

혈전이 발생한 인공판막의 판막음 스펙트럼 분석

°김상현*, 장병철**, 탁계래***, 허재만****, 김남현****, 강면식**, 조범구**
연세대학교 심혈관연구소*, 홍부의과**, 의용공학과****
반데빌트대학교 의공학과****

Sound Spectral Analysis of Valvular Clicks of Thrombosed Valve Prostheses

S. H. Kim*, B. C. Chang**, G. Tack***, J. M. Huh****, N. H. Kim****, M. S. Kang**, B. K. Cho**
*Cardiovascular Research Institute, **Dept. of Thorac. & Cardiovas. Surg.
***Dept. of Biomed. Eng., Yonsei University
****Dept. of Biomed. Eng., Vandervilt University

Abstract

A comparative study was made of the valvular sounds produced by normal prosthetic valves with thrombosed prosthetic valves. Comparisons of the closing sound were made for the power frequency spectra associated with individual valves. We used periodogram approach to obtain the spectral characteristics of the valve. Spectral analysis system was tested in mock circulatory system by comparing normal valves with those produced by the same valves but having simulated thrombosis at the hinge of the valve. The heart sounds was recorded from two patients having normal mechanical valve and thrombosed mechanical valve. The estimated spectrum of the thrombosed mechanical valve displayed lower apparent peak frequency than that of the normal valve. The results showed that frequency spectra gave information pertinent to the valve malfunction. Sound spectral analysis is simple and alternative diagnostic tool for early detection of prosthetic valve malfunction.

1. 서론

심장판막의 대체용으로는 기계판막이 내구성이 우수하여 상당히 보편화 되어 있는데 혈전발생과 감염등이 여전히 단점으로 남아있다. 기계판막에 혈전이 발생하면 판막의 개폐가 어려워져서 혈액학적으로 비정상 상태가 되어 심각한 위험에 빠질 수 있다. 판막음은 주로 판막이 닫힐 때 발생하게 되는데 이 부분을 분리하여 스펙트럼화하여 분석한다. 물체가 진동할 때의 진동 주파수는 그 물체의 강성도에 따라 증가하는데 판막도 마찬가지로 판막에 혈전이 발생하면 혈전이 완충역활을 하면서 판막의 진동주파수를 변화시키게 된다. 따라서 혈전이 생기게 되면 스펙트럼상에서 차이를 보이기 때문에 이 현상을 응용하면 인공판막 기능부전의 조기진단이 가능하다. 이 방법은 다른 진단 방법에 비해서 비외상적이고 비침입성이고 비교적 민감한 장점이 있다. 판막음 분석 시스템을 이용하여 인공판막의 판막음을 분석하면 비침입성이기 때문에 부작용이나 후유증의 위험을 크게 줄일 수 있다. 또한 판막음 분석 시스템은 심도자술이나 혈관조영술에 비해 장치가 비교적 크지 않으므로 큰 공간의 검사실을 필요로 하지 않는다.

인공판막에 대한 스펙트럼 분석은 여러연구자에 의해 광범위하게 이루어졌다. 인공판막의 판막음에서 주파수 스펙트럼을 얻는 방법에는 여러가지가 연구되고 있는데 fast Fourier transform (FFT)에 기초를 두거나 최신의 파라미터법에 의한 스펙트럼분석이 이루어지고 있다[1,2,3,4]. FFT 에 기초를 둔 주파수 분석은 파라미터에 의한 분석법에 비해 해상도가 다소 떨어져서 인공판막의 폐쇄음을 충분하게 특성화 하지 못하는 경향이 있다. 그러나 FFT에 기초를 한 스펙트럼 분석은 스펙트럼분포와 주파수 정점 모두를 안정성 있게 측정할 수 있기 때문에 판막의 이상여부를 판단하기에 충분한 것으로 보고되고 있다[5].

