

4차원 유동 자기공명영상을 이용한 서울아산병원의 인체내 유동 연구

김남국¹, 양동현¹, 김국배¹, 허형규², 하호진³, 이상준²

A Research on Flows in human body using 4D flow MRI@AMC

Namkug Kim¹, Dong-hyun Yang¹, Guk-bae Kim¹, Hyunggyu Hu², Hojin Ha³, Sang-Joon Lee²

Abstract : To explore whether 4D flow (phase contrast) MRI can detect various kinds of flow in human body including aorta flow depending on valve deformation, carotid artery flow, cerebrospinal fluid flow, dampening of blood flow velocity across the carotid siphon, and flow quantification. Particle image velocimetry and computational flow dynamics could be used for validation of in-vitro experiment of 4D flow MRI. In addition, we performed various kinds of in-vitro experiments in Asan Medical Center, which could be used in real clinical application.

1. 서 론

4차원 유동 자기공명영상은 기존의 자기공명영상 장치의 한계에 의해서 적용되지 못하다가, 최근에 하드웨어 등의 발달로 인하여 적극적으로 도입되어서, 곧 임상 진입이 될 것으로 예측된다. 예를 들어 작년 북미 방사선 학회에서는 Hot Topic 세션에서 4D flow MRI가 선정되었다. 이제는 공학자들만 연구하는 것이 아니라, 실제 영상의학과 및 심장내과 의사들도 관심이 가져야 되는 것으로 가고 있다. 올해 ISMRM 학회에서는 특히 주요 MRI 장비회사인 GE, Siemens, Philips 등이 4D Flow MRI에 대한 회사들의 지원을 특별 발표를 하였고, 특히 GE는 Artesy라는 회사와 Siemens는 독자적인 분석 SW를 개발하고 올 하반기까지 release한다고 한다. 또한 4D flow MRI와 같이 필수적으로 필요한 compressive sensing이 Siemens에서 공식적으로 올 ISMRM에서 release되어서 곧 4D flow MRI에 사용될 것으로 예측된다. 그러면 임상적용에 가장 난제인 30분이 넘는 스캔타임을 획기적으로 줄여서

실제 본격적인 임상적용이 될 것으로 예측된다.

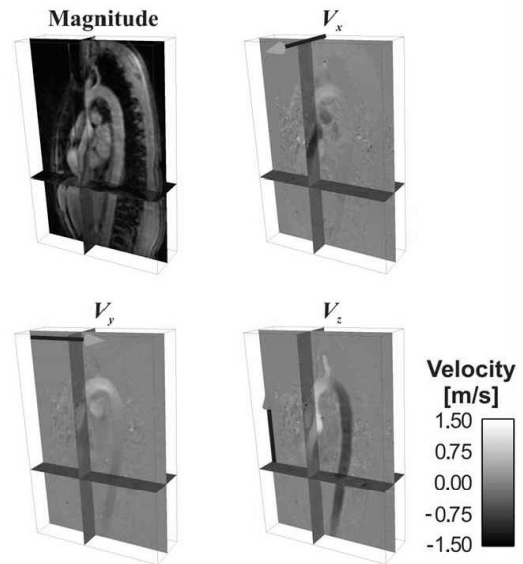


Fig. 1 Example of 4D flow MRI

이런 4D flow MRI를 실제로 적용할 때 우리가 잘 모르는 인체내 유동현상을 정밀하게 검증하기 위하여, 3D 프린팅을 이용하여 환자의 의료영상 기반으로 정밀 in-vitro 모델을 만들어서 유동 실험을 할수 있어,

1 서울아산병원/울산의대 융합의학과/영상의학과

2 포항공대 기계공학과

3 Linköping University

좀더 정확하게 할수 있다. 또한, 최근 injection modeling 기법을 이용하여 실제 혈관의 물성을 가지는 환자맞춤형 혈관을 만들어서 적용할수 있다.

