

초음파 프로브 소자 결함이 도플러 영상에 미치는 영향 (소자 결함 증가에 따른 영향을 중심으로)

- Influence to the Doppler Images by the Defects of Piezoelectric Elements of the Probe of Medical Ultrasonic Scanners
(Focusing on the Impact of an Increase in the Defects of Piezoelectric Elements) -

제주한라대학교 방사선과

이경성

— 국문초록 —

본 연구는 초음파 진단 장치에서 초음파 프로브 소자의 결함이 도플러 영상에 미치는 영향을 평가한 것이다. 초음파 프로브 소자결함의 여러 유형 중에서 동일한 방식으로 단선된 초음파 프로브 소자 수를 변화하면서, 도플러 모드 영상에 미치는 영향을 실험으로 살펴보았다.

실험 결과는 첫째, 소자 결함에 따른 도플러 속도는 도플러 소자군 부분에서 급격히 변화하고 있으며, 혈류 속도에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 둘째, 도플러 소자군 주변에서 결함 있을 때 소자의 변화가 높은 쪽 소자의 결함에 의한 효과가 작은 것을 알 수 있었다. 셋째, 팬텀의 혈류 속도가 높을수록 도플러 속도 스펙트럼의 폭은 커지지만 크기는 감소하고 있다. 그리고 결함이 증가할수록 도플러 속도와 영상의 밝기의 분산이 더 커지는 것으로 나타났다. 이는 프로브 소자의 결함이 증가하면 전체적으로 시간 평균 도플러 속도 프로파일(TADV)의 크기가 감소하며 고주파수 영역에서 더 빨리 떨어지는 것으로 알 수 있다.

중심 단어: 초음파 프로브, 초음파 소자, 도플러 영상, 시간 평균 도플러 속도 프로파일(TADV)

I. 서 론

초음파 도플러 영상을 이용한 혈관 초음파 검사의 빈도가 늘고 있다. 서구화된 음식 섭취와 복잡한 현대 생활이 주는 스트레스로 인해 심혈관계 질환이 증가하고 있기 때문이다. 혈관 초음파 검사는 혈관의 형태를 관찰하는 B-모

드 영상과 혈류 정보를 평가하는 도플러 영상을 이용한다.

영상의학에서 영상의 화질은 그 무엇보다도 중요하다. 초음파 도플러 검사에 있어서도 화질은 검사결과에 많은 영향을 미친다. 초음파 진단기에서 화질에 영향을 미치는 중요한 인자로 초음파 프로브를 들 수 있다. Table1-1은 초음파 장비의 결함 유형을 조사한 것이다¹⁾. 발생된 결함의 유형 중 프로브가 차지하는 비중이 초음파 시스템에서 가장 크게 나타나 있다. 초음파 프로브는 초음파 장비 구성 부분에서 움직임이 많아 사고발생 확률이 높다. 임상에서 프로브를 떨어뜨린다거나, 연결 코드가 튀어나는 등 외부 환경이나 취급 부주의로 인해 물리적인 손상이 발생하는 일을 흔히 볼 수 있다. 그러므로 초음파 검사에 있어서 프로브에 관심을 가지고 지속적인 프로브 QA(Quality Assurance)는 중요하다. 프로브가 화질에 차지

* 접수일(2014년 4월 21일), 1차 심사일(2014년 5월 12일), 2차 심사일(2014년 6월 9일), 확정일(2014년 6월 16일)

* 본 논문은 제주대학교대학원 박사학위 논문 중 일부내용을 발췌 수정한 것입니다.(2008)

교신저자: 이경성, (690-708) 제주도 한라대학교38
제주한라대학교 방사선과
Tel : 064-741-7626~7
E-mail : lekusu@hanmail.net

하는 비중이 크면서도 결함 발생 빈도가 높기 때문이다²⁾.

본 연구는 초음파 진단 장치에서 핵심 부분인 초음파 프로브 소자의 결함이 도플러 영상에 미치는 영향을 평가하고자 한 것이다. 초음파 프로브 소자결함 유형의 경우 수는 다양하기 때문에 일률적으로 말할 수 없다. 결함이 일어날 수 있는 여러 유형 중에서 동일한 방식으로 단선된 초음파 프로브 소자 수를 변화하면서, 도플러 모드 영상에 미치는 영향을 평가하였다^{3),4)}. 이러한 여러 형태의 소자 결함 연구가 진행된다면, 연구의 내용은 향후 초음파 프로브에 기초한 초음파 QA를 위한 실용적인 도구로 활용될 수 있을 것이 때문이다.

