

# 초음파 SIV 기법을 이용한 대복재정맥 내부 나선유동의 *in vivo* 측정

박준홍\* · 김정주\* · 염은섭\*\* · 이상준\*

## *In vivo* measurement of helical flows in great saphenous vein using ultrasound speckle image velocimetry

Jun Hong Park\*, Jeong Ju Kim\*, Eunseop Yeom\*\*, Sang Joon Lee\*

**Abstract** : The dysfunction of venous valve and induced secondary abnormal flow result in venous diseases. Thus, detailed analysis of venous valvular flow is important. However, most previous studies have focused on venous perivalvular flow based on qualitative analyses. In this study, we used the ultrasound speckle image velocimetry (SIV) technique to measure the valvular flows quantitatively. The flow structures were obtained by the proposed SIV technique for an *in vitro* model. Then, they were compared with those obtained by numerical simulation and the color Doppler method to validate its measurement accuracy. Blood flow in the human great saphenous vein was then measured with varying distances from the valve and an exercise condition. The valvular flows were analyzed with the dimensionless index, helical intensity. The results obtained by the proposed method agreed well with those obtained by the simulation and the color Doppler. The hemodynamic characteristics of valvular flow were analyzed with the SIV method and the possibility of SIV application to quantitative diagnosis of venous valvular diseases were demonstrated.

### 1. 서 론

판막의 기능이상은 판막 질환과 매우 밀접한 관련이 있다.<sup>(1)</sup> 판막 질환은 판막의 이상과 2차 비정상 유동에 의해 발생한다. 그러므로 생물학, 의학적 관점에서 판막과 판막유동의 분석이 중요하다. 주로 초음파를 이용하여, 판막의 메커니즘과 판막 유동에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 대부분 정성적인 연구에 치우쳐져 있어 판막 유동 특성 분석에 한계점을 갖는다. 앞선 연구들의 한계점을 해결하기 위해서, Echo PIV, VFM, SIV 기법이 개발되어 적용되었다. 하지만 이 기법들도 초음파 조영제를 사용해야 하며, 이를 이용하여 2차원에 한정된 유동분석만 가능한 수준이다.

본 연구에서는 초음파 스펙클 영상속도계(SIV) 기법<sup>(2)</sup>으로 나선유동의 횡단면, 종단면에서 속도벡터를 획득하여 이를 이용하여 유동특성을 분석하였다. 본 연

구에서 제안한 초음파 SIV 측정 기법을 검증하기 위해 *in vitro* 모델에서 나선유동을 측정하여, 그 결과를 수치해석 및 도플러 초음파 결과와 비교하여 검증하였다. 기법의 검증 이후, 사람의 허벅지 대복재정맥의 판막 후방에 형성되는 나선유동에 적용하여, 속도 정보를 얻고 이를 이용하여 유동특성을 분석하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1. 초음파 SIV 측정 기법의 검증

##### 2.1.1. SIV 측정기법 적용을 위한 Power와 gain 값의 최적화

Power와 gain을 조절한 합성 입자 이미지에 SIV 기법을 적용하여 계산한 속도 성분의 정확도와 normalized correlation peak area at half maximum

\* 포항공과대학교 기계공학과

\*\* 부산대학교 기계공학과

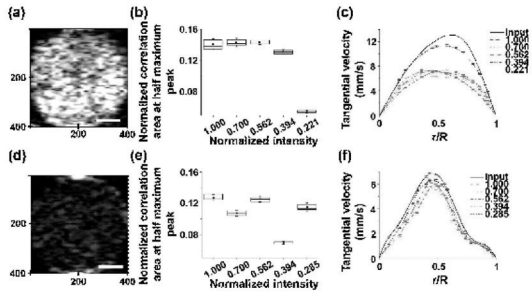


Fig. 1 B-mode images of working fluids (a, d). Normalized correlation area at the half maximum peak (b, e). Comparison of the tangential velocity profiles (c, f).

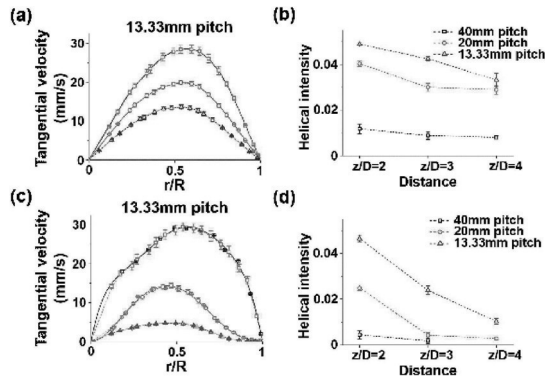


Fig. 2 Comparison of *in vitro* tangential velocity (a, c). Variation in *in vitro* helical intensity (b, d)

peak의 상관관계를 비교하여, 서로가 반비례 관계에 있음을 확인하였다.<sup>(3)</sup> *In vitro* 모델에서의 조영제 용액과 적혈구 용액을 각각 흘려주면서 power와 gain을 조절하여 획득한 SIV 속도 벡터의 정확도가 가장 높게 나타나는 최적의 B-mode 이미지 intensity를 확인하였다. (Fig. 1)

### 2.1.2. *In vitro* 모델에의 적용

*In vitro* 모델에서 작동유체의 조건에 따라 SIV 기법과 수치해석결과, 컬러 도플러 측정결과와 비교하여 일치함을 확인하였으며, helical intensity를 계산하여 helical inserter로 부터의 거리와 pitch가 증가할수록 그 값이 감소함을 확인하였다. (Fig. 2)

## 2.2. 초음파 SIV 측정 기법의 적용

### 2.1.1. *In vivo* 모델에의 적용

사람의 대복재정맥에서의 운동 전 후 조건에 따른

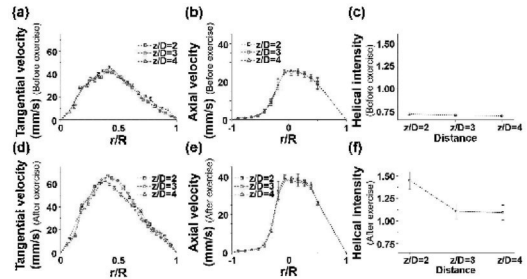


Fig. 3 Comparison of the *in vivo* tangential (a, d) and axial velocity profile (b, e). Variation in *in vivo* helical intensity depending on the exercise condition (c, f).

유동특성을 SIV 측정 기법을 통해 확인한 결과, 운동을 하면서 tangential, axial velocity가 전반적으로 증가하였다. 이에 따라 helical intensity의 값도 증가하였으며, 운동 후 유동에서는 판막과의 거리가 증가할수록 그 값이 감소하는 결과를 확인하였다.

## 3. 결론

본 연구를 통해서 초음파 SIV 기법으로 나선유동의 횡단면과 종단면의 유동 정보를 획득하여 나선유동의 3차원 특성을 측정할 수 있음을 확인하였다. 나선유동의 특성에 영향을 미치는 인자들과의 상관관계를 확인하였다. 또한 본 연구를 통해, 제한한 초음파 SIV 측정 기법을 정맥 판막 질환의 정량적인 진단에 활용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

## 후 기

### 참고 문헌

- (1) Bergan J. J., et. al., 2006, "Chronic venous disease", N. Engl. J. Med., pp. 488~498.
- (2) Nam, K. H., et al., 2012, "Velocity field measurements of valvular blood flow in a human superficial vein using high-frequency ultrasound speckle image velocimetry", Int J Cardiovasc Imaging, pp. 67~77.
- (3) Hart D. P., 2000, "PIV error correction", Exp. Fluids, pp. 13~22.