

ECG Gated Cardiac Blood Pool Scan에서

左心室機能 分析에 關한 研究

서울醫大 內科

鄭 俊 基 · 李 政 均 · 金 光 源

李明哲 · 趙普衍 · 李迎雨 · 高昌舜

서울醫大 放射線科

韓 萬 青

=Abstract=

A Study on the Left Ventricular Function Evaluation with ECG Gated Cardiac Blood Pool Scan

June-Key Chung, M.D., Jung Kyoon Lee, M.D., Kwang Won Kim, M.D.,
Myung Chul Lee, M.D., Bo Yeon Cho, M.D., Young Woo Lee, M.D. Chang-Soon Koh, M.D.

Department of Internal Medicine, College of Medicine, Seoul National University.

Man Chung Han, M.D.

Department of Radiology, College of Medicine, Seoul National University.

Most of clinical morbidity in cardiology are associated with abnormalities of the left ventricle. Several methods have been developed to measure the left ventricular function, including cardiac catheterization with cineangiography, echocardiography, and systolic time interval. But these methods have many limitations. ECG gated cardiac blood pool scan provides a safe, noninvasive, repeatable method for determining the left ventricular function.

Utilizing the cardiac blood pool scan, we measured the left ventricular function in 165 cardiac patients, and in 26 normal subject.

1. Left ventricular ejection fractions were measured by cardiac blood pool scan, and compared in 20 patients with that measured by x-ray cineangiography. Correlation coefficient was 0.885.
2. Ejection fractions were classified by functional class made in New York Heart Association. Ejection fractions well represented the functional status.
3. Ejection fractions decreased in cardiomyopathy ($20.1 \pm 4.8\%$) and ischemic heart disease ($34.4 \pm 16.7\%$). Impaired ejection fractions in myocardial infarction were associated with the extent of infarction.
4. Regional left ventricular wall motion was evaluated from the end-diastolic and end-systolic images. In cardiomyopathy diffuse hypokinesia was noted and in myocardial infarction akinesia was noted on the infarcted areas.

* 本 研究는 1980年度 서울大學校 病院 임상연구비의 보조로 이루어졌음.

I. 緒 論

心疾患 患者에서 임상적으로 가장 중요한 것은 左心室의 機能이고 최근까지 이 機能을 측정하기 위해서는 心導子法, 超音波心音響圖, 頸動脈波 등이 사용되어왔으나, 心導子法은 기술의 어려움과 위험이 있고, 超音波心音響圖나 頸動脈波는 機能 측정의 부정확성 등의 제한점이 있다. 1971年 Strauss가¹⁾ gated cardiac blood pool scan을 시도하여 左心室機能을 측정한 이래 이는 간단하고 안전하면서도 종래의 方法들과 비교하여 정확도가 높기 때문에 각광을 받게 되었다. 특히 computer system과 연결시켜 쉽게 定量的인 分析이 가능하고 心電圖에 연결시켜 心搏動 各 순간에서 心臟의 形態 및 機能을 分析할 수 있게 되었다. 이는 특히 心筋硬塞症을 포함한 虛血性心疾患에서 큰 도움을 주어 心搏出量과 左心室의 容積 뿐만 아니라 心室壁의 運動像, 心室瘤의 有無를 알 수가 있다. 또 各種心疾患에서 手術이나 治療후의 機能變化를 쉽게 관찰할 수가 있어 널리 쓰이고 있다.

그러나 아직 國內에서는 이에 대한 報告가 없어 著者들은 1979年 4월부터 1980年 3월까지 서울大學校病院에 入院한 各種 心疾患 患者와 正常對照群을 대상으로 ECG gated cardiac blood pool scan을 시행하여 左心室의 機能을 分析하여 보았다.

Table 1. Patients' Distribution

Disease	Case
Congenital Heart D.	
Left to Right Shunt	39
Right to Left Shunt	24
Others	5
Valvular Heart D.	
Mitral Valve	29
Mitral+Aortic Valve	15
Aortic Valve	5
Pulmonary Stenosis	4
Ischemic Heart D.	
Myocardial Infarction	18
Angina Pectoris	2
Cardiomyopathy	12
Other Heart D.	12
Normal	26
Total	191

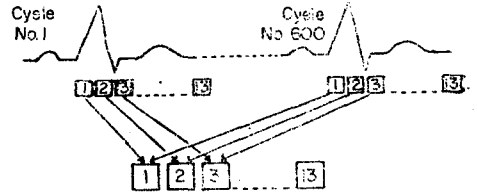


Fig. 1. Gated blood-pool imaging technique.

