

# 各種 心疾患에서 放射性 同位元素 心血管 撮影術에 관한 研究

鄭俊基 · 朴宣陽 · 柳朴英\* · 趙普衍 · 金柄國 · 高昌舜

= Abstract =

## A Study on the Radionuclide Cardiac Angiography in the Various Heart Diseases

June-Key Chung, M.D., Sun Yang Park, M.D., Park-Young Ryu, M.D.\*

Bo Yeon, Cho, M.D., Byoung Kuk Kim, M.D. and Chang-Soon Koh, M.D.

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

Radionuclide cardiac angiography has distinct advantages in safety, patient comfort, cost and ease of performance. This method offers diagnostic accuracy equivalent to that of cardiac catheterization. By this method the qualitative and quantitative diagnosis of the cardiac shunts are available. Also for it is repeatable with ease and more physiologic, it has application in following pre- and post-operative shunt patients.

We performed the radionuclide cardiac angiographies in 147 cases of heart diseases and 26 cases of normal group.

1. The detection of left-to-right shunt was possible in 22 of 24 patients, and 2 patients were not diagnosed due to small shunt amount. ( $Q_p/Q_s < 1.3$ ) In 21 patients of right-to-left shunt, all were diagnosed by radionuclide cardiac angiography.

2. With the pulmonary time-activity curve,  $C_2/C_1$  ratio was calculated. In normal control group, a range of  $C_2/C_1$  ratios of 21~38% was established with a mean value of  $28.6 \pm 4.6\%$ .

In patients with left-to-right shunts determined by catheterization data, the range of  $C_2/C_1$  ratio was 33~90%, with a mean value of  $67.8 \pm 12.2\%$ .

3. In 8 cases of left-to-right shunt,  $Q_p/Q_s$  ratios determined by radionuclide cardiac angiography were compared with those of cardiac catheterization. The correlation coefficient was 0.907. ( $P < 0.001$ )

4. Postoperative radionuclide cardiac angiographies were done in 21 cases. 3 of 13 patients with left-to-right shunts were found to have residual shunts. 8 patients with right-to-left shunts were confirmed to have no residual shunt.

### I. 緒 論

放射性同位元素 心血管撮影術은 放射性同位元素를 追跡子로 써서 心臟과 血管을 造影하고 分析하는 方法으로 1962年 Bender 와 Blau 가 처음 시도한 이래 급속히 발달하여 왔다. 특히 최근에 gamma camera 의 발달<sup>1,2,3)</sup>과 computer system 의 도입<sup>4,5)</sup>으로 高速으로

精密하게 資料를 모으고 分析할 수 있게 되었다.

放射性同位元素 心血管撮影術은 종래의 心導子法과는 달리 간단하고 안전하여 쉽게 이용할 수 있고, 또 반복검사가 용이하면서도 높은 정확도를 가지고 있으면서 공간적인 解像力이 약하다는 결점을 시간적인 解像力으로 보충하는 장점이 있다.

Folse 와 Braunwald<sup>6)</sup>가 이런 放射性同位元素方法을 사용하여 心臟短絡(cardiac shunt)의 診斷을 시도한

\*국립원호병원 내과

이러 歐美에서는 이미 screening test로 이용되고 있으나 아직 國內에서는 이에 대한 본격적인 研究가 없었다. 이에 著者들은 放射性同位元素 心血管攝影術을 이용하여 心臟短絡의 定性的 및 定量的인 分析을 시도하고자 1979年 3월부터 9월까지 서울大學校病院에 入院한 各種 心疾患 患者 147명과 正常對照群 26명을 대상으로 放射性同位元素 心血管攝影術을 시행하여 分析하였다.

## II. 對像 및 方法

### 1) 對 像

各種 心疾患 患者 147명과 正常對照群 26명을 대상으로 하였다. 心疾患 患者는 表 1에서와 같이 心房中隔缺損이 15예, 心室中隔缺損이 19예, 動脈管開放이 5예로 左右短絡(left to right shunt)이 39예 이었고, Fallot 四徵症이 20예, Eisenmenger complex가 4예로 右左短絡(right to left shunt)이 24예 이었다. 이 중 左右短絡 13예와 右左短絡 8예는 開心手術後 시행하였다.

이외에도 瓣膜心疾患이 53예, 虛血性心疾患이 13예, 大動脈瘤가 4예, 기타 다른 心疾患이 14예이었다.

### 2) 檢査方法

患者를 臥位로 한후 15인치 NaI crystal이 부착된 Ohio Nuclear 410 gamma camera detector를 左前斜位로 하고 시행하였다. Detector의 각도는 흉부 X선 所見과 心電圖所見을 참조하여 30°~45°사이에서 결정하였다. <sup>99m</sup>Tc-Human Serum Albumin 15 mCi(1 cc 이하)를 右側前肘靜脈에 순간注射後 生理食鹽水 10 cc로 流水시켰다. Ultimat film으로 1초에 1畫面씩 16畫面을 수록하면서 동시에 DEC會社의 GAMMA-11 computer에 64×64 byte mode로 1초에 2畫面씩 40초동안 수록하였다.

