

인체에서 Fick 원리 및 열희석법에 의한 심박출량 측정의 비교 연구**

장 병 철*, 김 은 기*, 이 철 주*, 조 범 구*, 홍 승 록*, 홍 필 훈*

— Abstract —

Comparison of Cardiac Output Determination by Direct Fick and Thermodilution Methods in Man**:

B.C. Chang, M.D.,* E.K. Kim, M.D.,* C.J. Lee, M.D.,*
B.K. Cho, M.D.,* S.N. Hong, M.D.* and P.W. Hong, M.D.*

Measurement of cardiac output by thermodilution method is easy to perform and can be repeated at very short intervals and offers a number of theoretical and practical advantages.

The purpose of this paper is to reevaluate the accuracy and reproducibility of the thermodilution cardiac output by comparing the results with those obtained by the direct Fick technique.

From January through April, 1981 (4 months), 26 simultaneous cardiac output measurements were made using thermodilution and direct Fick methods in 12 patients in the intensive care unit of Severance Hospital following open heart surgery.

The average age of the patients was 34.8 ± 12.0 (SD) years (range; 17-57 years).

For cardiac output determination by thermodilution technique (CO_{TD}), a Swan-Ganz Thermodilution Catheter, Model 93A-131-7F (Edwards Laboratories), a Cardiac Output Computer, Model 9520A, and Strip Chart Recorder, Model 9810 (Edwards Laboratories) were used. For the determination of cardiac output by direct Fick principle (CO_{Fick}), a Van Slyke Manometric Apparatus (Thomas) for the measurements of arteriovenous oxygen content difference and a Collin's Respirometer with Kymograph for the measurement of oxygen consumption were used.

The correlation between the simultaneously measured CO_{TD} and CO_{Fick} was found to be $CO_{Fick} = 0.95 \cdot CO_{TD} + 0.1073$, ($r = 0.9777$, $P < 0.001$).

For 26 double or triple determinations of CO_{TD} , the values ranged from 1.77 L/min to 6.66 L/min, with a reproducibility of 2.18%. The maximum difference of CO_{TD} for CO_{Fick} was between +11.99% and -12.99% (Mean \pm SD = $6.07 \pm 3.97\%$).

Measurement of cardiac output by thermodilution method provides a simple, rapid, reproducible and highly accurate method for multiple cardiac output measurements suitable for use at the bedside.

I. 서 론

심박출량을 측정하는 방법에 있어서 현재까지도 가장

* 연세대학교 의과대학 흉부외과학교실

** 연세대학교 대학원 석사학위 논문으로 제출 하였음.

* Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery,
Yonsei University, College of Medicine

정확한 방법은 역시 직접 Fick 원리에 의한 것은 주지의 사실이다.

1870년 Adolph Fick가 혈류량을 측정할 수 있는 가설을 발표한 후, 1886년 Grehant와 Quinquard는 동물 실험에서 우심도자법을 실시하고 이러한 직접 Fick원리를 이용하여 심박출량을 측정하였다¹⁾. 또 1953년 Fegler 등^{1,2,7,8)}이 열희석법을 처음으로 심박출량의 측정에 이용한 뒤, 여러학자들은 이 방법이 인

체에 사용되기에 가장 적합한 방법이라고 하였다^{4,5,15,19}
1970년 Swan 등¹⁸⁾은 기구가 부착된 (Balloontipped) 심도자를 혈류의 유도에 의하여 삽입하는 방법을 개발하여, 방사선 투시의 도움이 없이 우심도자법을 간단히 실시할 수 있게 되었다. 이러한 Swan-Ganz「카테타」를 이용함으로써 극히 위독한 상태의 환자에 서라도 투시의 도움이 없이 중환실, 응급실, 또는 수술실에서 우심방압, 폐동맥압, 폐혈관 말초쇄기압의 측정 및 열회석법에 의한 심박출량을 손쉽게 측정할 수 있게 되었다¹⁷⁾.

근래 우리나라에서도 매우 위독한 상태의 의상 환자를 많이 접하게 되었고, 심근 경색증의 빈도가 증가되는 경향이며, 또한 개심수술의 발달로 심장의 기능이 매우 나쁜 환자를 많이 수술하게 되었다. 이러한 환자들에서 수시로 심박출량 및 폐혈관 말초쇄기압을 측정하여 정확한 혈액학적 자료를 얻을 수 있게 되었으며, 환자의 진단 및 치료에 많은 도움이 되었다.