II. 對象 및 方法

1. 對 象

先天性心疾患이 68명, 瓣膜心疾患이 53명, 心筋硬塞症 16명을 포함한 虛血性心疾患이 18명, 心筋病症이 12명 등으로 心疾患 患者 165명과 正常對照群 26명을 대상으로 하였다. (표 1) 心筋硬塞症 患者는 모두 임상소견, 心電圖, 酵素檢査로 확인된 예들이었고, 心筋病症 患者는 임상소견, 흉부 X-ray, 心電圖, 超音波心音響圖에서 다른 心疾患의 可能性을 모두 배제할 수 있었던 예들이었다.

2. 檢査方法

^{99m}Tc-Human Serum Albumin 15mCi을 靜注하고 5~10분후 radionuclide가 心血管系에 均一하게 퍼진 뒤에 Ohio Nuclear 410 gamma camera detector를 左前斜位로 하고 心電圖에 연결시켜 GAMMA-11 computer(DEC 會社)에 64×64 byte mode로 收錄하였다.

한 心搏動期를 최대 100畫面까지로 나눌 수 있으나 鮮明한 影像을 얻기 위하여 13畫面으로 나누어 600週期를 모아 分析하였다. (그림 1) 不整脈이 있는 경우에는 心電圖에 연결시켜 각 心搏動에서 擴張期末과 收縮期末을 찾아 총 500,000 count까지 모아 分析하였다.

3. 分析方法

Computer 畫面の 左心室에 特定興味部位(region of interest; ROI)를 그려 左心室의 한 心搏動에서 放射能值의 變化曲線을 구하였다. 放射能值의 變化는 左心室容積의 變化를 의미하므로 이 曲線에서 左心室의 擴張期末과 收縮期末을 구하였다. (그림 2) 擴張期末과 收縮期末에서 각각 左心室의 放射能值를 구한 다음 左心室 주위의 背後放射能值(background count)로 교정하여 心搏出係數를 다음 공식에 의하여 算出하였다.

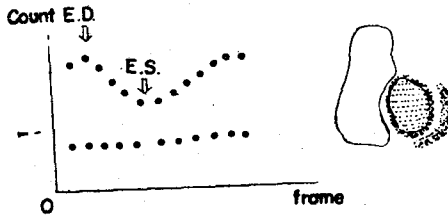


Fig. 2. Time-activity curves of left ventricle and background.

$$\text{心搏出係數} = \frac{(C_{ED} - C_{BKG}) - (C_{ES} - C_{BKG})}{C_{ED} - C_{BKG}}$$

C_{ED} = 擴張期末의 放射能值

C_{ES} = 收縮期末의 放射能值

C_{BKG} = 背後放射能值

背後放射能値는 左心室 앞뒤에 있는 肺와 心筋에서 나오는 放射能量를 상쇄시키기 위해 左心室 주위에 O 자 모양으로 背後의 特定興味部位를 그려 구하였다. 이때 大動脈과의 重疊을 피해 구하였다.

Xray의 心臟映畫造影術에서의 心搏出係數는 造影劑注入후의 몇 心搏動內에서 心室早期搏動을 피해 擴張期末과 收縮期末을 정한 다음 右前斜位에서 Greene 方法에 의해 心搏出係數를 구하였다(그림 3).

Computer에서 한 心搏動期의 각 순간에서의 畫面을 연결시켜 映畫形成(cine format)으로 만들어 左心室壁 運動을 관찰하였다. 또 computer의 擴張期末과 收縮期末 畫面에서 左心室壁의 等放射能線을 정한후 smoothing시켜 心臟의 輪廓을 구하고 이것을 重疊시켜 左心室壁의 運動像을 分析하였다.

Cardiac blood pool scan에서 구한 心搏出係數를 20명에서 Xray의 心臟映畫造影術로 구한 心搏出係數와 비교하여 보았다. 이 心搏出係數를 New York Heart Association의 functional class에 따라, 또 각 疾患群에 따라 分類하여 보았다. 左心室壁의 運動像을 hypokinesia, akinesia, dyskinesia로 나누고 心電圖 및 기타 임상소견과 비교하여 보았다.