### 3) 分析方法

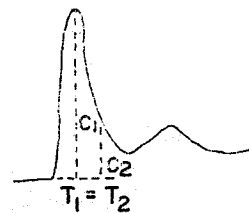
#### 1. 定性的 分析

Ultimat film의 放射性同位元素 心血管攝影所見으로 短絡의 存在여부와 方向을 판정하였다. 또 동시에 computer에서 右心室, 肺, 左心室에 特定興味部位(region of interest: ROI)를 정하여 그 部位에서의 時間에 따른 放射能值의 변화, 즉 時間-放射能曲線을 구하여 分析하였다.

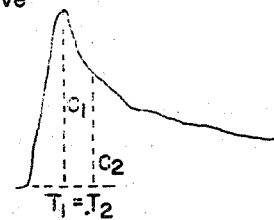
특히 左右短絡의 경우에는 肺의 時間-放射能曲線에

Table 1. Patient's Distribution

Disease	Case
Left to Right Shunt	
Atrial Septal Defect	15
Ventricular Septal Defect	19
Patent Ductus Arteriosus	5
Right to Left Shunt	
Tetralogy of Fallot	20
Eisenmenger Complex	4
Valvular Heart Disease	53
Ischemic Heart Disease	13
Aortic Aneurysm	4
Other Heart Disease	14
Normal	26
Total	173



normal pulmonary time-activity curve



left-to-right shunt

Fig. 1.  $C_2/C_1$  in the pulmonary time-activity curve.

서 最大 放射能值( $C_1$ )와 같은 時間 뒤의 放射能值( $C_2$ )와의 比 즉,  $C_2/C_1$ 比(圖 1)을 구하여 短絡을 판정하였다.

#### 2. 定量的 分析(左右短絡)

左右短絡인 경우에 肺의 時間-放射能曲線에서 본래 single pass의 曲線을 外插(extrapolation)시켜 肺血流量을 구하고 再循環에 의한 小絶頂과의 차이를 구해 그 曲線을 또 外插시켜 短絡에 의해 생긴 血流量을 얻은 다음 肺血流量과의 差를 구해 全身血流量을 계산하

었다. 이 방법으로 산출한 肺血流量과 全身血流量의 比( $Q_p/Q_s$  ratio)를 心導子에 의한 oxymetry 法에서 구한  $Q_p/Q_s$  比와 비교하여 보았다.

이외에도 放射性同位元素 心血管攝影術을 이용하여 各種 心疾患에서 心房 또는 心室의 肥大 여부 및 정도 動脈瘤의 存在여부를 判定하였다.

## Ⅲ. 成 績

### 1) 定性的 分析

左右短絡이나 右左短絡은 ultimat에서 뚜렷하게 나타났다. 즉 正常所見(圖 2)과는 달리 左右短絡인 경우에는 左心室에 나타난 同位元素가 短絡을 통해 右心室과 肺에 再循環 되기 때문에 左右室과 肺에 放射能이 계속 남아 있는 소위 smudging pattern 을 보였다(圖 3). 반면에 右左短絡인 경우에는 初期에 肺에 最大放射能이 나타나기 전에 短絡을 통해 바로 左心室에 放射能이 나타나고 이어 全身動脈에도 나타났다. Fallot 四徵症에서는 이외에도 第 4圖에서와 같이 右心室의 肥大가 보이면서 肺로 가는 循環時間이 느려져 있는 肺動脈狹窄症의 所見도 보였다.

이런 短絡은 右心室과 左心室의 時間—放射能曲線에

서 더 뚜렷하게 나타났다. 즉 第 5圖에서와 같이 右左短絡에서는 右心室의 總頂에 短絡을 통해 同位元素가 左心室에 가기 때문에 小總頂이 같이 나타나고, 左右短絡이 있는 경우에는 右心室의 本래 總頂위에 左心室 總頂에 맞추어 短絡에 의한 小總頂이 나타났다. 또 이런 短絡의 有無는  $^{125}\text{Xe}$ -saline 이나  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -macroaggregated albumin 을 이용하여 더 확실히 알 수 있었다. 右左短絡이 있는 경우에 正常에서는 肺에서 換氣되거

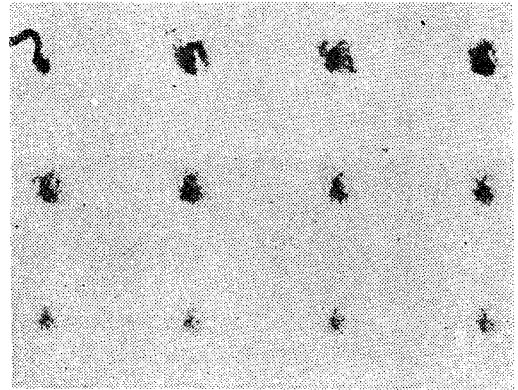


Fig. 3. Radionuclide cardiac angiography in the left-to-right shunt.