열회석법에 의한 심박출량의 측정은 여러 학자들에^{4,5,15,16)} 의해 신뢰도 및 재현성의 정확성이 인정된 상태이다. 저자는 근래까지 측정된 열회석법에 의한 심박출량의 정확도 및 신뢰도를 재확인하고, 또 직접 Fick원리에 의한 심박출량과 비교 관찰하여 상관계수를

측정함으로써 앞으로 측정될 혈액학적 자료가 연구자료에 사용되도록 본 연구에 착수 하였다.

II. 연구대상 및 방법

A. 연구대상

1981년 1월부터 1981년 4월까지, 4개월간 연세대학교 의과대학 흉부외과에 입원한 환자중, 개심수술을 받고 수술직후 Swan-Ganz「카테타」를 이용하여 우심도자법을 시행할 필요가 있다고 생각되는 환자를 대상으로 하였다.

환자의 연령별 분포는 17세에서 57세 사이로 평균 34.8 ± 12.0 세 이었다. 대상환자중 남자는 7례, 여자는 5례였다(제 1표).

대상환자는 판막대치술; 8례, 상행대동맥-관상동맥 우회 회로술, 2례, 좌심방 점액종 절제술; 1례, 그리고 2차형 심방중격 결손 교정 및 승모판 대치술이 1례로, 모두 12례에서 연구가 되었다.

B. 연구방법

우심도자법 및 열회석법에 의한 심박출량 측정을 동시에 하기 위하여, Swan-Ganz 열회석「카테타」, Mo-

〈제 1표〉 환자의 연령, 성별 및 체표면적의 분포

| 환자수 | 일련번호 | 연령(년) | 성별 | 체표면적(M ²) | 수술명 |
|-----|--------|-------|----|-----------------------|---------------------|
| 1 | 1 | 45 | F | 1.30 | MVR + TA |
| 2 | 2, 3 | 57 | M | 1.73 | ACBG |
| 3 | 4-6 | 35 | M | 1.83 | AVR |
| 4 | 7-9 | 48 | F | 1.26 | LA Myxoma, Excision |
| 5 | 10, 11 | 35 | M | 1.62 | MVR |
| 6 | 12, 13 | 37 | F | 1.36 | MVR + TA |
| 7 | 14-16 | 21 | M | 1.51 | ASD repair + MVR |
| 8 | 17 | 35 | F | 1.44 | AVR + OMC |
| 9 | 18, 19 | 44 | M | 1.78 | ACBG |
| 10 | 20-23 | 17 | M | 1.86 | MVR |
| 11 | 24 | 23 | M | 1.48 | MVR |
| 12 | 25, 26 | 20 | F | 1.49 | MVR + TA |

평균연령 : 34.8 (범위 : 17-57)년

평균 체표면적 : 1.56M²

AVR : Aortic Valve Replacement MVR : Mitral Valve Replacement
 TA : Tricuspid Annuloplasty OMC : Open Mitral Commissurotomy
 ASD : Atrial Septal Defect ACB : Aorto-Coronary Bypass Graft
 LA : Left Atrial

del 93A-131-7F (Edwards Laboratories)를 사용하였다.

전례에서 정확성을 기하기 위하여 좌측 척측피 정맥을 통하여 투시의 도움이 없이 우심도자법을 시행하였고, 단순 흉부촬영후 도자의 침단이 좌측 또는 우측 폐동맥에 정확히 삽관된 것을 확인하였다. 폐혈관 말초쇄기압을 측정하고, 우심방압을 측정하여 도자의 위치가 정확한 것을 다시 확인하였다.

열회석법과 직접 Fick원리에 의한 심박출량 측정치의 비교는 폐외순환이 끝난후 약 6시간이 경과한 다음, 배위에서 심박동수, 호흡수 등이 안정된 다음 실시하였다. 부정맥이 심한 환자는 연구대상에서 제외 되었으며, 심실성 기의 수축이 있던 환자에서는 폐외 심박동기(External pacemaker)를 사용하여 심박동수가 일정하게 된 다음 심박출량을 측정하였다.

