

Ultrasound Time Domain Correlation을 이용한 가상 혈류 속도 측정

김 의 준, 유 석 양
성균관대학교 물리학과 음향학연구소

Artificial blood flow measurement using Ultrasound Time Domain Correlation

Eui Jun Kim, Suk Wang Yoon
Acoustics Research Laboratory, Dept. of Physics, Sung Kyun Kwan University

요 약

기존의 혈류 속도 측정 방법으로는 인체내에 반사 물질을 투입하는 Fick technique과 electromagnetic flowmeter등을 이용한 invasive method와 Ultrasonic Doppler method에 의한 noninvasive method가 이용되고 있다. 이 방법들은 혈관의 모양이나 혈관에서의 flow velocity profile등에 관한 정확한 정보를 얻을 수 없다. 이와같은 문제점들을 해결하기 위한 혈류속도 측정 방법으로 실험실 조건하에서 인체에 서와 유사한 혈류속도 측정 장치를 제작하여, vessel의 표본 제작내의 산란체로 부터 후방산란되는 초음파 신호의 correlation을 이용한 Ultrasound Time Domain Correlation (UTDC) technique을 연구 하였다. UTDC technique을 이용하여 유속을 측정한 결과, 12% 이하의 정밀도로 평균 유체 유속이 측정되었고, Ultrasonic Doppler method에서 측정할 수 없는 혈관의 모양과 혈관의 각 위치에서의 유속 및 혈관 벽에 이동질의 존재여부를 명확히 판단할 수 있었다.

I. 서 론

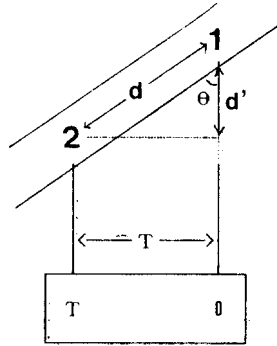
의학에 있어서 음향을 이용한 인체의 진단은 1761년 오스트리아의 물리학자 L. Auenbrugger가 auscultation 진단기법을 도입한 이래 1819년 프랑스의 R. T. H. Laennec의 청진기의 발명으로 지난 200여년동안 주된 의료진단의 수단으로 활용되고 있다.¹⁾ 그러나 본격적으로 의학에 초음파가 도입되기 시작한 것은 약 30년 정도에 불과하다. 또한 그간의 임상에서 초음파를 의학분야에 사용하는 데에는 구체적인 부작용의 문제점들은 발견되고 있지는 않지만 초음파의 인체에 대한 안전도^{2,3,4)}에 관한 확실한 자료 및 연구 결과가 뒷받침 되어야 하며, 최근들어 이에 대한 많은 논란 및 연구가 행해지고 있다. 그러나 최근까지도 의학에서 초음파를 이용하는 주 분야는 태아의 형태 및 건강상태를 진단하는 전파적인 산과분야이고, 의학적 치료 수단

으로서의 초음파의 활용은 매우 미비한 단계이다. 다만 충격파를 이용한 담석, 신장 결석등의 제거가 개발된 이후 현대에 이르고 있는 실정이며, 직접 초음파를 치료의 수단으로 활용하는 방법은 아직 초보적인 단계이다. 인체내에 질병이 발생되면 이로 인해 열이 발생되고 인체는 이 열을 낮추기위해 혈액을 빨리 순환시키게 된다. 따라서 혈류속도의 변화를 측정함으로써 발병 여부를 판단할 수 있다. 기존의 혈류속도 측정에서 사용되는 방법은 인체에 산란체를 투입하는 Fick technique이나 electromagnetic flowmeter를 이용하는 방법이 사용되고 있으나, 이 방법들은 인체에 투입된 산란체에 의해 많은 부작용이 발생되고 있다. 한편, 이와같은 모든 방법들은 continuous wave를 이용한 Ultrasonic Doppler method에 바탕을 두고 있다. 그러나 기존의 연구결과에 의하면 Ultrasonic Doppler method를 이용할 경우 많은 오차와 또한 선행적인 정보를 요구하는 것을 알 수 있다.

인체내에 발생된 질병의 진단 및 치료를 목적으로 본 연구에서는 이상과 같은 기존의 혈류속도 측정 방법의 문제점들을 해결하고, 혈관의 직경이나 flow velocity profile등의 선행 정보 없이 혈관의 각 위치에서의 혈류속도 및 평균 체적 유속을 측정할 수 있는 초음파 펄스를 이용한 혈류속도 측정 방법^{5,6)}을 연구하였다.