Table 1. Deficiencies identified in ultrasonic scanners, showing that probe related problems ranked as the 2nd most common defects(Moore 2003).

Deficiency	Proportion (%)
Image quality	26.5
Probe related problems	20.5
- Cracks	
- Air intrusion	
- Connector malfunction	
- Scan line orientation	
- No image	
- Cut in the cable	
Image display and hard copy	17.9
- Gray-scale adjustment	
- Printer non-operational	
- Raster line appearance	
- Frame cut-off	
- Geometric distortion	
- Flickering display	
Image uniformity	11.1
Physical & visual inspection	6.9
- Buttons not lit	
- Sticky tracking ball	
- Malfunction in toggle switch	
- Loose parts	
- Dusty	
Penetration	6.8
Software (presets)	7.7
Doppler related	2.6
Total	100.0

II. 실험 내용 및 방법

1. 실험장비

1) 도플러 QA 팬텀 : 본 실험에서는 QA용 도플러 팬텀 (Gammex 1425A LE Doppler Flow System, GAMMEX Inc., Middleton, WI 53562-0327, USA, Figure 1)을 가지고 다양한 형태의 혈류(모드 및 속도)를 실험적으로 구현하였다.

2) 초음파 영상 장비 : 도플러 QA 팬텀에 대한 도플러 영상은 초음파 진단기(SA-9900 PRIME, Medison, Korea) 및 초음파 프로브(5-12 MHz Linear Probe)를 사용하여 얻었다.

3) 신호 차단 패널 : 본 연구에서는 프로브 소자의 전기 신호를 차단할 수 있는 특수한 패널을 제작하였다 (Figure 2). 이를 가지고 초음파 프로브 압전 소자의 결함은 실험적으로 소자를 전기적으로 단선하여 구현하였다. 신호 차단 패널은 초음파 장비 본체에서 소자로 가는 신호를 중간에서 단선하여 소자를 통한 초음파 송수신을 불가능하도록 한 것이다.

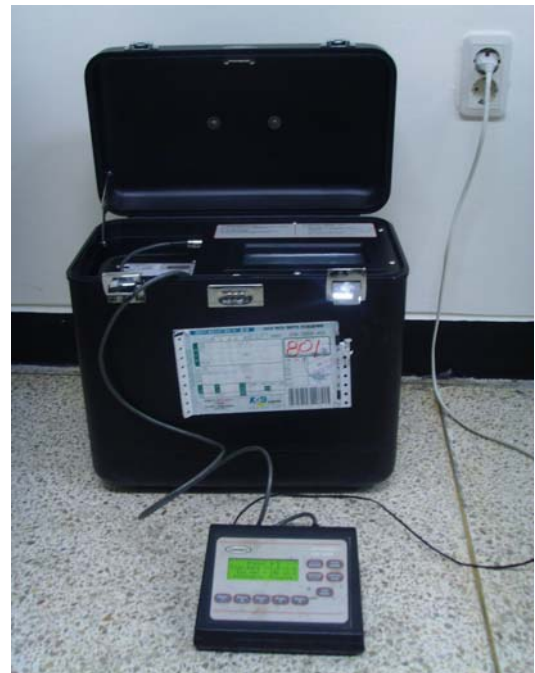


Figure 1. Doppler QA Flow phantom used in this experiment (Gammex 1425A LE Doppler Flow System, GAMMEX Inc., Middleton, WI 53562-0327, USA).



Figure 2. An experimental panel for electrically disconnecting the piezoelectric elements of the ultrasonic probe.

