

핵청진기를 이용한 좌심실 부피변화 측정에 관한 연구

민병구 · 김영호 · 고창순*

= Abstract =

A Study on Left Ventricular Volume Change Measurement using Nuclear Stethoscope

Byoung-Goo Min, Young-Ho Kim, Chang-Soon Koh*

In the present study, we developed a nuclear stethoscope interfaced with a personal computer (APPLE-II) and evaluated its performances as compared with the gamma camera. This single-probe, ECG-gated system has been used for displaying the left ventricular time-activity curves, the peak ejection time and its rate, the peak filling time and its rate, and the R-R interval distribution. The radioactivity was measured at every 10 msec around the ventricular region, where the activity curves shows the maximal peak to peak variations. The background activity was measured around the lung area showing its counts approximately 50% of the end-diastolic count with minimal variations. The average time-activity curves of 100 beats were used for analysis in the equilibrium study after intravenous injection of 15~20mCi of Tc.

The ejection fractions measured by the nuclear stethoscope(Y) were compared with those measured by gamma camera(X) in 47 patients with various heart diseases. The correlation coefficient between two measurements was 0.766 with a relation of $Y=1.04X-8.48$.

Also, the high reproducibility was obtained for the same patient.

From this study, we conclude that this device is useful for continuous monitoring in the intensive care unit, as it is portable, compact, and inexpensive.

1. 서 론

심장의 기능 특히 좌심실 기능의 측정 및 관찰은 심장질환 환자의 상태를 진단하는데 중요한 척도로 사용된다. 이러한 심장기능의 측정 및 관찰은 장기간의 여러가지 자료나 징후에 의하는 것보다는 직접적이고 생

량적인 정보에 의하는 것이 바람직하며 이러한 정보에는 좌심실의 부피 등이 있다¹⁾.

심장이나 혈관의 해부학적 또는 기능적인 구조를 파악하는 비관혈적인 방법으로는 방사성 동위원소를 사용하여 그로부터 방출되는 감마선의 양을 감마선 촬영기(scintillation gamma camera)에 의하여 측정함으로써 얻어지는 화상(image)을 분석하는 방법이 있다²⁾. 이러한 핵의학적 방법을 도입한 심장기능 검사방법은 그 기기의 급속한 발전을 야기시켜 현재 여러 지도에서 얻어진 화상으로부터 high-resolution의 3-dimensional image에 의하여 더욱 많은 정보를 얻을 수 있

<1984. 12. 1 접수>
서울대학교 의과대학 좌심실과 및 내과학교실*
Dept. of Biomedical Engineering and Dept. of Internal Medicine*, College of Medicine, Seoul National University

게 되었으며, 특히 전반적인 심근기능의 측정, 심실의 부피측정 및 심장판막 역류(valvular regurgitation)의 측정 등에 유용하게 이용되고 있다³⁾.

그러나 Mullin 등에 의하여 개발되고 그 후 여러가지로 발전되어 오고 있는 이 감마선 촬영기는 그 제작비가 비쌀뿐 아니라 일반적인 검사시간이 상당히 걸리게 되며 또한 기체의 부피도 엄청나게 크기 때문에 쉽게 사용할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 좀 더 쉽고, 보편적으로 사용할 수 있는 방법에 대한 연구가 진행되어 왔다.

좌심실의 기능측정을 위한 ECG-gated scintillation probe의 사용이 1974년 Wagner에 의하여 소개되었으며, 이후 시간에 대한 좌심실의 방사능 변화곡선만으로 비교적 간단하게 좌심실의 기능을 측정할 수 있으며, 그 유용성 및 신뢰도에 관하여 연구되어져 왔다^{4,5,6)}.

본 논문에서는 환자의 심장상태를 계속적으로 침상실에서 관찰할 수 있도록 personal computer를 이용하여 간단하고, 이동이 용이하며, 가격이 저렴한 측정장비인 핵청진기의 연구, 개발하였으며 마침내 그 제작이 완료되었기에, 이의 임상적 유용도 및 의의를 관찰하고자 서울대학교병원 핵의학과에서 심장폴스캔을 시행한 환자를 대상으로 핵청진기를 이용하여 검사를 시행하고, 심박출계수를 계산하였으며, 그에 대한 임상적 연구를 문헌적고찰과 함께 보고하는 바이다.