1. 직접 Fick원리에 의한 심박출량의 측정

산소소모량을 측정하기 시작한 후, 약 5분에서 8분 사이에 동·정맥혈의 산소 함량 차이를 측정하기 위하여 각각 혈액을 채취하였다. 즉 우심도자법에 사용된 Swan-Ganz[카테타]의 원위공을 통하여 혼합 정맥혈을 채취하였고, 동시에 좌측 요골동맥에 삽관된 「폴리에틸렌 카테타」로 부터 동맥혈을 채취하였다. 혈액 채취시 헤파린(Heparin sulfate)으로 전처지된 2cc의 주사기를 사용하였고, 특히 주사기내에 공기가 들어가지 않도록 주의 하였다.

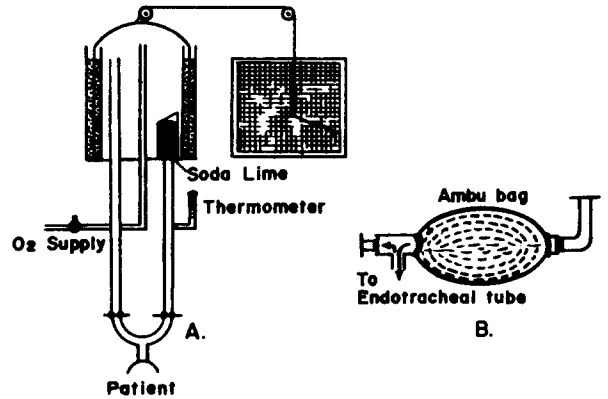
채취된 동맥혈 및 정맥혈은 즉시 얼음통에 넣어 적혈구 내에서의 대사를 최대한 방지 하였다. 동맥혈 및 정맥혈의 산소함량 측정은 Van Slyke 압력장치(Thomas)를 사용하였다.

직접 Fick원리를 이용한 심박출량 측정시에 한 환자에서도 산소소모량을 매번 측정하여 더욱 정확성을 기하도록 노력하였다⁶⁾.

26개의 연구자료 중 20개에서는 기관내 관을 통하여 조절호흡을 실시하면서 산소소모량을 측정하였고, 6개의 자료는 기관내 관을 발관한 다음 자기호흡에 따라 이를 측정하였다⁹⁾.

산소소모량의 측정시 사용된 기구는 Collins Respirometer(Cap. 13.5 Liters, 1232, Factor 41.27cc/min), Standard Kymograph(Speeds 32mm/min, 1920)를 사용하였다(제 1도).

먼저 산소소모량을 측정하기 전에 폐량계 원통 내부의 호기회로에 설치한 이산화탄소 흡수제인, 소다라임(Soda Lime)의 신선도를 확인하였고, 원통에 산소를 채워 흡기 산소분율(FiO₂)이 0.4~0.6이 되도록 하였다. 폐량계 원통 주위에 채워진 물에 산소를 포화시



제 1도. Collin's Respirometer 를 이용한 산소소모량 측정 장치의 모형도

A ; 자기호흡, B ; 조절호흡 환자에서의 사용한 장치

키기 위하여 약 5분간 폐량계를 방치 하였다. 폐량계 호기회로에 온도계를 설치하여 폐량계의 공기 온도를 측정하였으며, 대기압을 측정하여 산소소모량을 STPD(Standard Temperature, Pressure, and Dry)로 교정하였다.

산소 소모량을 측정하기 시작한 후 약 5분 이내에 Swan-Ganz[카테타]와, 요골동맥관으로 부터 혈압, 심박동수, 폐혈관 말초쇄기압, 폐동맥압 및 우심방압을 측정한 결과, 실험전의 혈액학적 자료에 비해 ±10% 이내의 오차가 있는 경우에 열회석법에 의한 심박출량을 측정하고, 동맥혈 및 혼합정맥혈을 채취하였다. 산소소모량을 측정 하면서, 열회석법에 의한 심박출량의 측정 및 동맥혈과 혼합정맥혈 채취에 소요된 시간은 약 8분이었다.

이상과 같이 측정된 자료를 가지고 다음의 Fick원리에 의하여 심박출량을 계산하였다.

$$C.O. (Liter/minute) = \frac{\dot{V}O_2 (STPD)}{(C_a O_2 - C_v O_2) \times 10}$$

C.O. ; 심박출량

C_aO₂ ; 동맥혈 산소함량(ml/100 ml)

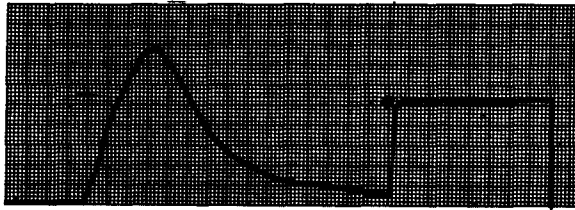
C_vO₂ ; 혼합정맥혈 산소함량(ml/100 ml)

$\dot{V}O_2$; 산소소모량(ml/min)

STPD; Standard Temperature, Pressure and Dry

2. 열회석법에 의한 심박출량의 측정

열회석법에 의한 심박출량의 측정에 사용된 전산기는 Cardiac Output Computer, Model 9520A (Edwards Laboratories)을 이용하여 표준 열곡선을 확인 하였다(제 2도).