Ⅲ. 成 績

20명에서 blood pool scan으로 구한 心搏出係數와 Xray의 心臟映畫造影術에서 구한 心搏出係數를 비교하였다. 相關係數는 0.8857이었고 회귀방정식은 $y = 0.8926x + 1.5228$ 이었다. (그림 4) 두 방법간의 心搏出係數 差가 10% 이상이었던 2에는 모두 Xray의 心

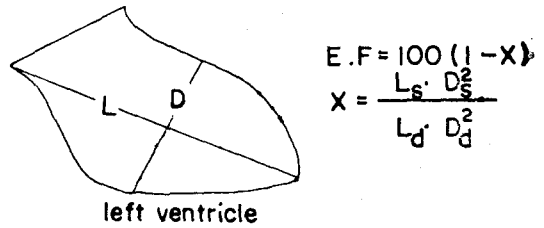


Fig. 3. Calculation of ejection fraction by Greene method.

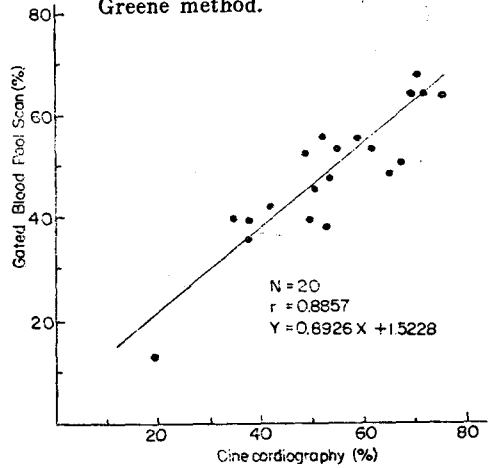


Fig. 4. The relationship of ejection fraction between gated cardiac blood pool scan and cinecardiography.

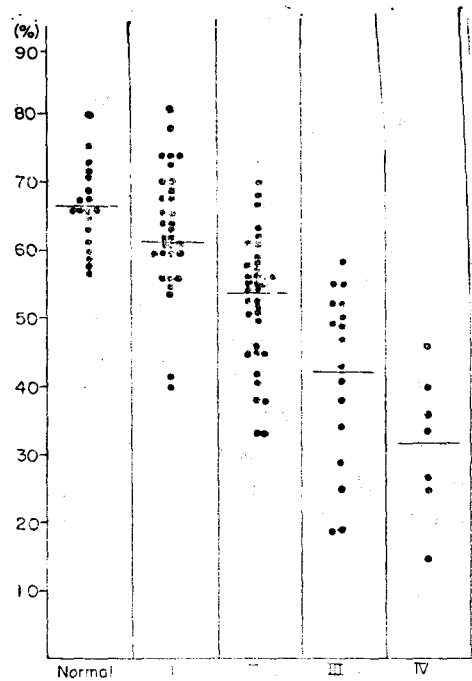


Fig. 5. The relationship between the ejection fraction and the functional class by New York Heart Association.

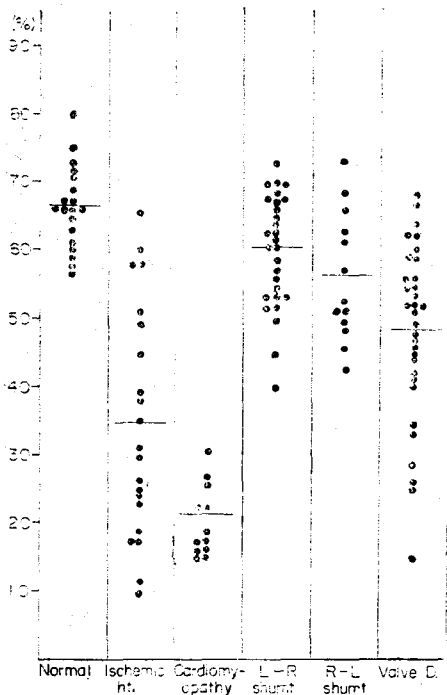


Fig. 6. The ejection fraction in the various heart diseases.

臟映畫造影術上 心尖部가 畫面에서 벗어나 있어 사실 상 心搏出係數의 精確한 측정이 어려운 예이었다.

New York Heart Association의 functional class 에 따른 心搏出係數는 그림 5에서와 같이 正常對照群 이 $66.7 \pm 6.1\%$, class I 이 $62.1 \pm 9.0\%$, II 가 $53.4 \pm 9.1\%$, III 가 $42.2 \pm 12.3\%$, IV 가 $31.0 \pm 8.8\%$ 로 心疾患의 정도를 잘 반영하여 주고 있었다. 각 心疾患에 따른 心搏出係數는 虛血性心疾患이 $34.4 \pm 16.7\%$, 心筋病症이 $20.1 \pm 4.8\%$ 로 심하게 떨어져 있었고 左右短絡에서는 $60.2 \pm 7.9\%$, 右左短絡에서는 $55.7 \pm 9.1\%$, 瓣膜心疾患에서는 $48.1 \pm 12.5\%$ 이었다(그림 6).