2. 실험 방법

프로브 소자의 결함의 수와 위치가 도플러 영상에 미치는 효과를 확인해 보기 위해 프로브 소자를 왼쪽 끝 소자(번호 0번)부터 순차적으로 단선하여 오른쪽 끝 소자(191번)까지 모두 단선 될 때까지 도플러 영상을 얻었다(Figure 3). 반대로 프로브 소자 191번에서 시작하여 같은 방법으로 소자 0번까지 순차적으로 단선하면서 도플러 영상을 얻었다. 팬텀에서 혈류는 실험 편의상 제어가 쉬운 연속 흐름(continuous flow)으로 설정하고 혈류 속도를 20, 50, 80 cm/sec로 변화하면서 도플러 영상을 얻었다. 팬텀에서 혈관의 위치는 2cm 깊이에 위치하고, 선형 프로브를 가지고 실험하였으므로 초음파 진단기는 경동맥 초음파 검사와 동일한 설정을 사용하였다. 모든 실험에서 도플러 각은 70도로 설정하였다⁵⁾.

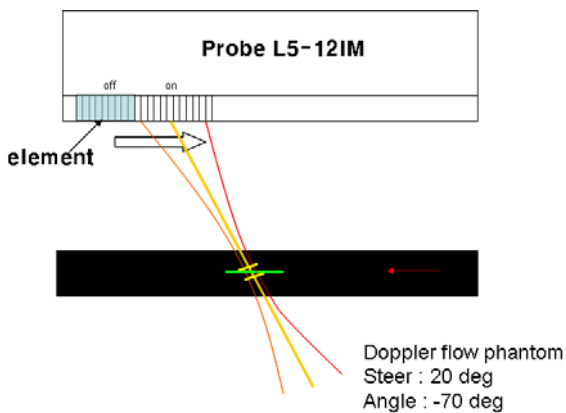


Figure 3. Process of acquiring Doppler images as was increasing the accumulated number of the elements of the probe electrically disconnected from 0 to 191.

III. 실험 결과 및 토의

1. 실험결과

Figure 4는 팬텀의 혈류 속도 50cm/sec 일 때 프로브의 소자를 순차적으로 단선하며 얻은 도플러 영상이다. 수집된 도플러 영상에서 혈류 속도의 측정은 본 실험에 사용된 메디슨 초음파 진단기(SA-9900 PRIME, Medison, Korea)가 속도 판독을 돕기 위하여 제공하는 AutoCalc 기능을 이용하였다. AutoCalc는 도플러 스펙트럼에서 자동으로 속도를 검출한다. Figure 4(a)을 보여주는 바와 같이 도플러 스펙트럼의 Y축에는 속도 측정을 위한 스케일 바가 있다. 그림에서는 0~153.50cm/s까지 변화하는 속도 스케일 바를 보여주며 한 눈금 당 속도는 20cm/s를 의미한다. 본 연구에서 계산된 도플러(혈류) 속도는 도플러 영상에서 AutoCalc 기능으로 검출된 속도의 평균값을 계산한 것이다^{6~8)}. Figure 5는 팬텀의 혈류 속도를 20cm/sec로 설정했을 때, 소자를 단선하면서 수집한 도플러 영상으로부터 측정된 혈류 속도의 변화를 나타낸 것이다. Figure 5에서 알 수 있듯이, 프로브 오른쪽 소자들은 도플러 영상에 영향을 주지 않는 것으로 추정된다. Figure 6은 팬텀의 혈류 속도를 20, 50, 80cm/sec로 변화하면서 소자의 결함이 증가함에 따라 도플러 영상에서 측정된 혈류 속도의 변화를 비교하고 있다.

도플러 영상은 시간에 따른 도플러 주파수 스펙트럼을 도시하며 신호 강도를 영상의 밝기로 표현한다. 본 연구에서는 도플러 속도 스펙트럼 및 신호 강도를 동시에 표현하기 위해 Figure 7(a)에서 보여주는 것처럼 한 프레임에 대한 도플러 스펙트럼 영상을 수직 축으로 투영하여 얻은 시간 평균 도플러 속도 프로파일(time average Doppler velocity profile: TADVP)로 변환하였다^{7,9)}. Figure 7(b-d)는 팬텀의 혈류 속도를 각각 20, 50, 80 cm/sec로 변화할 때 얻은 도플러 스펙트럼 영상으로부터 얻은 TADVP를 도시하고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 팬텀 혈류 속도가 높을수록 상대적으로 속도 스펙트럼의 폭은 커지지만 크기는 작아지는 것을 볼 수 있다. TADVP의 크기는 프로브 소자의 결함이 증가하면서 감소하며, 프로파일의 형태는 높은 도플러 주파수 영역(즉, 속도가 높은 영역)에서 빨리 떨어지는 것으로 나타났다^{10,11)}.