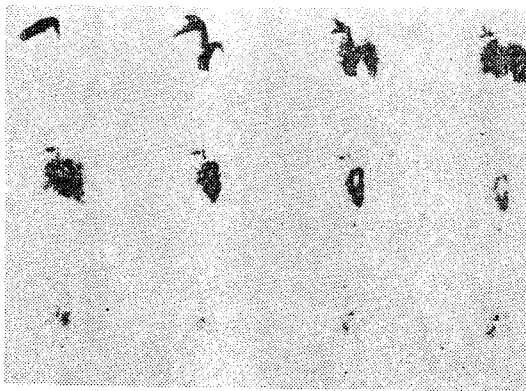


Fig. 2. Radionuclide cardiac angiography in normal case.

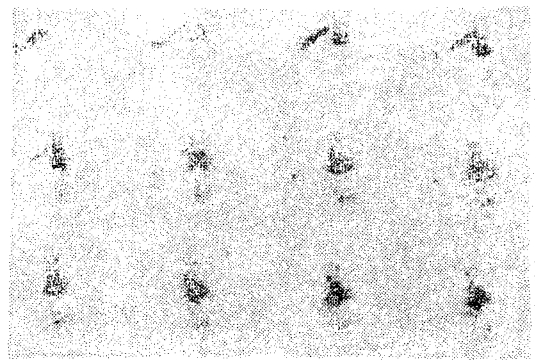


Fig. 4. Radionuclide cardiac angiography in the right-to-left shunt. (Tetralogy of Fallot)

Table 2. Detectability of the Shunt

Type	Cardiac Catheterization	Diagnosis		
		Clinical	X-ray	RI Cardiography
Lt to Rt shunt	24	23	16	22
Rt to Lt shunt	21	19	14	21
Total	45	42	30	43

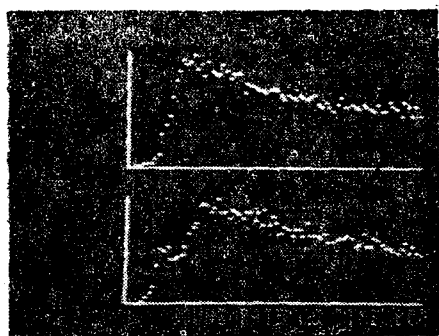


Fig. 5. Time-activity curves in the right-to-left shunt. (top: RV, below: LV)

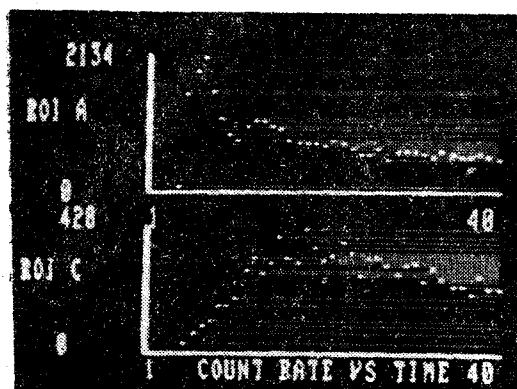


Fig. 6. Time-activity curves in the left-to-right shunt. (top: RV, below: LV)

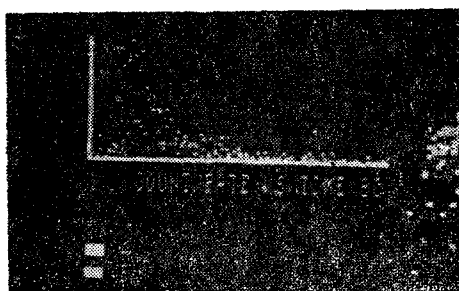


Fig. 7. Time-activity curve using  $^{99m}\text{Tc}$  macroaggregated albumin in the right-to-left shunt. (large curve: RV, small curve: LV)

나 肺의 毛細血管에 걸려 左心室에서는 나타나지 않는 放射能이 短絡에 의해 左心室에 나타났다”(圖 7).