左心室壁運動은 心筋病症 患者 12명에서 모두 全般的인 hypokinesia 가 있었고(그림 8), 心筋硬塞症 患者에서는 心電圖所見에 상응하는 부위에서 akinesia 를 관찰할 수 있었다.(그림 9) dyskinesia 의 예는 없었다.

IV. 考 察

心疾患 患者에서는 形態病理學的 診斷뿐만 아니라 心臟의 機能 특히 左心室의 機能分析이 임상적으로 크게 중요하다. 이런 左心室 機能分析의 指標로는 心搏出量,



Fig. 7. Overlap of end diastole and end systole in normal control.

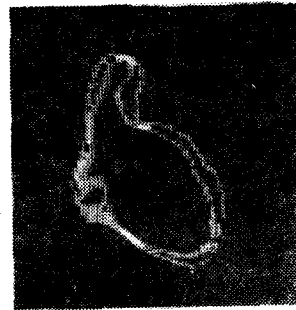


Fig. 8. Wall motion in cardiomyopathy. Marked left ventricular dilatation and diffuse hypokinesia are noted.

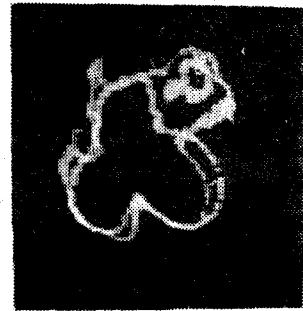


Fig. 9. Wall motion in inferior myocardial infarction. Akinesia is seen on the inferior margin of the left ventricle.

一回心搏動量, 搏出壓, 左心室의 擴張期末 壓力, 擴張期末 容積, 心搏出係數, 左心室壁質量 등²⁾ 여러가지가 있으며 이중 특히 心搏出係數가 가장 좋은 指標로 알려져 있다.³⁾ 心臟機能의 指標를 구하기 위하여 心電圖 외에도 心導子法에 의한 心臟映畫造影術, 超音波心音響圖, 心音圖, 頸動脈波 등이 이용되어 왔으나 최근에는 cardiac blood pool scan 方法이 안전하고 간단하면서도 精確한 資料를 얻을 수 있는 새로운 方法으로 대두 되었다. cardiac blood pool scan 은 心臟의 形態를

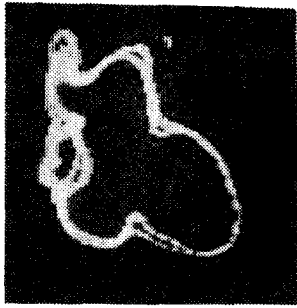


Fig. 10. A case of diffuse myocardial infarction, which has been attacked several times during past 10 years.

볼 수 있을 뿐 아니라 computer 를 이용한 血流力學的 分析도 가능하다.

心搏出係數는 放射性同位元素 心血管攝影術의 時間-放射能曲線에서 구할 수 있고^{4,7)} 본예에서와 같이 blood pool scan 의 equilibrium study 에서도 算出하여 낼 수 있다.^{8~11)} Equilibrium blood pool scan 方法은 single pass 方法보다 收錄하는 시간이 길고 여러자도에서 찍을 수 없어 左前斜位에 局限되는 단점이 있으나, 약물 투여 등의 조작을 가한 후 左心室機能의 變化를 계속 관찰할 수 있고, "cine format"(映畫形成)으로 볼 수도 있으며 分析하는데 시간이 짧게 걸린다는 등의 장점이 있다.¹²⁾ single pass 方法이나, blood pool scan 方法에서 心搏出係數의 측정에는 면적-길이에 의한 方法(area-length method)과 放射能值에 의한 方法(count method)이 있다. 면적-길이의 方法은 X-ray 의 心臟映畫造影術의 方法과 같고 직접 左心室의 擴張期末 容積을 算出해 낼 수 있는 장점이 있으나, 虛血性心疾患에서와 같이 左心室壁運動의 區域的 異常이 있는 경우에는 오차가 크고 trabeculation 이 심한 收縮期末의 左心室容積 算出에는 문제가 있다.¹³⁾ 放射能值에 의한 方法은 放射能值의 變化를 간접적으로 容積의 變化로 측정하는 方法이다. 이때는 背後放射能值의 측정이 중요한 문제가 되고 실제 背後放射能值는 左心室 전체 放射能值의 30~70%을 차지한다.¹³⁾ 背後放射能은 肺, 心筋, 인접한 心房과 心室, 肺靜脈, 大動脈 등과 重疊되어 나오는 放射能과 散亂放射能의 總합이다. 左右心室을 分離시키기 위하여 左前斜位를 취하면 左心房이 重疊되거나 左心房과 detector 간의 거리가 멀고 또 左心房에서 나온 放射能이 左心室에 의해 감소되어 큰 실제적인 문제는 되지 않는다. 그러나 僧帽瓣狹窄症과 같이 左心房肥大가 있는 경우에는 左心房도 分離시키기 위해 modified 左前斜位를 사용한다,¹²⁾ 放射能值에

의한 方法은 이외에도 gamma camera 와 computer 간의 dead time 도 문제가 된다.