본 연구에서는 기본적인 신호처리로서 FFT 에 기초를 하여 인공판막음의 스펙트럼을 조사하기로 한다. 설계한 판막진단 시스템을 시험하기 위해서 정상적인 판막음과 기능부전이 있는 판막음을 환자에게서 직접 기록하여 그 스펙트럼을 분석하여 보기로 하겠다.

2. 방법

2-1. 판막음의 기록

판막음은 마이크로폰의 위치, 피부와 마이크로폰의 접촉부위의 임피던스 매칭(impedance matching), 호흡, 환자의 위치 등에 의해 상당히 영향을 받는다. 환자의 판막음을 스펙트럼 분석하기 전에 시스템을 시험할 필요가 있으므로 모의순환장치에서 판막음을 우선 기록하여 분석하였다. 우선 모의순환장치에 외경이 27 mm 인 St. Jude Medical 기계판막을 고정하였다. 혈전이 생긴 인공판막을 시뮬레이션하기위해서 이엽식 기계판막의 경우 혈전이 많이 발생하는 경첩부분에 실리콘을 발라서 굳게 한다. 이 상태에서 열림판이 완전히 닫히지 못하고 0.2 mm 정도의 유격을 갖는다. 모의순환장치에서의 판막음은 혈액펌프의 대동맥관에 마이크로폰을 대고 소리를 기록한다. 인공판막을 이식한 환자의 판막음은 환자가 반듯이 누운 상태에서 마이크로폰을 가슴에 대고 심음을 기록한다. 승모판막치환환자중 판막기능이 정상인 환자와 인공판막에 혈전이 발생한 환자를 각각 선정후 마이크로폰을 승모판 심음이 가장 잘 들리는 심첨부에 대고 심음을 기록한다. 두 환자 모두 쌍엽식 기계판막(Carbomedics)치환 환자인데 표 1 에 두 대상 환자를 기술하였다.

표 1. 인공판막을 기록 대상환자

No.	Age/Sex	Operation	Valve/Size	Diagnosis
1	64/F	MVR	Carbomedics/#29	Normal
2	64/F	MVR	Carbomedics/#29	Thrombosis

인공판막의 판막음은 모의순환장치에서는 심박동수가 75 bpm 일때 측정하였다. 정상판막 환자의 경우는 심박동수가 다소 빠른 105 bpm 이었고 혈전이 있는 환자는 80 bpm 이었다. 기록한 소리는 다중 채널 기록장치(simultrace recorder^R VR-6 : Electronics for Medicine, Inc., U.S.A.)의 앰프에서 증폭한다. 소리신호는 500 Hz 이상과 50 Hz 이하는 필터링한다. 증폭장치의 출력은 12 비트 A/D 변환기(DT2801: Data Translation, Inc., U.S.A.)에서 디지털 신호로 변환된 후 컴퓨터에 입력한다. 샘플링 주파수는 1 kHz 이고 각 환자별로 10 초 동안 심음을 기록한다. 컴퓨터에 입력된 소리신호는 플로피 디스크에 저장한다. 그림 1 은 소리기록에서 컴퓨터까지의 전체 시스템의 구성도이다.

2-2. 스펙트럼 계산

그림 2 와 3 은 각각 모의순환장치에서 추출한 판막음과 환자에게서 추출한 판막음을 정상인 경우와 혈전이 발생한 경우를 구분하여 나타낸 시간영역에서의 심음도이다. 정확한 스펙트럼을 계산하기 위해서는 전체의 심음도에서 가장 적합한 판막음성분을 추출하는 것이 중요한데 여러가지 방법이 있으나 본 연구에서는 추출한 성분 중 가장 빈번하게 발생하는 성분을 선택하기로 한다. 심음도에서 한개의 판막음성분의 경과 시간은 64 msec 이고 성분당 64 개의 데이터 샘플을 갖게된다. 이 데이터 샘플을 제로패딩하여 총 1028개의 데이터에 대하여 FFT를 취하였다. 동일한 심음도에서 임의의 성분을 5 개 정도 선택하여 스펙트럼을 계산하였을 때 주정점주파수값을 기준으로한 각 성분의 차이는 정상판막음은 10% 이내였고 비정상판막의 경우는 15% 이내였다. 본 연구에서는 스펙트럼을 추정하는 방법으로 계산면에서 효율적인 periodogram 법을 사용하였다. Welch[6] 는 FFT 알고리즘에 잘 적용하고 분산과 치우침이 적은 수정된 periodogram 법을 제시하였다. 우선 신호 $x(t)$ 를 추출하여 각각 N 개의 성분을 갖는 R 개의 구간으로 나눈다. 따라서 스펙트럼 계산은 다음식에 의해 이루어진다.