이러한 方法으로 短絡의 有無를 診斷할 수 있었던 率은 心導子法으로 確認된 左右短絡 24예중 短絡의 量이

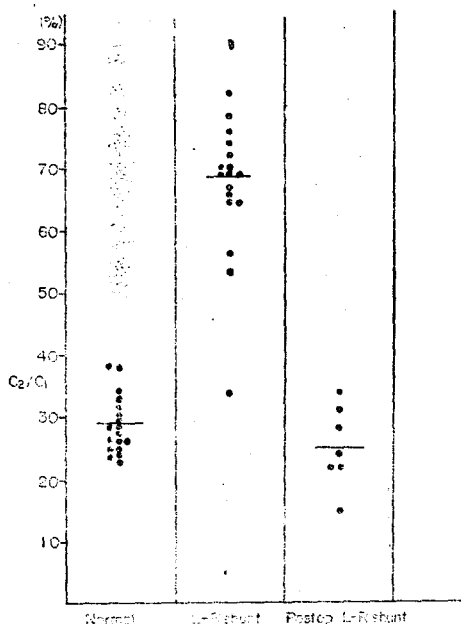


Fig. 8.  $C_2/C_1$  ratio of the pulmonary time activity curve.

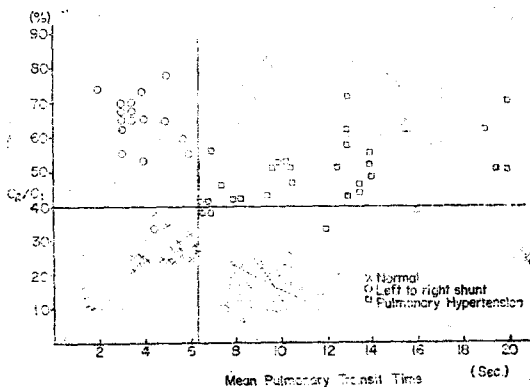


Fig. 9. The relationship between the  $C_2/C_1$  ratio and the mean pulmonary transit time.

작았던 ( $Q_P/Q_S$  비가 1.3이하) 2예를 제외한 22예에서 발견할 수 있어 發見率은 91.7%이었고 右左短絡은 21예에 모두 診斷할 수 있어 發見率은 100%이었다(表 2).

肺의 時間-放射能曲線에서 측정된  $C_2/C_1$  비는 正常對照群 26例에서는 21~38%사이로서 그 평균치는  $28.6 \pm 4.6\%$ 이었고, 心導子法으로 左右短絡이 확인된 18例에서의  $C_2/C_1$  비는  $67.8 \pm 12.2\%$ 로 正常對照群에 비하여 현저히 높아있었고 ( $P < 0.001$ )  $Q_P/Q_S$  비가 1.2인 1예 ( $C_2/C_1 = 35\%$ )를 제외하고는 모두 50%이상으로 正常對照群과 중복됨이 없이 뚜렷이 구분되었다. 또 手術로 左右短絡이 矯正된 7예에서 모두  $C_2/C_1$  비가 正常

Table 3. Comparison of the Diagnosis

Disease	Diagnosis		
	Clinical	Xray	RI Cardiology
1. Pulm Stenosis	ASD	Normal	Normal
2. Pulm Art. Dilatation	ASD	Left-to-right shunt	Delayed pulm. transit time
3. ASD	ASD	Mitral heart	Left-to-right shunt
4. Straight back syndrome	ASD	Straight supine	Normal
5. AI, VSD*	AI, VSD	Aortic heart	AI

\*  $Q_P/Q_S=1.2$

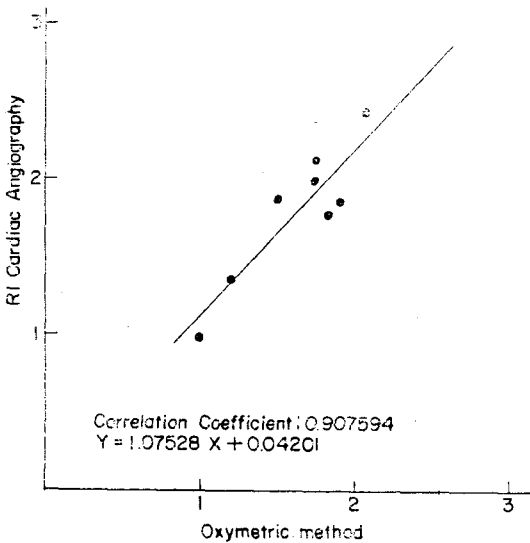


Fig. 10. The relationship of  $Q_P/Q_S$  ratios between heart scan and cardiac catheterization.

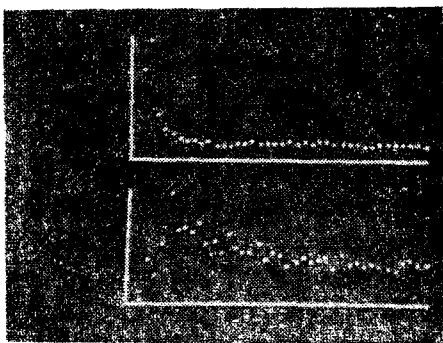


Fig. 11. Time-activity curves in Patent Ductus Arteriosus. (top: RV, below: LV)

範圍로 돌아옴을 확인할 수 있었다(圖 8).