결국 放射性同位元素을 사용하여 구한 心搏出係數의 정확도는 X-ray 의 心臟映畫造影術과 비교하여 언어야 한다. 心臟映畫造影術에서 心搏出係數를 구하는 方法은 Dodge^{14,15)}, Greene, Chapman, Snow, Beranek 方法 등¹⁶⁾ 여러가지가 있으나 서로 비슷한 成績을 얻어, 著者들은 간편한 Greene 方法을 택하였다. 그러나 X-ray 의 心臟映畫造影術의 方法은 虛血性心疾患에서와 같이 局所的인 心壁運動의 異常이 있는 경우에 측정 方法의 문제가 있고, 높은 농도인 造影劑를 다량 注入時 心臟의 血流力學的 狀態를 변화시켜 실제값을 나타내 주지 못한다. 또 放射性同位元素 方法처럼 약물투여나 運動 후의 變化를 연속적으로 관찰하지 못하는 단점이 있다. X-ray 의 心臟映畫造影術에서 구한 心搏出係數와의 상관관계는 0.86~0.97^{18~20)}의 相關係數를 가지고 있는 것으로 보고되어 있고 著者의 값도 이 범위도 있었다. 면적-길이에 의한 方法은 放射能值에 의한 方法보다는 정확도가 적은 것으로 보고되어 있다.^{12,13)} 個人間的의 差 또는 한 사람에서의 reproducibility 도 有意한 差가 없는 것으로 나타나 있다.^{12,19,21)}

心搏出係數가 心筋病症과 虛血性心不全症에서 심하게 떨어져 있는 것은 잘 알려진 사실이고²²⁾ 心筋硬塞症에서는 硬塞의 정도에 따라 달라진다. Steele 등²⁰⁾은 冠狀動脈疾患에서 閉塞되는 動脈의 數가 많을수록 心搏出係數가 떨어지는 것을 관찰하였다. 본예에서도 心筋硬塞의 정도가 가장 심하였던 예에서 心搏出係數가 10%까지 떨어져 있는 것을 관찰할 수 있었다.(그림 10, 11) 또 心搏出係數는 같은 心疾患의 정도라도 心室中隔缺損症, 僧帽瓣閉鎖不全症, 大動脈瓣閉鎖不全症 같이 容積過多(volume overload)인 경우에는 비교적 나중까지 正常範圍를 유지하게 된다.²³⁾ 心搏出係數는 이외에도 afterload, catecholamine 분비 정도, 心搏動數, 血壓 등에 따라 변하고 左心室에 癥痕이 있을 때는 左心室의 彈性이 변하여 左心室의 機能을 정확히 나타내주지 못한다. 이때 左心室容積 및 左心室壁運動의 分析이 이 점을 보충해 줄 수 있다.¹⁹⁾

心室壁運動의 異常은 akinesia, hypokinesia, dyskinesia 로 나눌 수 있다. 心筋硬塞症에서 akinesia 와 hypokinesia 는 硬塞部位에서 나타나고 dyskinesia 는 心室瘤의 간접적인 소견으로 임상적인 의미가 크다.²⁴⁾ hypokinesia 는 定量的인 기준을 내리기 힘들지만 대개 心室壁의 收縮이 25%이하인 부분으로 정한다. 또 akinesia 部位와 差別이 어려울 때는 nitroglycerine 을

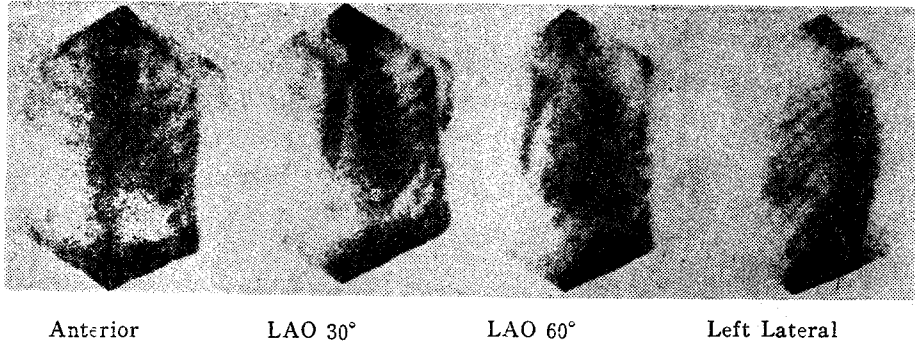


Fig. 11. Myocardial scan using ^{99m}Tc -pyrophosphate in the same patient as Fig. 10.

