리즘에 실제 스텐트-그라프트 시술 사례를 적용하여 스텐트 삽입 후의 응력 분포를 분석하고 기존 구조해석 프로그램 ABAQUS의 결과와 동일함을 확인하였다.

2.1. 유한요소해석 모델링

스텐트-그라프트 시술에서의 혈관과 스텐트 간의 접촉 상호작용을 고려하기 위해서는 구조적 접촉적합성을 확보하여야 한다. 이를 위하여 복부 대동맥 모델의 센터라인을 정의하고 이에 따라 스텐트 삽입 위치를 배치하고 국부좌표계에 따라 좌표를 설정하여 그림 1과 같이 3차원 유한요소해석을 위한 모델을 구축하였다.

2.2 초탄성-접촉 유한요소해석

초탄성-접촉 유한요소해석을 수행하기 위하여 구축된 3차원 모델을 954,828개의 유한요소로 분할하였다. 또한 삽입된 스텐트의 전개방식은 그림 2와 같이 실제 시술과 동일하게 자가 확장(self-expanding) 방식으로 모사하여 스텐트의 확장에 따른 접촉 상태를 순차적으로 확인할 수 있도록 하였다.

3. 결론

본 연구에서는 스텐트-그라프트 시술에 대한 접촉 유한요소해석을 위하여 수치해석 알고리즘을 개발하고 기존 구조해석 프로그램과 비교하여 개발된 알고리즘

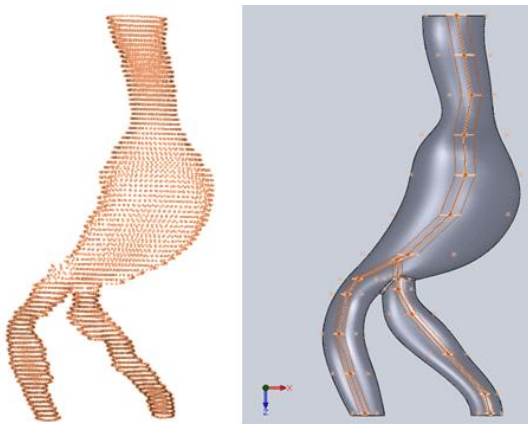


Fig. 1 3D model for finite element method

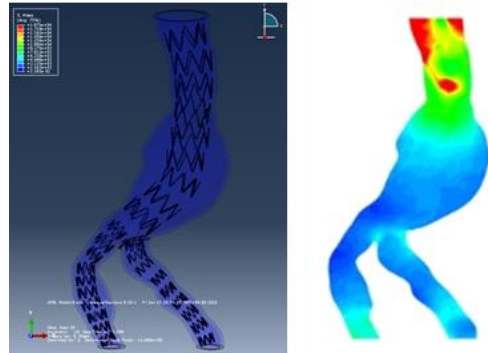


Fig. 2 Results of finite element method after self-expanding

을 검증하였다. 또한 실제 시술 사례에 대한 접촉 유한요소해석을 수행하여 스텐트 삽입에 따른 응력 및 접촉응력의 분포를 확인하였다.

후 기

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R0101-15-0171, 다중의료영상을 활용한 3차원 조정밀 시뮬레이션 기반 심·혈관 질환 진단-치료지원 통합소프트웨어 시스템 개발)

참고 문헌

- (1) 모정하, 박상규, 2003, “복부대동맥류의 직경비에 따른 정상유동 및 맥동유동에 관한 수치적 연구,” 대한기계학회논문집 B권 제27권 제7호, pp. 920-928.
- (2) Molony, David S., et al., 2009, “Fluid-structure interaction of a patient-specific abdominal aortic aneurysm treated with an endovascular stent-graft,” BioMedical Engineering OnLine, Vol. 8, No. 1, pp. 1-12.
- (3) Kleinstreuer, C., et al. “Computational mechanics of Nitinol stent grafts.” Journal of biomechanics, Vol. 41, No. 11, pp. 2370-2378.