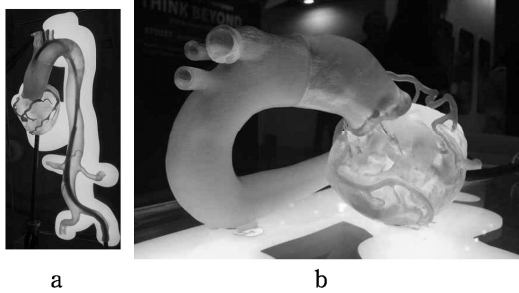


Fig. 2 3D printed aorta model.

2. 시스템 셋업 및 결과

2.1. 유동 제어 시스템 셋업

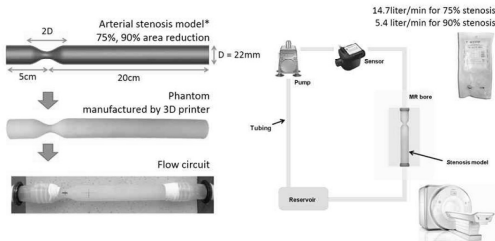


Fig. 3 in-vitro setup of 4D flow MRI

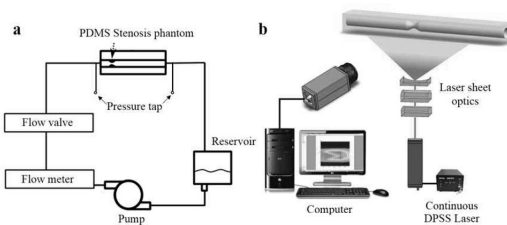


Fig. 4 in-vitro setup of PIV

유동 제어 시스템은 Fig. 3, 4와 같이 in-vitro로 setup 하여 각각 MRI 및 PIV로 적용할수 있다. 각 결과를 2D flow MRI와 비교하거나, 유동계, PIV, CFD1 등과도 비교했다(1).

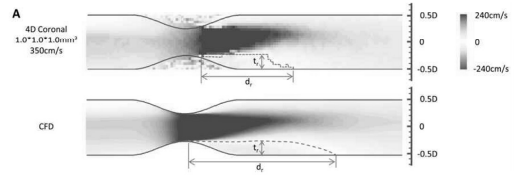


Fig 5. CFD와 4D Flow in-vitro MRI 실험 결과 비교

그림 5는 CFD와 4D flow MRI와의 비교를 한 것이다. 이를 이용하여 다양한 aorta 유동에 대한 연구를 하였다. 특히 판막 기형으로 인한 유동이 Helical Flow의 시계, 반시계 방향을 일으킨다는 연구도 하였다(2).

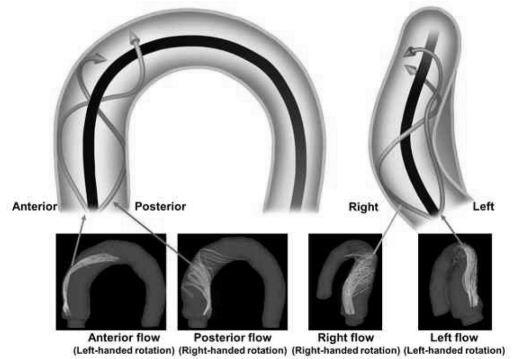


Fig 6. Anterior, Left 방향과 Posterior, Right 방향이 각각 왼쪽, 오른쪽 Helical Flow를 생성함

3. 결론

본 연구에서는 4D flow MRI의 인체내 유동을 측정할수 있는 성능을 비교하기 위한, in-vitro setup 및 다양한 2D flow MRI, 유동계, PIV, CFD 등과 비교하여, 한계와 성능을 평가하고, 또 이를 임상에 적용하여 다양한 신체내 유동을 평가하는 것에 대해 연구하였다. Compressive sensing 등의 빠른 MRI 시퀀스가 개발되면 실제 임상에 쓰일수 있는 것이 멀지 않을 것이라 사료된다.

참고 문헌

- (1) Kweon J, et al., Euro Radiol, 2015
- (2) Ha H1, et al, Sci Rep. 2016 Aug 26;6:32316