투여하여 心室壁의 運動變化로 觀察하기도 한다.²⁵⁾ 心室壁運動의 分析은 定性的인 分析 方法으로 그 가치를 여러 著者들이^{24,26,27)} 인정하고 있고 Jengo 등¹⁹⁾은 定量的으로 分析하여 X-ray의 心臟映畫造影術과 比較하여 相關係數가 0.97로 잘 일치한다고 보고하였다. 心室壁運動의 分析은 single pass 方法으로도 가능하여 한 畫面當 放射能值가 작아 精確한 心室의 윤곽을 잡는 데는 문제가 있으나 각도를 X-ray의 方法과 같은 右前斜位로 할 수가 있다.

心筋硬塞의 위치를 前의 上 心尖部, 下面, 前外側面, 中隔部, 後外側面으로 나누어 볼 때 detector를 前面으로 위치하였을 때는 下面, 前外側面, 心尖部가 잘 나타나고 左前斜位로 하였을 때는 後外側面, 中隔部, 下面이 잘 나타나며, 左外側面으로 하면 後面이 잘 나타나 硬塞의 부위에 따라 detector의 위치를 변동시키는 것이 바람직하다.¹⁸⁾ 그러나 대부분의 경우 硬塞의 範圍가 넓어 左前斜位만으로도 診斷이 용이하다.

放射性同位元素를 사용하여 구하는 心搏出係數는 여러가지 약물투여후의 변화^{18,25,28)}와 運動후의 변화^{11,29,30)}를 쉽게 관찰할 수 있다. 이는 左心室病變의 초기단계에서 휴식상태의 機能은 유지되고 있으나 運動時 機能減少가 나타나기 때문에 早期診斷에 有用하다. 心搏出係數는 또 心疾患 患者에서 內科의 또는 外科의 治療후에 경과 관찰³²⁾을 할 수 있고, 治療의 豫後를 미리 예측할 수 있다. Murray나 Brushke 등은 冠狀動脈疾患 患者에서 冠狀動脈迴路移植術후의 死亡率이 心搏出係數가 떨어져 있는 群에서 15~20배 이상 높은 것을 보고하였다.²³⁾ 瓣膜心疾患에서도 비슷한 傾向을 보이고 있다. 또 心疾患이 아닌 다른 重患者에서도 心搏出係數의 측정으로 心機能의 狀態를 쉽게 알 수 있고, 治療후의 反應도 관찰할 수 있다.

Blood pool scan에서 한 心搏動期를 좀 더 많이 나누어 각 순간에서의 放射能值 變化를 구하여 보면 한

搏動期를 preejection period, left ventricular ejection time, left ventricular filling time 등으로 細分이 가능하여 systolic time interval을 측정할 수 있고, 이것은 종래의 CPE(carotid artery pulse, phonocardiography, electrocardiography)에 의한 systolic time interval과 비교적 좋은 상관관계가 있는 것도 증명되었다.²²⁾ 또 右心室의 搏出係數를 구하면 慢性閉鎖性肺疾患이나 右側心不全症 患者에서 右心室의 機能을 예민하게 반영한다.

放射性同位元素를 이용한 心臟走査法은 心搏出係數와 左心室의 壁運動像 외에도 血液量를 구해주면 心搏出量, 一回心搏動量, 擴張期末과 收縮期末의 左心室容積, 肺血流量, 右側心臟의 血流量, 逆流血流量 등을 구할 수 있고⁵⁾ 최근에는 peak fractional ejection velocity, peak circumferential fiber shortening velocity 등도 구하고 있어^{9,33)} 임상적인 이용도를 점차 넓혀 가고 있다.

·V. 結 論

心疾患 患者에서 임상적으로 중요한 左心室의 機能을 측정하기 위해서 증진에는 心導子法과 心臟映畫造影術, 超音波心音響圖 등이 사용되어 왔으나 施術의 복잡성, 위험성, 부정확성 등의 제한점이 있어 있다. ECG gated cardiac blood pool scan 方法은 간단하고 안전하면서도 정확하여 널리 쓰이고 있고, computer에 연결시켜 定量的인 分析도 하고 있다.

