

초음파혈류계용압전변환자의 동작주파수와 분해능사이관계

강철주, 허성

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《현시기 의학과과학기술을 발전시키는데서 중요한것은 보건사업에서 절박하게 나서고 있는 과학기술적문제를 푸는데 힘을 집중하는것입니다.》(《김정일선집》증보판 제11권 81페이지)

최근 현대적인 초음파의료기구들이 립상실천에 적극 도입됨에 따라 초음파진단장치와 초음파혈류계 등 초음파의료기구들의 성능을 개선하기 위한 연구[1-3]가 심화되고있다. 그러나 속도측정오차를 최소로 보장하는데 적합한 송신주파수를 결정하기 위한 연구는 진행되었으나 혈류계의 중요한 기술적특성인 분해능과 동작주파수와의 관계에 대해서는 광범히 연구되지 않고있다.

우리는 초음파혈류계용압전변환자의 거리분해능과 동작주파수사이의 관계를 밝히고 적합한 동작주파수를 결정하였다.

초음파의 전파방향에 따라 서로 가까이에 놓인 두 물체를 구별할수 있는 초음파변환자의 능력을 거리분해능이라고 한다.

초음파혈류계용변환자의 동작주파수가 높을수록 혈류계의 분해능은 좋아지나 주파수가 높아지면 인체조직내에서 초음파세기의 감쇠가 심해져서 진단할수 있는 깊이가 제한되게 된다. 이 두가지 성능을 고려하여 초음파변환자의 거리분해능과 동작주파수사이의 관계를 밝히자.

일반적으로 파동론에서 분해능이 파장에 비례하는 관계를 고려하면 초음파의 동작주파수가 변화될 때 변환자로부터 얻어지는 영상의 거리분해능 R_x 는

$$R_x = \frac{a}{f_0} \quad (1)$$

이다. 여기서 f_0 은 동작주파수이고 a 는 비례결수이다.

한편 변환자가 수신하는 신호대잡음비와 거리분해능사이관계를 고려하면 식 (1)은

$$R_x = \frac{bq^2}{f_0} \quad (2)$$

으로 된다. 여기서 q^2 은 신호대잡음비이고 b 는 비례결수이다.

수신시 변환자에 들어오는 반향신호의 세기 $I_{\text{신호}}$ 와 음향잡음의 세기 $I_{\text{잡음}}$ 은

$$I_{\text{신호}} = \frac{M_{\text{음}}}{4\pi r^2} \mu(\theta) e^{-4\beta H / \sin \alpha}$$
$$I_{\text{잡음}} = \frac{P_0^2 \Delta f}{\rho_c f_0^2 G}$$

이다.[1] 여기서 $M_{\text{음}}$ 은 음향복사출력, β 는 매질에서 음파의 감쇠률, H 는 음파의 침투깊이(관측깊이), $r = H / \sin \alpha$ 는 물체까지의 거리, α 는 초음파복사방향과 혈류방향

사이의 각, $\mu(\theta) = \mu_0 \exp(-\varepsilon\theta)$ 는 혈류방향에 수직인 선에 대한 입사각이 $\theta = 90^\circ - \alpha$ 일 때 매질에서 음파의 반사계수, P_0 은 변환자의 수신점에서 음향잡음의 압력, $\Delta f = 4f_0V/C$ 는 수신자의 주파수통과대역, ρ_c 는 매질의 파동저항, f_0 은 변환자의 동작주파수, $G = 4\pi S/\lambda^2$ 은 변환자의 집중계수, S 는 변환자의 복사면적, λ 는 송신파의 파장이다.

전파속도와 주파수관계식 $C = f_0\lambda$ 를 고려하여 q^2 을 동작주파수 f_0 만의 함수로 표시하면 다음과 같이 된다.[1]

$$q^2 = \frac{I_{\text{신호}}}{I_{\text{잡음}}} = b'f_0^3 e^{-4\beta r} \quad (3)$$

여기서 $b' = M_{\text{음}} S \rho_c \mu(\theta) / (4r^2 P_0^2 CV)$ 는 비례계수로서 상수, V 는 적혈구의 속도이다.

따라서 초음파변환자의 거리분해능은 다음과 같이 표시된다.

$$R_x = b''f_0^2 e^{-4\beta r} \quad (4)$$

식 (4)에서 보는바와 같이 거리분해능은 어떤 주파수에서 극값을 가졌다가 주파수가 높아짐에 따라 지수함수적으로 변한다.

초음파혈류계의 분해능이 최대로 되는 적합한 동작주파수는 거리분해능 R_x 를 주파수 f_0 에 대하여 미분하고 극값을 구하면 얻을 수 있다.

$$\frac{dR_x}{df_0} = \frac{d}{df_0} [b''f_0^2 e^{-4\beta r}] = 0 \quad (5)$$

초음파혈류계의 측정대상인 혈액에서는 MHz대역에서 초음파의 감쇠률이 $\beta = 0.14f_0 \text{ dB}/(\text{MHz} \cdot \text{cm}) = 0.016f_0 \text{ Np}/(\text{MHz} \cdot \text{cm})$ 임을 고려[1]하면 $\alpha = 90^\circ$ 일 때 적합한 동작주파수와 초음파의 침투깊이(혈류계의 관측깊이)와의 관계는 다음과 같이 표시된다.

$$f_0 = \frac{31.05}{H} \quad (6)$$

혈류계의 관측깊이에 따르는 동작주파수의 변화는 그림과 같다.

그림에서 보는바와 같이 혈류계의 관측깊이가 증가할수록 동작주파수는 1~4cm 구역에서 급격히 작아지며 4cm이상부터는 완만해진다.

식 (6)으로부터 혈류계의 관측깊이가 8.86cm근방일 때 적합한 동작주파수는 3.5MHz이다.

전형적인 초음파혈류계에서 동작주파수가 3.5MHz일 때의 거리분해능은 1mm이다.

맺는 말

초음파혈류계의 거리분해능과 동작주파수사이의 관계식을 얻고 거리분해능이 최대로 되는 적합한 동작주파수를 결정하였다. 혈류계의 관측깊이가 8.86cm근방일 때 적합한 동작주파수는 3.5MHz이며 거리분해능은 1mm이다.

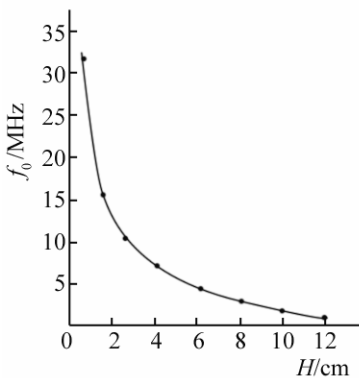


그림. 혈류계의 관측깊이에 따르는 동작주파수의 변화

참 고 문 헌

- [1] 허은혜 등; 조선민주주의인민공화국 과학원통보, 6, 28, 주체104(2015).
- [2] S. M. David et al.; IEEE Trans. UFFC, 60, 10, 2079, 2013.
- [3] M. A. Shinya et al.; IEEE Trans. UFFC, 57, 5, 1064, 2010.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

Relation between Transmission Frequency and Resolution of Piezoelectric Transducer for Ultrasound Blood Velocimetry

Kang Chol Ju, Ho Song

We revealed the relation between the range resolution and transmission frequency of piezoelectric transducer for the ultrasound blood velocimetry and determined the suitable transmission frequency.

Key words: ultrasound blood velocimetry, piezoelectric transducer, range resolution