II. 이 론

그림 1은 본 연구에서 사용된 Ultrasound Time Domain Correlation(UTDC) technique의 이론을 설명한다. 임의의 시간 $t = 0$ 에서 발생된 초음파 펄스는 n 의 위치에 있는 산란체로 부터 반사되어 돌아오게 된다. 이때의 transducer를 떠나 산란체로 부터 반사되어 transducer로 돌아오는 펄스의 왕복시간을 t_1 이라 하였고, 펄스 발생후기 T 초 후에 발생된 펄스는 n 에서 m 의 위치로 이동한 산란체로 부터 반사되어 돌아오게 된다. 이때의 왕복시간을 t_2



transducer

그림 1. Ultrasonic Time Domain Correlation technique을 이용한 유속 측정장치의 원리도.

라 하였다. 그리고 vessel을 따라 산란체가 이동한 거리를 d 라 하였고, 초음파 펄스의 진행 방향과 vessel의 속 방향과의 각도를 θ 라 하였다. 이와같은 기하학적 관계로부터 산란체가 ①의 위치에서 ②의 위치로 이동하는 동안 펄스의 진행속 방향으로의 이동거리는 $d' = (t_1 - t_2)c / 2$ 가 되고, 이때 산란체가 vessel을 따라 이동한 거리는 $d = d' / \cos\theta$ 로 기술된다. 이들로 부터 산란체가 vessel을 따라 진행하는 유속은

$$V_s = \frac{(t_1 - t_2)c}{2T \cos\theta}$$

를 만족한다. 여기서 c 는 초음파의 음속을 나타낸다.

그림 2는 vessel 내부의 초음파가 전달되는 체적용 표본체적으로 하고, 그 체적 내부의 산란체들로 부터 반사되는 후방산란 신호의 correlation을 나타낸다.

입의의 시각에서 입사된 펄스는 표본 체적 V_1 내의 산란체들로 부터 반사되어 transducer에 수신된다. 그 후방산란 신호는 E_1 이다. 표본 체적 V_1 내의 산란체들은 펄스 발생주기 T 초 후에 vessel의 속방향으로 이동하여 펄스 발생주기 T 초 후에 발생된 초음파에 의해 형성된 표본 체적 V_2 를 벗어나지만, 일부 산란체들은 표본 체적 V_2 를 벗어나지 못하고 다시 펄스를 반사시킨다. 이 후방산란신호는 E_2 이다 이때에 표본 체적 V_1 과 V_2 에 모두 포함된 산란체들은 동일한 반사신호를 발생하게되므로, 후방산란신호 E_1 과 E_2 의 correlation을 이용하여 유속을 측정할 수 있다. 그림 2의 후방산란신호 E_1 과 E_2 에서 peak a 와 a' 은 vessel의 벽면으로부터 반사된 신호이고, b 와 b' , c 와 c' , d 와 d' 그리고 e 와 e' 은 각각 동일한 산란체들로 부터 반사된 신호로써 시차는 각각 0.2, 0.24, 0.2, 0.2 μs 를 나타낸다.

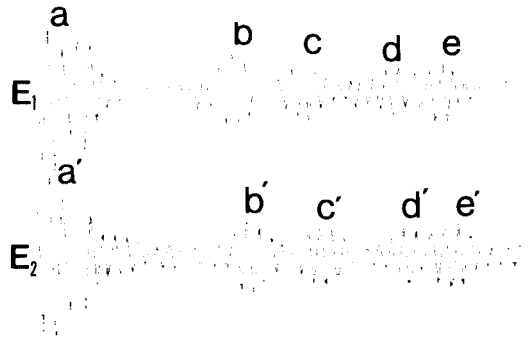
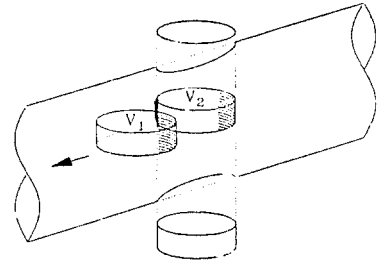


그림 2. 입의의 시각 $t = 0$ 와 펄스 발생주기 T 초 후인 ($t = T$ 에서 vessel 내부에 초음파가 전달되는 표본체적과 표본체적 내의산란체들로 부터 반사되는 후방산란 신호의 correlation.