著者들은 ECG gated cardiac blood pool scan으로 左心室의 機能을 측정하기 위하여 1979年 4월부터 1980年 3월까지 서울大學校病院에 入院한 각종 心疾患 患者 165명과 正常對照群 26명에서 blood pool scan을 시행하고 分析하였다.

1. 20명에서 blood pool scan에서 구한 心搏出係數

를 X-ray의心臟映畫造影術에서 구한心搏出係數와 비교하여 보았다. 相關係數가 0.885로 높은 정확도를 보이고 있었다.

2. 心搏出係數를 New York Heart Association의 functional class에 따라 분류하여 보았다. 正常對照群에서는 66.7±6.1%, class I에서 62.1±9.0%, II에서 53.4±9.1%, III에서 42.2±12.3%, IV에서 31.0±8.8%로 心疾患의 정도를 잘 반영하여 주고 있었다.

3. 각종 心疾患에서의 心搏出係數를 구해 보았다. 虛血性心疾患에서 34.4±16.7%, 心筋病症에서 20.1±4.8%로 다른 心疾患에 비해 심하게 감소되어 있었다. 心筋硬塞症에서 硬塞의 範圍가 넓을 수록 心搏出係數가 떨어져 있었다.

4. 擴張期末과 收縮期末에서 心臟輪廓을 重疊시켜 左心室의 壁運動을 分析하여 보았다. 心筋病症 患者에서는 全然的인 hypokinesia가 있었고, 心筋硬塞症 患者에서는 心電圖所見과 相應하는 부위에서 akinesia를 관찰할 수 있었다.

이와같이 ECG gated cardiac blood pool scan은 非觀血의으로 간편하게 左心室의 機能을 측정할 수 있고 또 그 成績이 種래의 方法과 비교하여 매우 정확하였다. 또한 內科의인 治療나 手術후의 경과를 쉽게 관찰할 수 있고 그 豫後도 미리 예측할 수 있어 임상적으로 크게 有用하다.

REFERENCES

- 1) Strauss, H.W., Zoret, B.L., Hurley, P.J. et al: A scintiphographic method for measuring left ventricular ejection fraction in man without cardiac catheterization. *Am. J. Cardiol.* 28: 575, 1971.
- 2) Fishman, A.P.: *Heart failure, in Beeson PB, Mc Dermott W. Wyngaarden JB, (ed): Textbook of Medicine. 15th ed. Philadelphia, WB Saunders, 1979. p.1083.*
- 3) Pierson, R.N. Jr., Van Dyke D.C.: *Analysis of left ventricular function. in Pierson RN Jr. (ed): Quantitative Nuclear Cardiology. New York, Wiley, 1975. p.123.*
- 4) Van Dyke, D., Anger, H.O., Sullivan, R.W. et al: *Cardiac evaluation from radioisotope dynamics. J. Nucl. Med., 13:585, 1972.*
- 5) Weber, P.M., dos Remedios, L.V., Jasko, I.A.: *Quantitative radioisotopic angiocardigraphy. J. Nucl. Med., 13:815, 1972.*
- 6) Schelbert, H.R., Verba, J.W., Johnson, A.D., et al: *Nontraumatic determination of left ventricular ejection fraction by radionuclide angiocardigraphy. Circulation, 51:902, 1975.*
- 7) Kurtz, D., Ahnberg, D.S., Freed, M., et al: *Quantitative radionuclide angiocardigraphy. Determination of left ventricular ejection fraction in children. Br. Heart J., 38:966, 1976.*
- 8) Secker-Walker, R.H., Resnick, L., Kunz, H., et al: *Measurement of left ventricular ejection fraction. J. Nucl. Med., 14:798, 1973.*
- 9) Green, M.V., Ostrow, H.G., Douglas, M.A., et al: *High temporal resolution ECG-gated scintigraphic angiocardigraphy. J. Nucl. Med., 16:95, 1975.*
- 10) Bacharach, S.L., Green, M.V., Borer, J.S., et al: *A real-time system for multi-image gated cardiac studies. J. Nucl. Med., 18:79, 1977.*
- 11) Borer, J.S., Bacharach, S.L., Green, M.V., et al: *Real-time radionuclide cineangiography in the non-invasive evaluation of global and regional left ventricular function at rest and during exercise in patients with coronary-artery disease. N. Engl. J. Med., 296:839, 1977.*
- 12) Folland, E.D., Hamilton, G.W., Larson, S.M., et al: *The radionuclide ejection fraction: A comparison of three radionuclide techniques with contrast cardiography. J. Nucl. Med., 18:1159, 1977.*
- 13) Pierson, R.N. Jr., Alam, S., Kemp, H.G., et al: *Radiocardiography in clinical cardiology. Seminar Nucl. Med., 7:85, 1977.*
- 14) Dodge, H.T., Sandler, H., Ballow, D.W., et al: *The use of biplane angiocardigraphy for measurement of left ventricular volume in man. Am. Heart J., 60:762, 1960.*
- 15) Sandler, H., Dodge, H.J.: *Use of single plane cineangiograms for the calculation of left ventricular volume in man. Am. Heart J., 75:325, 1968.*
- 16) Beranek, I., Moore, R., Kim, S., et al: *Comparison of ejection fraction calculated by nine*