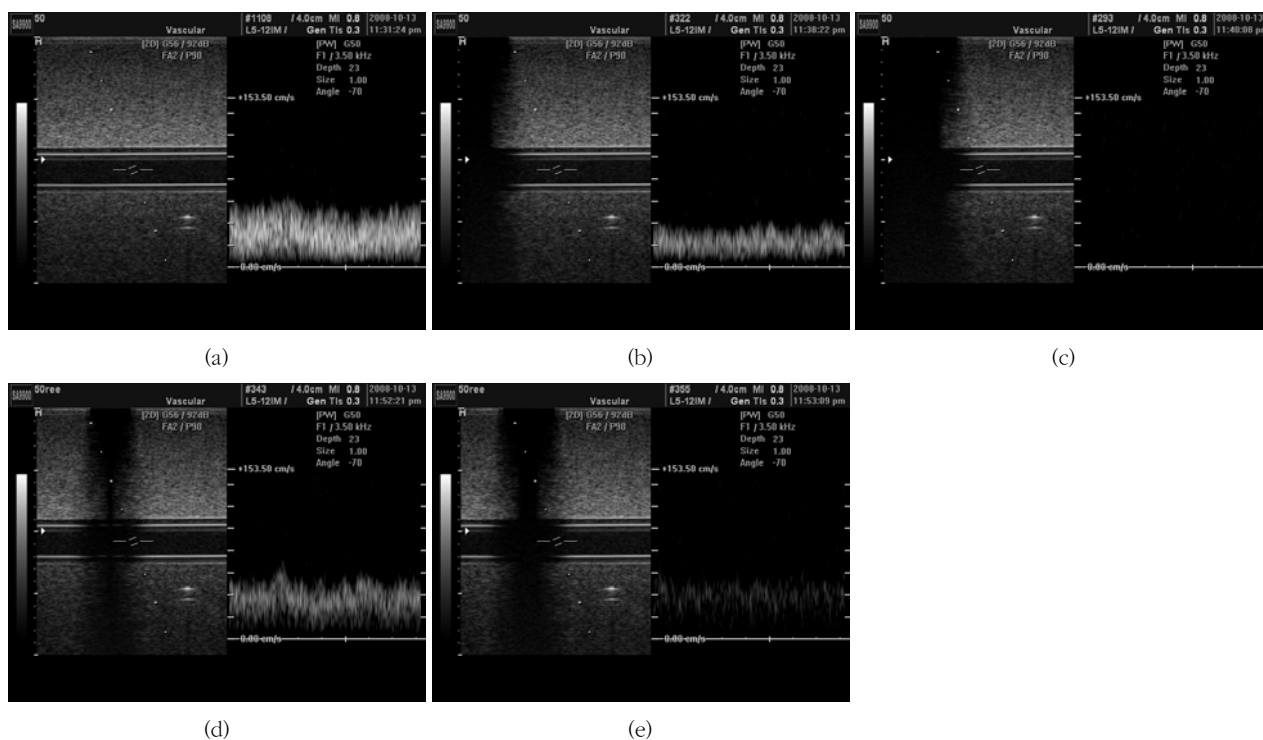


Figure 4. Examples of the Doppler images acquired as was increasing the accumulated number of the elements of the probe electrically disconnected from 0 to 191 at the flow rate of 50 cm/sec set in the Doppler phantom, (a) no probe element disconnected, (b) probe element from 0 to 68 disconnected, (c) probe element from 0 to 78 disconnected, (d) probe element from 95 to 57 disconnected, (e) probe element from 95 to 47 disconnected.

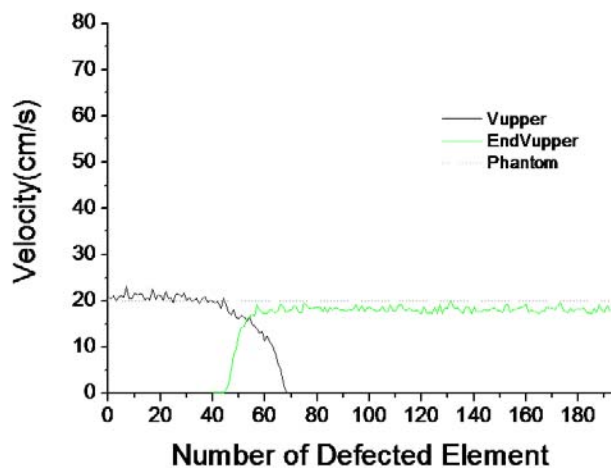


Figure 5. Variations of the flow velocity measured from the Doppler images acquired as was increasing the accumulated number of the elements of the probe electrically disconnected from 0 to 191 (left curve) or from 191 to 0 (right curve), for the flow rate of 20 cm/sec set in the Doppler phantom, (Vupper → 0 to 191, endVupper → 191 to 0).