2. 시스템의 구성

핵청진기 시스템(Fig. 1)은 NaI(Tl) scintillation probe와 그 주변장치, ECG-trigger 및 personal computer APPLE-II로 구성되어 있으며, 그 blockdiagram은 (Fig. 2)와 같다.

3. 연구 방법

양와위에서 정맥로를 통하여 ^{99m}Tc-labeled human serum albumin을 약 15~20mCi를 정주하고 심장과 혈관을 통하여 추적자(tracer), 즉 동위원소가 전신에 고르게 분포 될 때까지 약 10여분 기다린 다음 감마선 촬영기를 사용하여 심장폴스캔검사를 시행하며, 이 검사의 시작 직전 또는 종료 직후 핵청진기를 이용하여 검사를 시행하였다.

환자의 왼쪽 가슴에 detector probe를 대고 심장의 박출에 따른 추적자의 양을 측정한다. 이 때 probe의

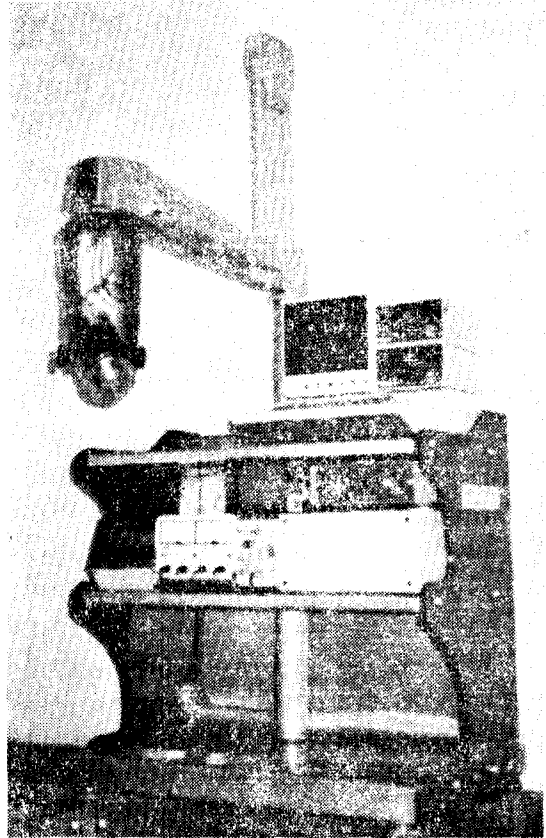


그림 1. 개발된 핵청진기 시스템

Fig. 1. Prototype of nuclear stethoscope system

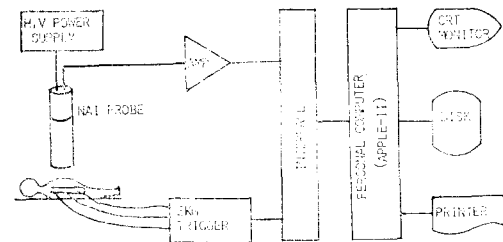


그림 2. 핵청진기의 시스템 구성도

Fig. 2. Block diagram of nuclear stethoscope system

위치 및 방향은 CRT 모니터에 display되어지고 있는 시-방사능곡선(time-activity curve)을 관찰하면서, 방사능량 및 그 변화량이 최대로 나타나는 점을 찾아서 좌심실의 위치로 정한다(Fig. 3). 이 위치에서 통

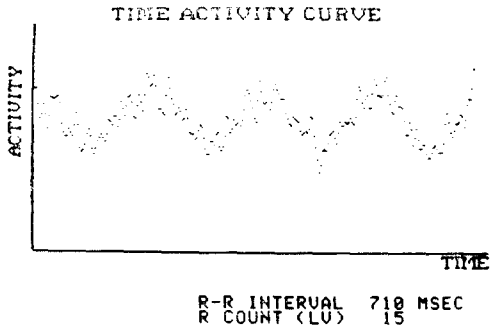


그림 3. 좌심실에서의 시-방사능 곡선
Fig. 3. The time-activity curve on the left-ventricular region

계학적 오류를 줄이기 위하여 일정량의 심장주기, 즉 본 연구에서는 100개의 심장주기로 통일하였으며, ECG의 R-wave를 기준으로 매 10msec(temporal resolution)마다의 측정 방사능량을 컴퓨터 메모리에 저장하였다. 이 때 환자의 심장상태의 불안정으로부터 야기되는 오류를 줄이기 위하여 data채집시 심장주기에 대한 허용범위를 설정하여 연속하여 4개의 심장주기가 허용범위에 포함되었던 경우에 한하여 그 다음 심장주기에 대한 data를 채집, 저장하였다. 이렇게 저장된 측정치로부터 R-wave를 기준으로 100 심장주기동안의 data를 누적함으로써 좌심실의 평균 시-방사능변화곡선을 구하였다.