- different volume calculation method. Radiology, 120:533, 1976.*
- 17) Gootman, N., Rudolph, A.M., Buckley, N.M.: *Effects of angiocardigraphic contrast medium on cardiac function. Am. J. Cardiol., 25:59, 1970.*
 - 18) Marshall, R.C., Berger, H.J., Costin, J.C., et al.: *Assessment of cardiac performance with quantitative radionuclide angiocardigraphy. Circulation, 56:820, 1977.*
 - 19) Jengo, J.A., Mena, I., Blaufuss, A., et al.: *Evaluation of left ventricular function by single-pass radioisotope angiography. Circulation, 57:326, 1978.*
 - 20) Steele, P., Kirch, D., Le Free, M., et al.: *Measurement of right and left ventricular ejection fraction by radionuclide angiography in coronary arterial disease. Chest, 70:51, 1976.*
 - 21) Weaver, W.D., Williams, D.L., Hamilton, G.W., et al.: *The first-transit radionuclide ejection fraction: A study of data analysis techniques, reproducibility, and correlation with the contrast angiogram. J. Nucl. Med., 18: 1977.*
 - 22) Qureshi, S., Wagner, H.N., Alderson, P.O. et al.: *Evaluation of left ventricular function in normal persons and patients with heart disease. J. Nucl. Med., 19:135, 1978.*
 - 23) Serafini, A.N., Gilson, A.J., and Smoak, W.M.: *Nuclear Cardiology. Principle and methods. Plenum Medical Book, New York, 1977.*
 - 24) Rigo, P., Murray, M., Strauss, H.W., et al.: *Scintiphographic evaluation of patients with suspected left ventricular aneurysm. Circulation, 50:985, 1974.*
 - 25) Salel, A.F., Berman, D.S., DeNardo, G.L., et al.: *Radionuclide assessment of nitroglycerine influence on abnormal left ventricular segmental contraction in patients with coronary heart disease. Circulation, 53:975, 1976.*
 - 26) Kostuk, W.J., Ehsani, A.A., Karliner, J.S., et al.: *Left ventricular performance after myocardial infarction assessed by radioisotope angiocardigraphy. Circulation, 47:242, 1973.*
 - 27) Rigo, P., Murray, M., Strauss, H.W., et al.: *Left ventricular function in acute myocardial infarction evaluated by gated cineangiography. Circulation, 50:678, 1978.*
 - 28) Borer, J.S., Bacharach, S.L., Green, M.V., et al.: *Nitroglycerine in exercise-induced left ventricular dysfunction. Circulation, 57:314, 1978.*
 - 29) Borer, J.S., Bacharach, S.L., Green, M.V., et al.: *Rapid evaluation of left ventricular function during exercise in patients with coronary artery disease. Circulation, 54:II-6, 1976.*
 - 30) Ehrhardt, J.C., Verani, M.S., and Marcus, M.L.: *Exercise isotope ventriculogram.: Use in assessing changes in left ventricular function. Circulation, 56:III-141, 1977. (Abstract)*
 - 31) Pierson, R.N. Jr., Lin, D.M., Dagan, J., et al.: *Serial measurement of left ventricular function by quantitation radiocardiography in a coronary care unit. J. Nucl. Med., 14:438, 1973. (Abstract)*
 - 32) Steele, P., VanDyke, D., Trow, R.S., et al.: *A simple and safe bedside method for serial measurement of left ventricular ejection fraction cardiac output and pulmonary blood volume. Brit Heart J., 36:122, 1974.*
 - 33) Steele, P., LeFree, M., Kirch, D.: *Measurement of left ventricular mean circumferential fiber shortening velocity and systolic ejection rate by computerized radionuclide angiocardigraphy. Am. J. Cardiol., 37:388, 1976.*