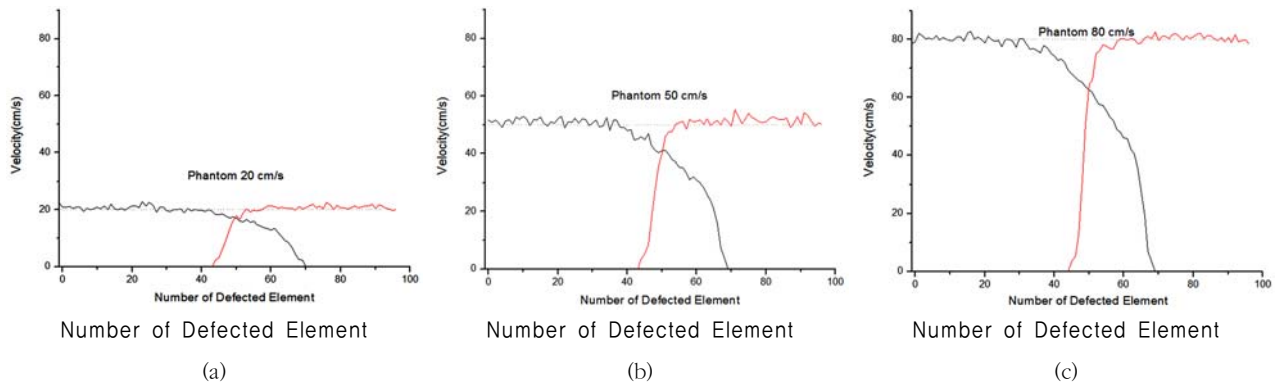


Figure 6. Variations of the flow velocity measured from the Doppler images acquired as was increasing the accumulated number of the elements of the probe electrically disconnected from 0 to 95 (left curve) or from 95 to 0 (right curve), for the different flow rates of (a)20, (b)50 and (c)80 cm/sec set in the Doppler phantom.