한편 scattering 및 overlap에 의한 방사능양을 제거

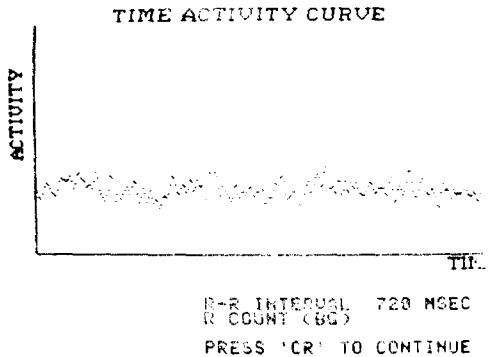


그림 4. 시-방사능 곡선에 나타난 배경 잡음
Fig. 4. The time-activity curve of the background

하기 위하여, probe를 폐(lung) 위치로 서서히 움직이면서 CRT모니터에 나타나는 시-방사능변화곡선에서 그 변화량이 거의 나타나지 않으면서 방사능의 양이 가장 크게 나타나는 위치를 정하여 background로 정하였다(Fig. 4). 이 background의 방사능양을 좌심실에서와 같은 심장주기동안 동일한 temporal resolution으로 측정, 저장한 다음 동일한 방법에 의하여 누적함으로써 background의 평균 시-방사능변화곡선을 구하였다.

좌심실의 평균 시-방사능 변화곡선으로부터 background의 평균 시-방사능 변화곡선을 뺀 순수한 좌심실의 시-방사능 변화곡선으로부터 심박출계수(ejection fraction)를 비롯한 각종 cardiac parameter를 구하기 위하여 이 평균 시-방사능 변화곡선을 Fourier series의 2nd harmonics까지 최소자승법에 의하여 curve fitting하였다(Fig. 5). 이렇게 구한 함수를 미분함으로써 end-diastolic count(EDC), end-systolic count(ESC), peak filling rate 및 peak ejection rate

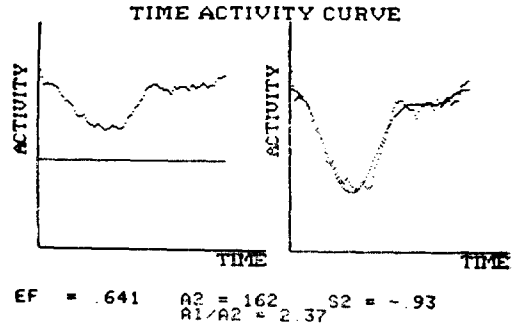


그림 5. 평균 시-방사능 곡선 및 그 curve fitting의 결과
Fig. 5. The averaged time-activity curve and its result of curve fitting

를 구하였으며, $EF = (EDC - ESC) / EDC$ 의 관계식으로부터 심박출계수(EF)를 계산하고, 이를 감마선 촬영기에 의하여 측정된 계산치와 비교하였다.

4. 결과 및 고찰

(1) 연구 결과

감마선 촬영기에 의하여 심장풀스캔검사를 시행한 환자 47명을 대상으로 핵정진기를 이용하여 심박출계

수(EF)를 구한 결과 그 상관관계는 $r=0.766$ 으로 나타났으며 $Y=1.04X-8.48$ 이었다(Fig. 6).

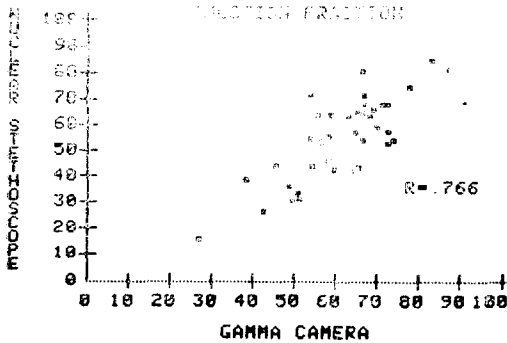


그림 6. 핵청진기 및 감마선 촬영기에 의하여 측정된 심박출계수의 상관관계
Fig. 6. Ejection fraction measured by nuclear stethoscope and gamma camera