III. 실험 장치 및 방법

인체를 흐르는 혈액은 심장의 pumping에 의해 맥동현상을 일으키며 인체를 순환한다. 본 연구에서는 이와 유사한 현상을 발생시키기 위해 peristaltic pump를 설치하여 vessel 내부의 유체가 맥동적으로 순환하도록 그림 3과 같이 실험 장치를 하였다. vessel은 동맥의 직경과 유사한 67 mm 내경의 tygon tube를 사용하였고, 산란체는 직경이 35 μm 인 molybdenum disulfide를 사용하였다. transducer는 초점 거리가 102 mm인 5MHz focused transducer를 사용하였으며, 초점은 vessel의 중심에 위치하도록 장치하였다. 그리고 vessel을 scanning 하기 위해 transducer에 vernier calliper가 장착된 지지대를 설치하고 0.3 mm씩 이동시키며 vessel을 scanning 하였다. function generator로 부터 발생된 전기신호는 focused transducer를 구동시켜 펄스를 발생시키고, 발생된 펄스는 vessel내의 산란체로 부터 반사

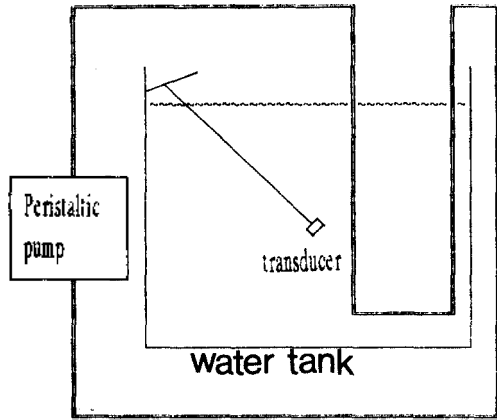


그림 3. 실험장치도 : peristaltic pump를 설치하여 vessel 내부의 유체를 순환시키므로써 인체에서 심장에 의해 혈액이 맥동적으로 순환되는 형태와 유사한 현상을 발생.

되어 transducer로 수신되며, 이 신호를 waveform processing 기능을 갖춘 digital storage oscilloscope (LeCroy 9400A)로 분석하였다. 본 연구에서는 transducer로부터 발생된 펄스의 진행 방향과 vessel 속 사이의 각도를 45°로 고정시켜 유속을 측정하였다.

IV. 실험결과

본 연구에서는 peristaltic pump를 사용하여 인체에서의 심장의 박동에 의한 혈류의 흐름과 유사하게 vessel 내의 유체를 순환시킴으로써, 혈류의 최대유속과 최소유속을 발생시켰다. 그림 4는 초음파 펄스의 입사각이 45°인 경우, vessel의 중심에서 측정된 1차원 유속의 profile로서 vessel내를 흐르는 최대유속과 최소유속의 측정결과를 나타내고 있다.

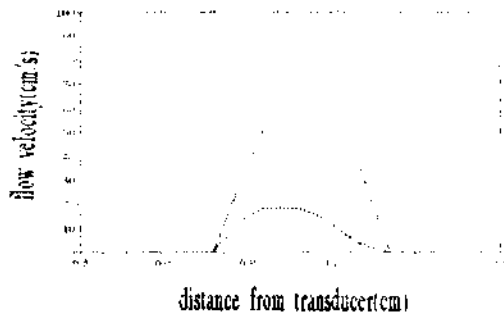


그림 4. 평균 체적유속이 605.7 ml/min이고 vessel에 대한 펄스의 입사각이 45°인 경우의 vessel의 중심에서의 일차원 flow velocity profile.
(— 최대유속, ---- 최소유속)

그림 5는 vessel을 통해 흐르는 유체를 scanning하여 측정된 유속의 최대치만을 3차원적으로 도시하였다. 그림에서 X축과 Y축은 vessel의 단면을 나타내고, Z축은 vessel 내부의 유체의 유속을 나타낸다.

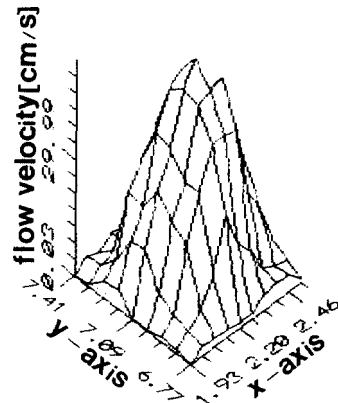
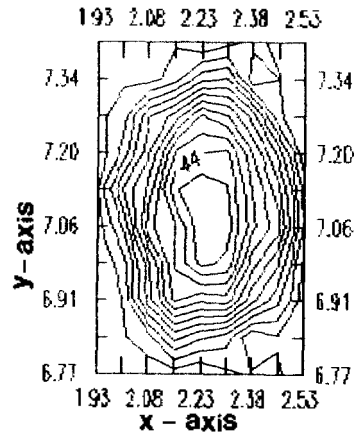


그림 5. 평균 체적유속이 605.7 ml/min인 경우, (a)vessel의 단면에서의 유속, (b)velocity profile.

그림 6은 평균 체적유속이 1864 ml/min인 경우, vessel내에 인위적으로 이물질(인)을 삽입한 경우의 3차원적 flow velocity profile을 나타내고 있다. 그림에서 이물질이 위치한 결정색으로 표시하였다.