$$S_{xx}(w) = \frac{1}{RNU} \sum_{r=1}^R |X_r(e^{jw})|^2$$

여기서

$$X_r(e^{jw}) = \sum_{n=0}^{N-1} X_r(n)w(n)e^{-jwn}$$

U 는 윈도우함수의 파워(power)이며 정확한 주파수 해상도는 윈도우 함수 $w(n)$ 의 스펙트럼 특성에 따라 좌우된다.

2-3. 스펙트럼의 해석

인공판막의 이상여부를 진단하기 위해서 스펙트럼을 계산한 후 분석한다. Durand 등[4] 은 48 명의 조직판막 치환환자로부터 추출한 데이터를 18 가지의 진단 파형형상을 기준으로 하여 분석하였다. 진단파형형상은 주정점주파수값(dominant peak frequency), 주파수의 대역(bandwidth), 이들 두값의 비(quality factor)등이 있는데 본 연구에서는 데이터의 수가 한정되어 있으므로 주정점주파수값만을 비교하기로 한다.

3. 결과 및 고찰

그림 4 와 5는 모의순환장치와 환자에게서 추출한 판막음에서 추정한 스펙트럼결과이다. 각각의 스펙트럼은 여러개의 정점을 보여주고 있는데 오른쪽 위에 주정점주파수값을 구하여 나타내었다. 모의순환장치와 환자 모두 공통적으로 혈전이 발생한 판막의 주정점주파수값이 정상인 판막보다 낮은 값을 보여주고 있다. 모의순환장치에서는 21 % 낮고 환자에서는 11 % 의 낮은 결과를 보여준다. 이 차이는 혈전이 심할수록 더 큰 차이를 보여 줄 것으로 예상된다. 결국 혈전은 판막이 닫힐 때 판막음을 변형시켜 스펙트럼상에서 차이를 나타내어 준다는 것을 알 수 있다. 혈전이 판막의 경첩부근에 부착이 되면 판막의 움직임을 방해하여 완전히 닫히지 못하게 하거나 디스크와 프레임 사이에 끼여서 완충역활을 하기 때문에 스펙트럼상에서 고주파수 성분이 약해지게 된다. 이 현상은 진동 주파수가 서로 충돌하는 물체, 즉 디스크와 프레임의 성질변화에 민감하기 때문이다. 본 연구에서의 스펙트럼결과는 Sato 등[7]이 Bjork-Shiley 기계판막 치환환자 중 혈전이 발생한 판막에서 추출한 판막음의 스펙트럼분석과도 비슷한 경향을 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 인공판막의 판막음을 추출하여 전통적인 FFT 방법에 의하여 스펙트럼을 추정하였다. 우선 모의순환장치에서 판막음을 추출하여 전체시스템을 시험해보고 이어서 인공판막치환환자로부터 판막음을 추출하여 스펙트럼을 계산하였다. 정상인 판막과 혈전이 있는 판막의 스펙트럼을 비교해 본 결과 스펙트럼상에서 주정점주파수값이 혈전이 발생한 판막이 정상인 판막보다 낮게 나타났다. 해상도를 높이기 위해서 최근의 파라미터 법에 의한 스펙트럼 추정도 해볼 수가 있겠다. 본 연구의 긍정적인 결과는 향후 여러가지 장점을 가지고 있는 인공판막음 스펙트럼 분석 진단기기의 개발 가능성을 보여주었다.