左右短絡이 肺性高血壓으로 平均肺通過時間(mean pulmonary transit time)이 연장되어  $C_2/C_1$ 비가 증가된 예들은 平均肺通過時間이 연장되어 있는데 비하여

左右短絡의 예들은 모두 平均肺通過時間이 정상 이어서 구별이 쉽게 가능하였다(圖 9).

2) 定量的 分析(左右短絡)

肺의 時間-放射能曲線에서 구한  $Q_P/Q_S$ 비와 心導子의 oxymetry 法에 의한  $Q_P/Q_S$ 비를 8例에서 비교한 바 양자간의 상관관계는 第10圖에서 보는바와 같이 相關係數 0.907,  $P < 0.01$ 로서 유의하게 밀접한 상관관계가 있었다. 또 12例에서  $C_2/C_1$ 비와 oxymetry 法의  $Q_P/Q_S$ 를 비교한바 밀접한 상관관계가 있었다(상관계수 0.804,  $P < 0.01$ ).

3) 手術후의 矯正確認

開心手術후 21例에서 放射性同位元素 心血管攝影術을 시행하였다. 左右短絡 13例중 3例에서 短絡이 남아 있는 것을 찾아낼 수 있었고 右左短絡 8例에서는 모두 矯正된 것이 確認되었다. 短絡이 남아있는 것으로 判定된 3例중 1例는 再手術로 矯正안된 短絡을 확인하였고 2例에서는 임상적으로 短絡이 남아있는 所見을 보이고 있었다.

IV. 考 察

先天性心疾患인 心臟短絡은 보통은 心導子法으로 診斷을 내리지만 때로 幼兒나 심한 心不全症 患者에서는 시술시 위험이 따르기도 한다. 同位元素를 이용하여 非觀血의으로 간단하게 診斷하려는 노력은 일찍부터 시도되었고 최근에는 放射性 gamma camera의 발달, 새로운 同位元素의 개발, computer system의 도입 등으로 큰 結實을 맺게 되었다. Nuclear Cardiology로 稱칭되는 이러한 方法들은 수십초내에 檢査를 시행하고 血管切斷의 필요가 없이 간단하고 안전하면서도 心導子法 등 종래의 方法과 비교하여 높은 精確도를 보여 주고 있다. 또 檢査시 患者에 血流動學的 變動을 주

지않고<sup>20)</sup> 外來患者에서도 전혀치없이 시행할 수 있는 점 등의 부수적인 장점이 있다. 1960年代에는 probe 을 써서<sup>11,12)</sup>, 또1970年代에 와서는 gamma camera 나 multicrystal camera 를 써서<sup>13,14,15,16)</sup> 임상에 이용되어 왔고 또 Wagner<sup>17)</sup>는 간단하게 쓸 수 있는 휴대용 기구를 개발하는 등 임상적인 시도와 이용이 활발이 되고있다.

특히 이런 放射性同位元素 心血管攝影術은 어린아이의 15~20%에서 나타나는 機能的인 心雜音<sup>18)</sup>과 器質的인 心雜音을 쉽게 감별해 두고 病的 상태에 있는 幼兒에서 일차적인 肺疾患과 先天性心疾患을 구별하여 줄 수 있다<sup>8)</sup>. 또 기왕의 心疾患에서 心導子전에 시행하면 心導子法の 시행 여부와 方向을 제시하여 줄 수 있어 screening test 로 널리 사용되고 있다. 著者の例에서도 표 3에서와 같이 임상적으로 心房中隔缺損과 肺動脈狹窄症이 구별 안되는 경우에 감별할 수 있었고 瓣膜心疾患과 短絡의 구별, straight back syndrome 에서의 機能的인 心雜音 등을 診斷할 수 있었다.

定性的인 短絡의 診斷은 心導子法과 거의 비슷한 정확도를 보이고 있다. 단지 同位元素 方法은 血流量을 이용하여 診斷함으로써 短絡의 量이 적은 경우에는 어려움이 있고 다른 著者들도  $Q_P/Q_S$  比가 1.3이하에서는 찾아내지 못한다고 하였다<sup>19)</sup>. 또 兩方向의 短絡에서는 限界點이 있으나 <sup>133</sup>Xe-saline 이나 <sup>99m</sup>Tc-macroaggregated albumin 을 쓰면 어느정도 診斷이 가능하다<sup>21)</sup>.

著者の 경우 右左 短絡은 100%, 左右短絡은 91.7% (22/24)에서 정성적 분석만으로 진단이 가능하였다. 左右短絡 例中 진단 못한 2例는 모두  $Q_P/Q_S$  가 1.3이하로 Serafin<sup>19)</sup>등의 보고와 일치하였다.