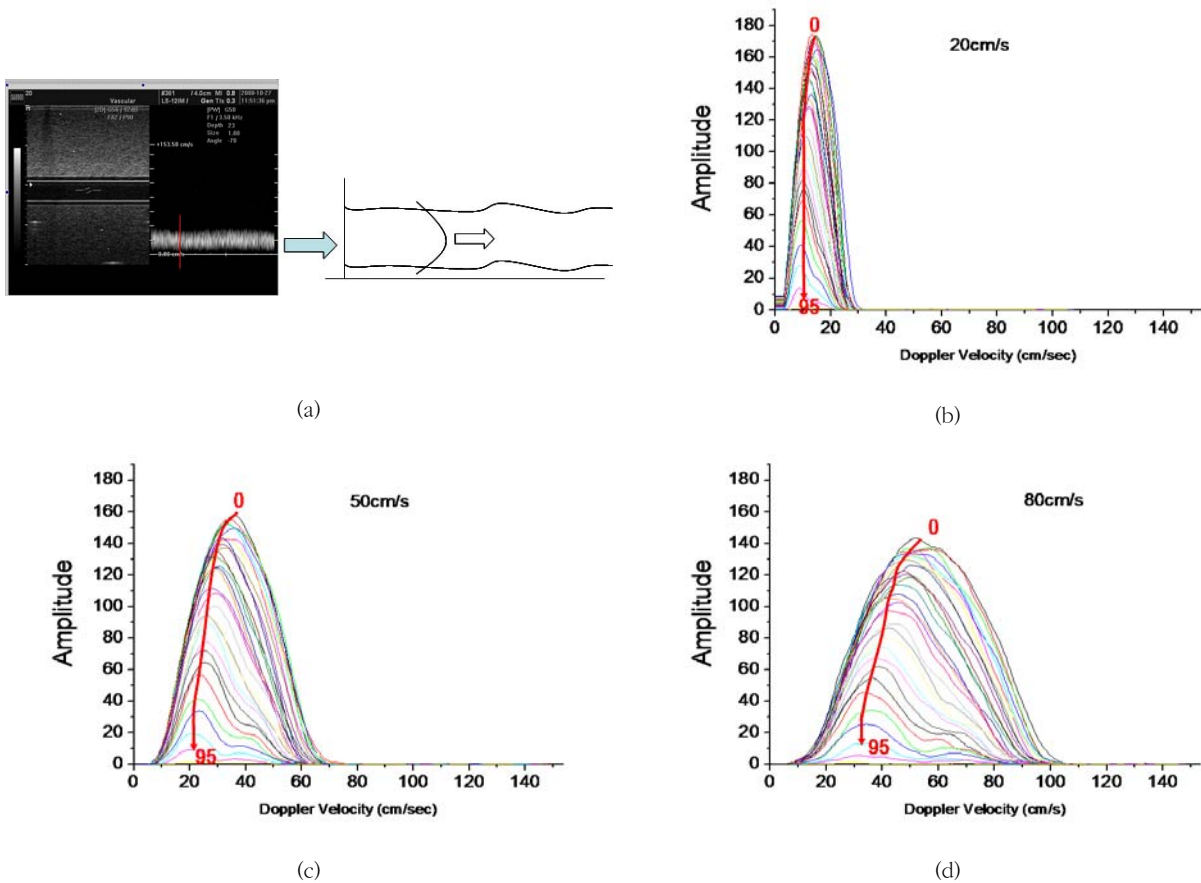


Figure 7. (a) Concept of the time average Doppler velocity profile by projecting the Doppler image to the vertical axis. Variations of the time average Doppler velocity profile constructed from a frame of the Doppler image acquired as was increasing the accumulated number of the elements of the probe electrically disconnected from 0 to 95, for different flow rates of (b) 20 cm/sec, (c) 50 cm/sec and (d) 80 cm/sec set in the Doppler phantom.

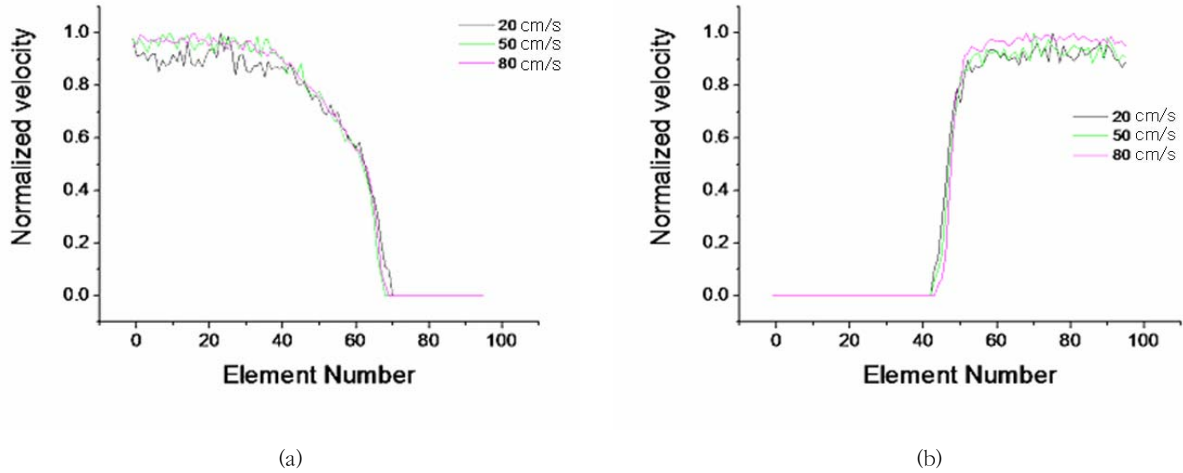


Figure 8. Normalized Doppler velocity measured with the Doppler images acquired when increasing the probe elements disconnected at the 3 different flow rates of 20, 50, 80 cm/s. (a) the elements disconnected increasing from 0 to 95, (b) (a) the elements disconnected decreasing from 95 to 0.