(2) 고 찰

Scintillation camera는 환자의 관찰하고자 하는 기관내에 방사성동위원소를 주입하여 그 분포를 CRT모니터로 통하여 화상으로 형상화함으로써 관찰하고자 하는 기관의 해부학적, 기능적 구조를 파악할 수 있는 기기이다. 이 때 방사능량의 분포측정은 주입된 동위원소로부터 방사되는 감마선이 사용되므로 이를 보통 감마카메라(gamma camera)라고 부르는데 이 감마선 촬영기는 크게 감마선을 검출하여 전기적 신호로 변환하여 컴퓨터로 전송하는 head부분과 정보를 처리, 분석하여 CRT모니터에 화상으로 표시하여 주는 console부분으로 나누어진다. 이 감마선 촬영기가 여러가지 화상을 만들어 낼 수 있는 원리는 감마선의 직진하는 성질을 이용한 것인데 적당한 collimator를 부착하면 목적하는 부위에서 발생된 감마선중에서 특정한 방향의 감마선만을 선택할 수 있으며, 이 감마선은 crystal내의 특정위치에서 흡수되어 빛을 발생하게 되며, 이 위치로부터 감마선이 발생된 위치를 찾을 수 있다. 즉 수습계의 광전배증관(photomultiplier tube)의 array에 의하여 전기적신호로 변환되며, 이 때 각각의 광전배증관에 나타난 신호의 크기를 분석, 비교함으로써 여러 화상을 얻을 수 있다.

이러한 감마선 촬영기는 심장의 형상을 눈으로 보면서 그 기능을 측정, 해석할 수 있어 심장기능의 많은

부문을 측정, 관찰 및 해석할 수 있게 되었으나, 그 사용이 복잡하고 설치 및 사용 비용이 엄청나게 소요되고 검사시간도 길다는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하고, 심장질환 환자의 집단검진(screening test) 및 한 환자를 종점적으로 계속 감시(monitoring)할 수 있는 시스템으로 변형 발전시켜 만든 것이 핵청진기인데 이는 감마선 촬영기의 원리를 이용하여 환자의 관찰하고자 하는 기관내에서 방사되는 방사성동위원소의 분포를 시간에 따라 관찰함으로써 기관의 운동변화를 관찰하고자 하는 기기이다. 이것은 감마선 촬영기와는 달리 단지 하나의 광전배증관 및 crystal로 된 조그마한 검출기를 마치 청진기를 사용하듯이 환자의 목격하는 부위에 갖다대고 CRT모니터를 통하여 그 부위의 운동변화를 관찰할 수 있으므로 핵청진기라 명명하였다. 핵청진기는 시간에 따른 기관내에 있는 방사능의 양적인 변화만을 관찰할 수 있으므로 심장과 같이 운동을 하는 기관을 측정하는데 쉽게 이용될 수 있다. 즉 감마선 촬영기와는 달리 매 순간순간의 심장부피의 크기를 CRT모니터를 통하여 histogram의 형태로써 관찰할 수 있기 때문에 환자의 심장상태의 급격한 변화를 그 순간 알 수 있다. 그러므로 환자의 심장기능에 대한 계속적인 monitoring을 할 수 있으므로 중환자실 및 회복실 등에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 그러나 이러한 핵청진기는 화상이 없이 검출기 크기에 해당하는 부위에 있는 모든 기관 및 조직에 있는 방사능의 양을 얻어내므로 특정한 위치를 선정하기 매우 어려우며, 채집된 방사능의 양으로부터 특정기관에 해당하는 방사능의 양을 뽑아내기는 더욱 어렵다. 그러므로 이 핵청진기는 아직까지 그 사용범위가 제한되어 있다고 하겠으며, 해결하여야 할 여러가지 문제가 있다. 즉 좌심실 및 background의 위치 및 방향을 선정함에 있어서 어떤 standard method가 정해져야 하며, 특히 background에 대한 정의와 그 크기를 보상할 수 있는 방법이 연구, 검토되어야 하겠다. 이러한 문제점이 해결되면 임상적으로 매우 유용한 기기로써 사용할 수 있으리라 사료된다.