표 1은 단위 시간당 pump를 통해 순환되는 유체의 체적을 기준으로 측정된 평균 체적유속과 Ultrasound Time Domain Correlation technique을 이용하여 측정된 결과를 나타낸다. Ultrasound Time Domain Correlation technique을 이용하여 측정된 평균 체적유속은 vessel을 동일한 면적으로 나누고, 각각의 면적에서 동일한 수의 측정자료를 평균하여 계산된 값이다.

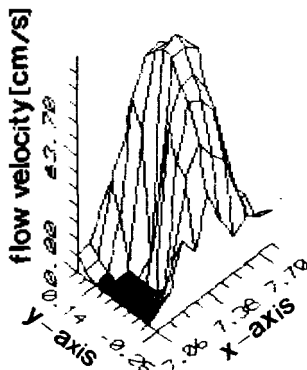
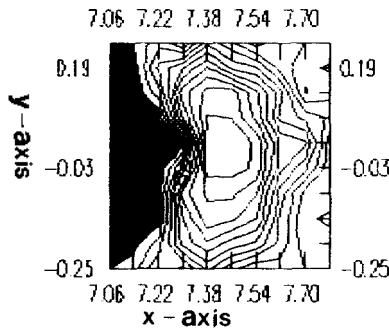


그림 6. 평균 체적유속이 1864.0 ml/min이고 vessel 내부에 이물질도써, butyl rubber를 인위적으로 삽입한 경우의, (a)vessel의 단면에서의 유속, (b)velocity profile.

표 1. Ultrasonic Time Domain Correlation technique에 의한 평균 체적유속(ml/min) 측정의 정확도.

기 준 치	측 정 치	오 차 (%)
1864.0	1647.8	11.6
605.7	534.2	11.8

V. 결 론

기존의 혈류속도 측정 방법으로는 인체내에 반사물질을 투입하는 invasive method와 Ultrasonic Doppler technique을 이용한 noninvasive method가 사용된다. 그러나 이 방법들은 인체에 투입된 반사물질이 완전히수되지 못할 경우 많은

부작용을 유발하게되고, 적용범위도 인체를 순환하고 있는 혈액의 평균 유속측정만이 가능하나 이 또한 많은 오차를 포함하는 것으로 알려지고 있다.⁵

본 연구에서는 이와같은 문제점들을 개선하여 측정의 정밀도를 높이고, 기존의 혈류속도 측정 방법에 의해 측정할 수 없었던 혈관의 각 측정지점에서의 혈류속도측정과 혈관의 직경, 그리고 혈관내벽의 이물질 존재여부를 측정함으로써 인체에 질병의 발생여부를 진단하기 위하여 Ultrasound Time Domain Correlation technique에 의한 혈류속도 측정 방법을 연구하였다. 연구결과, Ultrasonic Time Domain Correlation technique을 사용하여 혈류속도를 측정할 경우, Invasive method에 의한 측정에서 인체에 인위적으로 투입된 산란체에 의한 많은 발생 가능한 부작용을 배제시킬 수 있고 Ultrasonic Doppler method에 의한 측정 오차를 줄일 수 있게 되었다. 또한 Ultrasonic Doppler method에 의한 혈류속도 측정시 필요한, 혈관 직경이나 flow velocity profile등의 선행정보 없이도 12% 이하의 오차범위에서 체적 유속을 측정 할 수 있었고, 측정하고자 하는 혈관의 각 위치에서의 혈류속도, 혈관의 직경, 그리고 혈관내벽의 이물질 존재여부를 명확하게 판단할 수 있음을 확인 하였다.

VI. 참고 문헌

1. J.R.Cameron, J.G.Skofronick, *Medical Physics* (JOHN WILEY & SONS Inc, N.Y., 1978) Chap 12.
2. W. B. O'Brien, Jr. "Biological effects of ultrasound : rationale for the measurement of selected ultrasonic output quantities," *ECHOCARDIOGRAPHY*, 3, pp.165-179(1986).
3. W.B.O'Brien, "Biological Effects of Ultrasound : Rationale for the Measurement of Selected Ultrasonic Output Quantities," *ECHOCARDIOGRAPHY*, 3, pp.165-179(1986).
4. F.J.Fry, "Biological Effects of Ultrasound-A Review," *IEEE Ultrasonic Symposium Proceedings*, 67(4), pp.604-619(1979).
5. V. T. Suorsa and W. D. O'Brien, Jr. "Effects of ultrasonic on the accuracy of the blood flow measurement technique utilizing time domain correlation," *IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings*, pp.989-994(1988).
6. H.F.Routh, T.L.Pusateri, D.D.Waters, "Preliminary Theory into High Velocity Transverse Blood Flow Measurement," *IEEE Ultrasonic Symposium Proceedings*, pp.1523-1526(1990).