제 2도. 표준 열회석 곡선
 심박출량; 4.61L/min
 * 교정신호; 0.5℃

주입액은 0°~1°C의 5% 포도당 용액 10cc를 사용하여 개방적 수동식 주입(Open-System Manual Injection)을 하였다. 우심방내로 주입액을 주입할 때 항상 10cc가 4초 이내에 주입되도록 하였다.

심박출량의 측정은 1분 이내에 2회내지 3회 실시하였으며, 표준 열곡선의 외곡이 없을 때에 산술평균치를 구하여 직접 Fick원리에 의한 심박출량과의 사이에 신뢰구간을 설정하고, 짝을 이룬 두 표본 사이에 t-test를 하여 통계적 관찰을 하였다.

III. 결 과

연구대상 환자 12례에서 열회석법 및 직접 Fick원리에 의한 심박출량을 동시에 측정하였고, 26개의 자료를 얻어 통계적 관찰을 하였다.

Fick원리에 의해 측정된 심박출량은 평균 4.06 ± 1.38L/min (범위; 1.54~7.30L/min)였다. 열회석법에 의한 심박출량은 평균 4.15 ± 1.41L/min (범위; 1.77~6.66L/min)로 짝을 이룬 두 표본의 산술평균을 이용한 신뢰구간의 +0.2~-0.04로 나타나, 두 모 평균간에는 유의한 차이가 있었다(제 2표).

그리고 열회석법 및 직접 Fick원리에 의한 심박출량 즉 두 표본 사이의 직선 회귀방정식은 다음과 같다(제 3도).

$$n = 26$$

$$CO_{Fick} = 0.95 \cdot CO_{TD} + 0.1073$$

$$r = 0.9777, p < 0.001$$

n ; 연구자료수

CO_{Fick} ; 직접 Fick원리에 의한 심박출량

CO_{TD} ; 열회석법에 의한 심박출량

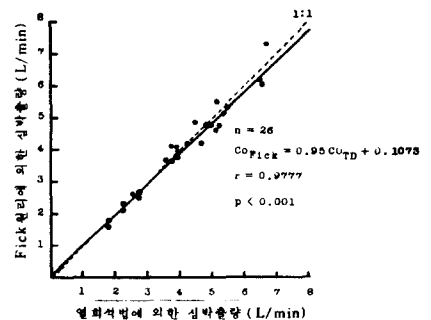
r ; 상관계수

동시에 측정된 두 표본에서 열회석법에 의한 심박출량을 대조표본으로 하고 직접 Fick원리에 의한 심박출량을 실험 표본으로 하여 볼 때, 실험표본의 최고오차는 +11.99%에서 -12.99%로 평균 6.07 ± 3.97% 이