2. 토 의

본 실험에서는 도플러 팬텀의 속도를 20, 50, 80 cm/sec로 변화하면서 프로브 소자의 결함에 대한 도플러 속도를 평가하였다(Figure 6). 혈류 속도에 대한 효과의 차를 평가하기 위해 Figure 6의 결과를 정규화해 보면 Figure 8와 같다. 그래프에서 알 수 있듯이 소자 결함에 따른 도플러 속도는 도플러 소자군 부분에서 급격히 변화하고 있으며, 혈류 속도에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 흥미 있는 부분은 단선하는 프로브 소자의 번호가 0에서 증가할 때와 191에서 감소할 때 도플러 소자군 부분에서 급격히 변하는 도플러 속도의 형태가 약간 다르다는 점이다. 이것은 도플러 소자군 주변에서 결함 있을 때 소자의 번호가 높은 쪽 소자의 결함에 의한 효과가 작은 것을 의미한다⁹⁾.

도플러 속도 스펙트럼과 신호의 강도를 동시에 표현하기 위해, Figure 7처럼 한 프레임 대한 도플러 스펙트럼 영상을 수직 축으로 투영하여 얻은 시간 평균 도플러 속도 프로파일(time average Doppler velocity profile of a frame image: TADVP)로 변환하였다. Figure 7(b-d)에서 보여주는 바와 같이 팬텀의 혈류 속도가 높을수록 도플러 속도 스펙트럼의 폭은 커지지만 크기는 감소하고 있다. 프로브 소자의 결함이 증가하면 전체적으로 TADVP의 크기가 감소하며 고주파수 영역에서 더 빨리 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 초음파의 주파수가 높을수록 감쇠가 더 많이 되는 것과 일치한다. TADVP를 해석할 때 유의

해야 할 부분은 TADVP는 도플러 영상의 밝기(픽셀의 값)로 수치화 된 것이라는 점이다. 초음파 프로브에서 측정된 도플러 신호의 크기는 비선형적인 변환(예. 로그변환)을 통해 픽셀 값으로 전환되어 영상으로 뿌려진다. 만일 도플러 신호(x)의 크기와 픽셀 값(y)의 변환 함수 $y=T(x)$ 를 안다면 TADVP로부터 함수 T를 역 변환하여 도플러 신호의 크기를 구할 수 있다. 즉 TADVP로부터 도플러 신호의 크기에 대한 정보를 얻을 수 있다. 만일 TADVP로부터 도플러 속도에 대한 다양한 수치적인 분석을 수행하려면, TADVP를 먼저 도플러 신호의 크기로 역 변환하는 작업이 필요하다^{8,12,13)}.

IV. 결 론

본 연구는 프로브 소자의 결함이 도플러 영상에 미치는 영향을 살펴보기 위해서, 소자에 전기적인 단선으로 결함을 주어 실험하였다.

실험 결과를 가지고 추론하여 보면 첫째, 소자 결함에 따른 도플러 속도는 도플러 소자군 부분에서 급격히 변화하고 있으며, 혈류 속도에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 둘째, 도플러 소자군 주변에서 결함 있을 때 소자의 번호가 높은 쪽 소자의 결함에 의한 효과가 작은 것을 알 수 있었다. 셋째, 팬텀의 혈류 속도가 높을수록 도플러 속도 스펙트럼의 폭은 커지지만 크기는 감소하

고 있다. 그리고 결함이 증가할수록 도플러 속도와 영상의 밝기의 분산이 더 커지는 것으로 나타났다. 이는 프로브 소자의 결함이 증가하면 전체적으로 시간 평균 도플러 속도 프로파일(TADVP)의 크기가 감소하며 고주파수 영역에서 더 빨리 떨어지는 것으로 알 수 있다.

본 연구에서 사용된 TADVP는 혈류 해석에 필요한 유용한 정보를 포함하고 있어 임상적 활용 가능성이 매우 클 것으로 기대된다. 본 연구는 선형 배열형 프로브 소자의 결함을 소자에 대한 전기적인 단선으로 구현한 경우를 고려한 것이다. 보다 진전된 프로브 소자 결함이 도플러 영상에 미치는 영향을 알기 위해서는 향후 다양한 형태의 프로브 소자 결함에 대한 고려가 필요하다. 이러한 다양한 형태의 소자 결함 연구가 진행된다면, 연구의 내용은 향후 초음파 프로브에 기초한 초음파 QA를 위한 실용적인 도구로 활용될 수 있을 것이다^{14,15}.