실제적으로  $C_2/C_1$ 比를 정하는 데는 放射性 同位元素의 순간 注入의 기술이 큰 문제가 된다. 가장 理想的인 注入方法은 靜脈 catheter 를 上大靜脈에까지 넣고 同位元素를 注射하여 生理食鹽水로 流水시키는 것이지만 著者들은 간단히 前肘靜脈에 bolus 로 注入하는 方法을 택하였다. 著者の 성적에서 보면 正常對照群의  $C_2/C_1$ 比는 21~38%로서 Folse<sup>6)</sup>등의 41%이하와 비슷하였으나 Alazraki<sup>8)</sup>, Rosenthal<sup>15)</sup>, Ashburn<sup>20)</sup>, Kinoshita<sup>21)</sup>등 보다는 높은 치를 보였다. 이러한 차이는 방사성 동위원소의 순간注入 方法의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 反面 左右 短絡의 경우에는 1例를 제외하고는 모두  $C_2/C_1$ 比가 50%이상으로 正常對照群과 중복됨이 없이 현저히 증가되어 있어 감별이 용이하였다. 注入의 성공 여부는 上大靜脈의 時間-放射能曲線으로 알 수 있는데 著者들은 특별히 二重絶頂이

없는 한 bolus 注入으로 간주하여 계산하였다.

$C_2/C_1$ 比는 左右 短絡 이외에도 肺性高血壓이 있거나 左心室의 기능이 떨어져 있는 경우에도 증가한다<sup>19)</sup>. 이때 平均肺通過時間으로 감별이 가능하다. 즉 左右短絡의 경우에는 平均 肺通過時間이 정상이나 肺性高血壓이나 左心室 기능저하인 경우에는 연장되므로 쉽게 감별할 수 있다. 平均肺通過時間은 t초후의 肺의 放射能值를  $c(t)$ 라고 할때 다음 공식<sup>22,23)</sup>에 의해 구할 수도 있으나 著者들은 간단히 右心室曲線에서 下向의 중간점에서부터 左心室曲線의 絶頂까지의 時間을 측정하여 구하였다.

$$\text{平均肺通過時間} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot c(t) dt}{\int_0^{\infty} c(t) dt}$$

短絡의 量을 측정하려는 노력은 일찍부터 시도되었다. 처음에는 肺의 時間-放射能曲線에서 再循環에 의한 小絶頂의 크기가 短絡의 量과 비례하리라는 생각으로  $C_2/C_1$ 比로  $Q_P/Q_S$  比를 예측하려는 시도가 있었으나 만족스럽지 못하였고<sup>8)</sup> Anderson 등<sup>24)</sup>이 短絡에 의한 放射能值를 구하여 定量的인 分析을 하여 心導子法과 비교하여 0.951이라는 좋은 相關係數를 얻었다. 本例에서도 數는 적지만 좋은 相關係數를 보이고 있다. 특히 이 方法으로 短絡의 量을 측정할 때는 理想的인 bolus 注入이 필수적이다. 右左短絡에서도 定量的인 分析을<sup>25,26)</sup> 시도할 수가 있다. 즉 <sup>99m</sup>Tc-macroaggregated albumin 을 注射후 肺의 放射能值와 全身에서의 放射能值를 비교하여 分析할 수 있으나 아직 보편화하지 못하는 실정이다.

短絡의 診斷에서 정확한 해부학적 위치는 알아 내기가 힘들다. 心房中隔缺損과 心室中隔缺損의 감별 진단은 어려움이 있으나 detector의 각도를 조절하여 右心室의 時間-放射能曲線을 얻어내면 감별이 가능하다. 動脈管開放은 쉽게 감별이 된다. 즉 肺와 左心室의 時間-放射能曲線에서는 再循環을 보이면서 右心室의 曲線에서 再循環에 의한 小絶頂이 없으면 心臟부의 左右短絡 즉 動脈管開放을 의심할 수 있다(圖 11). 著者들도 4예의 動脈管開放을 放射性同位元素 心血管攝影所見만으로 診斷을 내릴 수 있었고 이중 1예의 어린아이에서는 心導子法에 의한 確認없이 手術을 하여 矯正하였다.

放射性同位元素 心血管攝影術은 手術후의 矯正 여부를 確認하는 데에 매우 유용하다. 短絡의 矯正 여부는 時間-放射能曲線으로 쉽게 판정할 수 있고 기타 다른 瓣膜疾患이나 動脈瘤 등도 心血管攝影所見으로 쉽게 감

과를 관찰할 수 있다<sup>27)</sup>.

이 檢査方法은 短絡疾患 이외에도 다른 心疾患에서 유용하다. 瓣膜心疾患에서는 心房이나 心室의 肥大 擴張 및 血流의 逆流등을 알아낼 수 있고 心室瘤나 動脈瘤의 존재 여부, 血管의 開存 여부 또 心囊滲出液의 有無도 判定할 수 있다.