혈전이 발생한 인공판막의 판막음 스펙트럼 분석

참고문헌

[1] Stein, P.D., Sabbah, H.N., Lakier, J.B., and Goldstein, S., Frequency spectrum of the aortic component of the second heart sound in patients with normal valves, aortic stenosis and aortic porcine xenografts, *Amer. J. of Card.* 46:48-52, 1980.

[2] Foale, R.A., Joo, T.H., McClellan, J.H., Metzinger, R.W., Grant, G.L., Meyers, G.S., and Lees, R.S., Detection of aortic porcine valve dysfunction by maximum entropy spectral analysis, *Circulation*, 68:42-49, 1983.

[3] Joo, T.H., McClellan, J.H., Foale, R.A., Myers, G.S., and Lees, R.S., Pole-zero modeling and classification of phonocardiograms, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 30:110-118, 1983.

[4] Durand, L.G., Blanchard, M., Cloutier, G., Sabbah, H.N., and Stein, P.D., Comparison of pattern recognition methods for computer-assisted classification of spectra of heart sounds in patients with a porcine bioprosthetic valve implanted in the mitral position, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 37:1121-1129, 1990.

[5] Durand, L.G., De Guise, J., Cloutier, G., Guardo, R., and Brais, M., Evaluation of FFT-based and modern parametric methods for the spectral analysis of bioprosthetic valve sounds, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 31:572-578, 1986.

[6] Welch, P.D., The use of the fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms, *IEEE Trans. Audio Electroacoust.*, vol. AU-15:70-73, 1967.

[7] Sato, N., Miura, M., Itoh, T., Ohmi, M., Haneda, K., Mohri, H., Nitta, S., and Tanaka, M., Sound spectral analysis of prosthetic valvular clicks for diagnosis of thrombosed Bjork-Shiley tilting standard disc valve prostheses, *J. Thorac. & Cardiovasc. Surg.*, 105:313-320, 1993.