참고문헌

- Moore G W, Gessert J and Schafer M : Perspectives On Image Performance Assessment II : The Impact of Compromised Elements Within An Ultrasound Transducer On Image and Doppler Quality. American Association of Physicists in Medicine (AAPM) 45th Annual Meeting, San Diego, California, USA, 10~14 Aug 2003
- Price R : Routine Quality Assurance of Ultrasound Imaging Systems, The Institute of Physical Sciences in Medicine (IPSM), Report No.71: York, UK, 1995
- Kang G S, Choi M J, Park S S, Paeng D G, Gibson N M and Coleman A J : Deterioration of the quality of ultrasonic images caused by probe defects. Proc. Acoust. Soc. Kor. Conference 2005, 24, 165-168, 2005
- Choi M J, Kang K S, Lee K S, Yang J H, Paeng D G, Kim C C, Rhim S, Gibson N and Coleman A : Low Contrast Sensitivity of B-mode Images against Ultrasonic Probe Defects, The World Federation for Ultrasound in Medicine & Biology, KOEX, Seoul, Korea, 28 May~1 June 2006
- 서대철, 권태원 역 : 최신 혈관초음파검사, 고려의학, 2007
- Burns P N : The physical principles of Doppler and spectral analysis. J. Clinical Ultrasound, 15, 567-590, 1987
- Chivers R C and Parry R J : Ultrasonic velocity and attenuation in mammalian tissue. J Acoust Soc Am, 63, 940-953, 1978
- Hoskins P R, Sherriff S B and Evans J A (ed) : Testing of Doppler Ultrasound Equipment, The Institute of Physical Sciences in Medicine (IPSM), Report No.70: York, UK, 1994
- Merritt C R B : Physics of Ultrasound: In Diagnostic Ultrasound. 3rd ed. Mosby: St. Louis, 3-34, 2005
- Taylor K J and Holland S : Doppler US. Part I. Basic principles, instrumentation and pitfalls. Radiology, 174, 297-307, 1990
- Fish P : Physics and instrumentation of diagnostic medical ultrasound. John Wiley & Sons, 17-19, 57-64 and 172, 1990
- Alkinson P and Woodcock J P : Doppler ultrasound and its use in clinical measurement, Academic Press: New York, 1982
- Boote E J : Doppler US Techniques: Concepts of Blood Flow Detection and Flow Dynamics. Radiographics, 23, 1315-1327, 2003
- Browne J E, Watson A J, Gibson N M, Dudley N J and Elliott A T : Objective measurements of image quality. Ultrasound in Med. & Biol., 30, 229-237, 2004
- Dudley N J, Griffith K, Houldsworth G, Holloway M and Dunn M A : A review of two alternative ultrasound quality assurance programmes. European Journal of Ultrasound, 12, 233-245, 200

• Abstract

Influence to the Doppler Images by the Defects of Piezoelectric Elements of the Probe of Medical Ultrasonic Scanners (Focusing on the Impact of an Increase in the Defects of Piezoelectric Elements)

Kyung-Sung Lee

Department of Radiotechnology, Cheju Halla University

This study has investigated the effects of the defects in the probe elements influence Doppler images in the medical ultrasonic scanners.

This work was implemented that the quality of Doppler images depended on the extent and location of the probe element defected. The probe performance was rated in terms of the number of piezoelectric elements lost and this was studied in the experiment by electrical disconnection to the elements.

The results showed that Doppler velocity became rapidly reduced as the defected elements encountered with the element group activated at the Doppler mode, not as the flow velocity. The effect of the probe defect is decreased when the defects occurred at the element group activated for Doppler mode, as was increased the number of the elements. It was observed that the higher the flow velocity of Doppler flow phantom is, the wider the spectrum of Doppler is. And the Doppler velocity soared up and the dispersion of image brightness is increased when the defected elements got out of the elements activated at Doppler mode. The result showed that TADVP(time-average-Doppler-velocity-profile) is decreased with the increase of the probe element defect, especially in the region of high frequency.

It is expected that the research of various defects of probe elements are needed, and this study can be practical tools for probe based ultrasonic QA in the future.

Key Words: Ultrasonic probe, Piezoelectric element, Doppler image, TADVP