同位元素 心血管攝影時의 放射線照射量은 아주 적은 것으로 밝혀져 있다. <sup>99m</sup>Tc-Human Serum Albumin 을 사용하는 경우 全身에 받는 放射線量은 16~20 mrad/mCi<sup>28)</sup>로 心導子法에 의한 心血管映畫造影術의 2%미만<sup>29)</sup>의 放射線만 받을 뿐이다.

放射性同位元素 心血管攝影術은 心導子法에서 제공해 주는 心臟이나 血管의 壓力를 측정하지 못하고, 해부학적인 정확한 위치를 보여주지 못하는 限界點은 있으나 이외에도 血液量을 같이 측정해주면 心搏出量 肺血流量, 右心室과 左心室의 血流量 등이 여러가지 心機能 指數를 얻을 수 있어 임상적인 유용도가 크다.

## V. 結 論

非觀血의 方法인 放射性同位元素 心血管攝影術로 心臟短絡의 定性的 및 定量的인 分析을 시도하고자 1979年 3月부터 9월까지 서울大學校病院에 入院한 各種心疾患 患者 147명과 正常對照群 26명을 대상으로 放射性同位元素 心血管攝影術을 시행하여 다음과같은 結果를 얻었다.

1. 心導子法으로 短絡이 확진된 左右短絡 24예중 22예에서 診斷할 수 있었고, 左右短絡 21예에서는 全例에서 診斷이 가능하였다. 放射性 同位元素法으로 左右短絡을 진단할 수 있는 최소의  $Q_P/Q_S$ 比는 1.3이였다.

2. 肺의 時間-放射能曲線에서 最大放射能值( $C_1$ )와 같은 시간 뒤의 放射能值( $C_2$ )의 比  $C_2/C_1$ 는 正常對照群에서는  $28.6 \pm 4.6\%$  (21~38%)이였고, 左右短絡에서는  $67.8 \pm 12.2\%$ 로 正常對照群에 비하여 현저히 증가되어 있었다( $P < 0.01$ ).

3. 左右短絡 8예에서 肺의 時間-放射能曲線을 이용하여 구한  $Q_P/Q_S$ 比는 oxymetry法에 의한  $Q_P/Q_S$ 比와 有意한 상관관계가 있었다(상관계수 0.907,  $P < 0.01$ ).

4) 開心手術후 短絡의 矯正여부를 放射性同位元素心血管攝影術로 쉽게 확인할 수 있었다.

이상의 成績으로 放射性同位元素 心血管攝影術은 간단하고 안전하게 心臟短絡의 定性的 및 定量的인 分析을 할 수 있었으며 그 成績이 心導子法과 비교하여 높

은 精確도를 보이고 있음을 알 수 있었고 반복시행이 용이하기 때문에 手術 후의 矯正 여부도 쉽게 判定할 수 있어 임상적으로 크게 유용하다고 생각되었다.

(本 研究을 시중 指導 校閱하여 주신 恩師 高昌舜 教授님, 金柄國 先生님, 趙普衍 先生님께 感謝를 드리며, 金일섭 先生님과 同位元素室 여러분에게 深甚한 感謝를 드립니다.)

## 참 고 문 헌

- 1) Ashburn, W.L., Harbert, J.C., Whitehouse, W. C. and Mason, D.T.: A video system for recording dynamic radioisotope studies with the Anger scintillation camera. *J. Nucl. Med.*, 9:554, 1968.
- 2) Mason, D.T., Ashburn, W.L., Harbert J.C., Cohen, L.S. and Braunwald, E.: Rapid sequential visualization of the heart and great vessels in man using the wild-field Anger scintillation camera. *Circulation*, 39:19, 1969.
- 3) Burke, G., Halko, A. and Goldberg, O.: Dynamic clinical studies with radioisotopes and the scintillation camera: IV <sup>99m</sup>Tc-sodium pertechnetate cardiac blood-flow studies. *J. Nucl. Med.*, 10: 270, 1969.
- 4) Adam, W.E., Schenck, P., Kampmann, H., Lorenz, W.J., Schneider, W.G., Ammann, W. and Bilaniuk, L.: Investigation of cardiac dynamics using scintillation camera and computer. *Medical radioisotope scintigraphy. Proc. Symp. Salzburg*, 1968, 2:77, 1969.
- 5) Jones, R.H., Bates, B.B., Goodrich, J.K. and Harris, C.C.: Basic consideration in computer use for dynamic quantitative radionuclide studies. *Proceeding of second symposium on sharing of computer programs and technology in nuclear medicine, April, 1972, CONF-720430*.
- 6) Folse, R., Braunwald, E.: Pulmonary vascular dilution curve recorded by external detection in the diagnosis of left-to-right shunts. *Brit. Heart J.*, 24:166, 1962.
- 7) Bosnjakovic, V.B., Bennett, L.R., Greenfield, L.D. and Vincan, W.R.: Dual-isotope method for diagnosis of intracardiac shunts, *J. Nucl.*