5. 결 론

서울대학교병원 핵의학과에서 심장플스켄을 시행한 환자를 대상으로 동 검사의 시행 적절 및 직후를 무작위로 선택하여, 핵청진기에 의하여 검사를 시행하고, 평균 시-방사능 변화곡선을 비롯한 각종 cardiac parameters를 구하였으며(Fig. 7), 그 결과는 다음과

```

** PROCEDURE INFORMATION **
PATIENT NAME   : C. H. CHEONG
ACQUISITION DATE : 83.05.12
SEX           : F           AGE : 43
HEIGHT       :             WEIGHT :
KEYWORD      :
-----
MODE         : SEPS
TEMPORAL RESOLUTION : 20 MSEC
ACQUISITION CYCLE   : 100
MEAN RR INTERVAL   : 1090 MSEC
VARIATION RANGE    : 99 %
WEIGHTING FACTOR   : 0.0
    
```

```

COUNT
LV MAX. ≈ 2242   EGC = 1321   58.9
LV AVR. ≈ 1924
    
```

```

TIME
FER = 19         17         -500.08
ES = 36          33
FFR = 52         49         431.65
ED = 105         99
    
```

```

EDC = 860   A0 = 603
ESC = 189   A1 = 297   S1 = .89
EF = .78    A2 = 120   S2 = -.96
                A1/A2 = 2.47
    
```

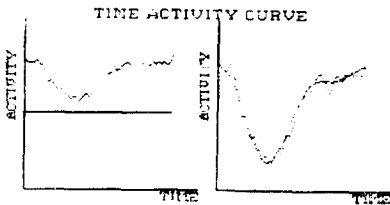


그림 7. 핵청진기에 의한 측정 결과
Fig. 7. A patient's test result using nuclear stethoscope

같다.

1) 감마선 촬영기와 핵청진기를 사용하여 구한 심박출계수(EF)의 관계식은 $Y=1.04X-8.48$ (X: EF measured in gamma camera, Y: EF measured in nuclear stethoscope)이며 상관계수는 $r=0.766$ 이었다.

2) 각각의 cardiac parameters에 대한 재현성을 측정하기 위하여 동일한 환자에 대하여 핵청진기를 사용하여 검사를 2회씩 시행한 결과 곡선의 특성을 나타내는 지표(TPER, TES, TFFR, TED)들의 상관계수는 0.9 이상으로 나타났다.

이상의 결과에서 심박출계수의 경우 그 재현성 및 감마선 촬영기에 대한 상관관계가 적은 것은 아직 background에 대한 보상이 완전히 이루어지지 않은

영향으로 나타났으며, background와 관련된 심장부피 변화의 상태를 나타내는 함수들은 모두 좋은 재현성을 보여주었다. 그러므로 동일한 환자 내에서 동일 위치 및 방향으로 계속 심장기능 상태를 monitoring할 경우 그 효율성은 클 것으로 사료된다. 또한 real-time으로 심장부피 변화상황을 관찰할 수 있으므로 중환자 및 수술후 환자에 대한 심장 기능의 계속적인 monitoring을 할 수 있으며, 이동이 용이하고 간단하므로 집단검진(screening test)에도 사용할 수 있는 특징이 있다.

(상기의 연구는 1983년도 한국과학재단 연구비와 1984년도 서울대학교병원 대단위 연구비에 의하여 이루어진 것으로 본지를 빌어 감사를 드린다.)

참 고 문 헌

- 1) Bacharach S.L., Green M.V., et al: "Developments in nuclear medicine computer systems: Applications to cardiology" *IEEE Trans. on Nuclear Science*, NS-27, pp.1095~1102, June 1980.
- 2) Yasushi I., William J.M.: "Measurement of heart chamber volumes by analysis of dilution curves simultaneously recorded by scintillation camera" *Circulation* 44, pp.37~46, July 1971.
- 3) Leitzl G.P., et al: "Monitoring cardiac function with nuclear techniques" *Am J Cardiol* 46, p. 1129, 1980.
- 4) Wagner H.N., Wake R., et al: "The Nuclear Stethoscope: A simple device for generation of left ventricular volume curves" *Am J Cardiol* 38, pp.747~750, 1976.
- 5) Wagner H.N.: "The use of the nuclear stethoscope for temporal imaging of left ventricular function" *Symposium on selected computer aspects of nuclear cardiology*, Soc Nu Med, Atlanta, pp.45~54, 1978.
- 6) Bacharach S.L., Green M.V., et al: "ECG-gated scintillation probe measurement of left ventricular function" *J Nu Med* 18, pp.1176~1183, 1977.