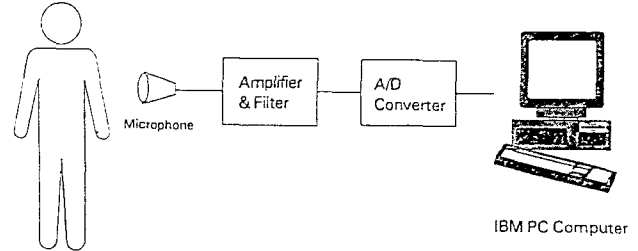


그림 1 심음스펙트럼 해석 시스템의 구성

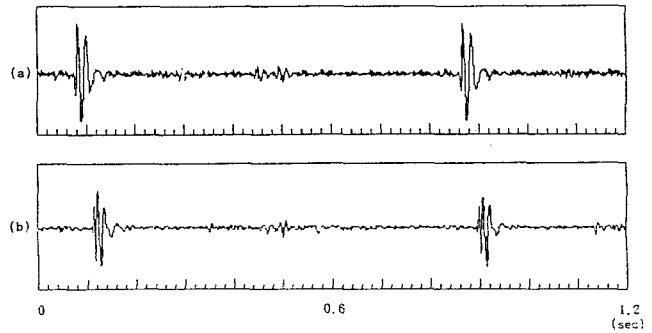


그림 2 모의순환장치에서 추출한 심음도
(a) 정상판막 (b) 혈전이 있는 판막

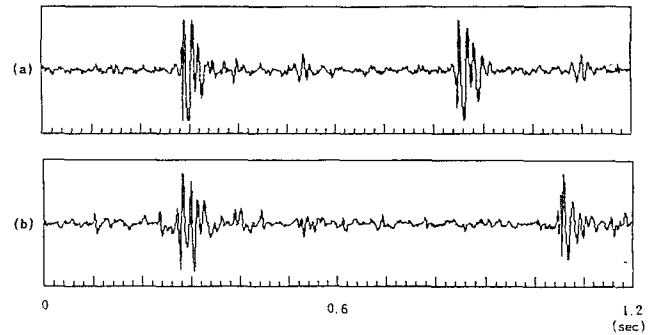


그림 3 환자에게서 추출한 심음도
(a) 정상판막 (b) 혈전이 있는 판막

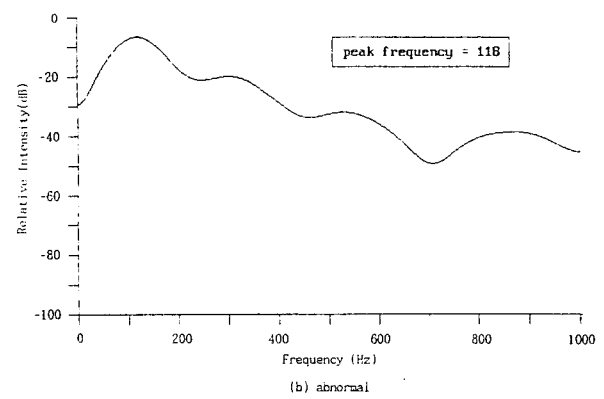
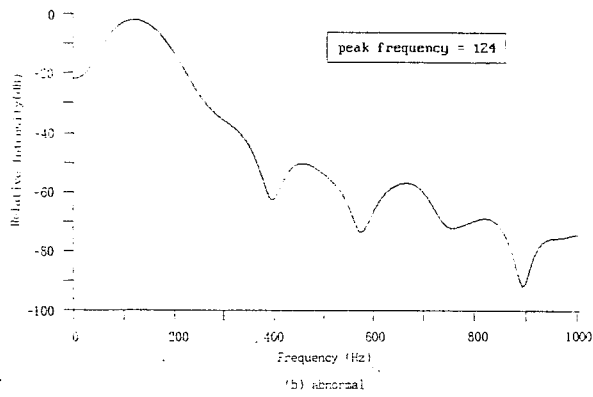
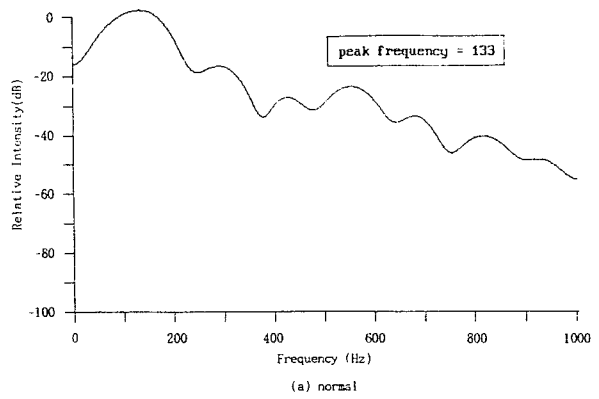
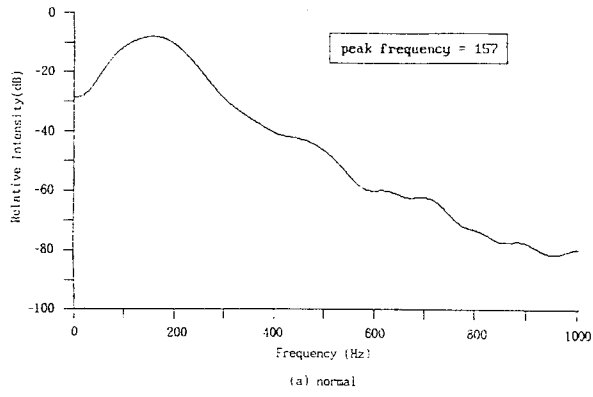


그림 4 모의순환장치에서 추출한 인공판막음 스펙트럼
(a) 정상판막 (b) 혈전이 있는 판막

그림 5 환자에게서 추출한 인공판막음 스펙트럼
(a) 정상판막 (b) 혈전이 있는 판막