- Med.*, 14:514, 1973.
- 8) Alazraki, N.P., Ashburn, W.L., Hagen, A. and Friedman, W.F.: *Detection of left-to-right cardiac shunts with the scintillation camera pulmonary dilution curve.* *J. Nucl. Med.*, 13:142, 1972.
  - 9) Prinzmetal, M., Corday, E., Spritzler, R.J. and Fleig, N.: *Radiocardiography and its clinical application.* *J. Am. Med. Assoc.*, 139:617, 1949.
  - 10) Pierson, R.N. Jr., Alam, S., Kemp, H.G. and Friedman, M.I.: *Radiocardiography in clinical cardiology.* *Seminars Nucl. Med.*, 7:85, 1977.
  - 11) Spach, M.S., Canent, R.V., Boineau, J.P., White, A.W. Jr., Sanders, A.P. and Baylin, G.J.: *Radio-isotope dilution curves as an adjunct to cardiac catheterization: I left-to-right shunts.* *Am. J. Cardiol.*, 16:165, 1965.
  - 12) Spach, M.S., Canent, R.V. and Boineau, J.P.: *Radio-isotope dilution curves as an adjunct to cardiac catheterization: II right-to-left shunts.* *Am. J. Cardiol.*, 16:176, 1965.
  - 13) Kriss, J.P., Matin, P.: *Diagnosis of congenital and acquired cardiovascular disease by radioisotopic angiocardiography.* *Trans. Ass. Amer. Physicians.*, 82:109, 1969.
  - 14) Hurley, P.J., Strauss, H.W. and Wagner, H.N.: *Radionuclide angiocardiography in cyanotic congenital heart disease.* *Hopkins. Med. J.*, 127:46, 1970.
  - 15) Rosenthal, L.: *Nucleographic screening of patients for left-to-right cardiac shunts.* *Radiology*, 99:601, 1971.
  - 16) Wesselhoeft, H., Hurley, P.J., Wagner, H.N., et al.: *Nuclear angiocardiography in the diagnosis of congenital heart disease in infants.* *Circulation*, 45:77, 1972.
  - 17) Wagner, H.N., Wake, R., Natarajan, J.K., et al.: *Comparison of nuclear methods of monitoring left ventricular function in man.* *J. Nucl. Med.*, 17:557, 1976. (abstract)
  - 18) Rudolph, A.M., Earnett, H.L. and Einhorn, A.H.: *Pediatrics*, 16th ed, New York. Appleton-Centry-Crofts, 1977, p. 1363.
  - 19) Serafini, A.N., Gilson, A.J. and Smoak, W.M.: *Nuclear cardiology principle and methods.* New York, Plenum Medical Book, 1977.
  - 20) Ashburn, W.L.: *Application of the gamma-ray scintillation camera in cardiovascular diagnosis.* *Heart Bulletin*, 20:41, 1970.
  - 21) Kinoshita, M., Nakao, K., Nohara, Y., et al.: *Detection of circulatory shunts by means of external counting method.* *Jap. Circ. J.*, 33:815, 1969.
  - 22) Pierson, R.N., Jr., Kriss, P.P., Jones, R.H. and Macintyre, W.J.: *Quantitative nuclear cardiology.* New York, John Wiley & Sons, 1975, p.19.
  - 23) Weber, P.M., dos Remedios, L.V. and Jasko, I.A.: *Quantitative radioisotopic angiocardiography.* *J. Nucl. Med.*, 13:815, 1972.
  - 24) Anderson, P.N.W., Jones, R.H. and Sabiston, D.C. Jr.: *Quantitation of left-to-right cardiac shunts with radionuclide angiography.* *Circulation*, 49:512, 1974.
  - 25) Kennedy, J.C., Taplin, G.V.: *Albumin macroaggregates for brain scanning; Experimental basis and safety in primates.* *J. Nucl. Med.*, 6:566, 1965.
  - 26) Lin, C.Y.: *Lung scan in cardiopulmonary disease I, Tetralogy of Fallot.* *J. Thoracic Cardiovasc. Surg.*, 61:370, 1971.
  - 27) Kriss, J.P., Freedman, G.S., Euright, L.P., Hayden, W.G., Wexler, L. and Shumway N.E.: *Radioisotopic angiocardiography: Preoperative and postoperative evaluation of patients with diseases of the heart and aorta.* *Radiol. Clin. N. Am.*, 9:369, 1971.
  - 28) Wellman, H.N., Kereiakes, J.G. and Erauson, B.: *Radiation dose and effects.* *Atomic energy commission symposium series 20, Oak Ridge, Tennessee, 1970, p. 133.*