〈제 2 표〉 열 회석법 및 Fick방법에 의한 심박출량 측정의 작비교

| 일련 번호 | Fick방법 (L/min) | 열 회석법 평균 (L/min) | 열 회석법 (L/min) 범 위 | 산소소모량 (ml/min) |
|----------|-------------------|------------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | 1.78 | 1.78 | 1.72-1.83 | 142.00 |
| 2 | 2.72 | 2.72 | 2.68-2.75 | 202.87 |
| 3 | 4.10 | 3.87 | 3.80-3.93 | 235.41 |
| 4 | 4.11 | 3.67 | 3.58-3.76 | 247.52 |
| 5 | 4.81 | 4.44 | 4.13-4.74 | 263.40* |
| 6 | 4.18 | 4.66 | 4.60-4.72 | 252.00* |
| 7 | 1.54 | 1.77 | 1.69-1.85 | 136.97 |
| 8 | 2.29 | 2.21 | 2.18-2.24 | 172.46 |
| 9 | 2.17 | 2.20 | 2.18-2.23 | 177.21 |
| 10 | 4.25 | 4.26 | 4.25-4.26 | 226.57 |
| 11 | 5.33 | 5.47 | 5.44-5.50 | 193.58* |
| 12 | 3.63 | 3.74 | 3.63-3.84 | 196.67 |
| 13 | 3.62 | 3.58 | 3.46-3.69 | 184.86 |
| 14 | 4.61 | 5.11 | 4.63-5.45 | 249.20 |
| 15 | 5.15 | 5.36 | 5.09-5.54 | 259.88 |
| 16 | 4.78 | 4.79 | 4.78-4.81 | 226.30* |
| 17 | 2.61 | 2.51 | 2.41-2.60 | 190.16 |
| 18 | 4.78 | 4.94 | 4.93-4.95 | 211.69 |
| 19 | 4.52 | 5.12 | 5.02-5.21 | 242.46 |
| 20 | 3.96 | 3.91 | 3.57-4.23 | 263.44 |
| 21 | 3.77 | 3.93 | 3.89-3.97 | 254.54 |
| 22 | 4.72 | 5.22 | 5.18-5.26 | 251.62* |
| 23 | 7.30 | 6.66 | 6.58-6.73 | 272.34* |
| 24 | 2.59 | 2.77 | 2.66-2.92 | 202.63 |
| 25 | 6.12 | 6.49 | 6.34-6.64 | 195.80 |
| 26 | 6.13 | 6.59 | 6.37-6.87 | 218.94 |

평균: 4.06 ± 1.38 4.14 ± 1.41 218.10 ± 36.87
 * 자기호흡



제 3도. 열회석법 및 Fick원리에 의한 심박출량의 회귀곡선

있다.

반대로 직접 Fick원리에 의한 심박출량을 대조표본으로 하고, 열회석법에 의한 심박출량을 실험표본으로 한 결과, 최고오차는 +8.77%에서 -14.94%로 나타나, 평균 $5.44 \pm 4.30\%$ 였다. 최고오차가 나타난 자료의 일련번호는 제 7번과 제 23번(제 2표)으로 심박출량이 가장 적었던 것과 가장 많았던 경우이다. 그러나 제 3도에서 나타난 것과 같이 심박출량의 다소에는 관계가 없었다.

열회석법에 의한 심박출량의 재현성(Reproducibility)의 측정은 연구자료 전례에서 1분 이내에 2회 또는 3회 반복 측정하여 다음의 방정식을 이용하였다.

$$S^2 = \frac{1}{2n} \cdot \sum_{i=1}^n d^2$$

s ; 재현성(Reproducibility)

n ; 연구자료수

d ; 반복 측정된 자료의 최고 오차(백분율)

재현성이 2.18%로 나타나 반복 측정의 정확성이 통계적으로 매우 의의가 있었다.

즉 열회석법과 직접 Fick원리에 의한 심박출량 사이의 상관계수는 0.9777, $P < 0.001$ 로 통계학적 의의는 매우 높게 나타났다.

IV. 고 안

심박출량을 측정하는 방법에 있어서 열회석법에 의한 심박출량의 측정은 현재까지 신뢰도가 매우 높고, 간단하며, 혈액 채취가 필요없는 것은 물론, 짧은 시간 이내에 다수의 심박출량을 측정할 수 있는 장점등이 여러 학자들에 의해 발표되었다^{1,4,5,15,16,19}).

1970년 Swan 등¹⁸⁾에 의해 기구가 부착된(Balloon-tipped) 도자를 혈류의 유도에 의해 삽입하는 방법이 개발됨으로써 투시의 도움이 없이 우심도자법을 임상에 널리 사용할 수 있게 되었다. 그 후 이 Swan-Ganz「카테타」에 온도전도기(Thermistor)를 원위공에 가까이 부착하여 간단히 열회석 곡선을 그릴 수 있게 되었으며, 또한 심박출량을 측정할 수 있게 되었다⁴⁾

1953년 Fegler가 열회석법을 이용한 심박출량의 측정 방법을 처음 발표한 이후²⁾ 재현성 및 신뢰도에 많은 문제점등이 있었다⁸⁾.

Fegler는 열회석법에 의한 심박출량을 측정하기 위하여 실온의 주입액을 사용하였다²⁾. 그 후 냉각된 생리식염수를 사용한 사람도 있으나, 1961년 Evonuk²⁾ 등도 실온의 주입액을 사용하였다. 그 이유로는 냉각된

생리식염수를 사용하는 경우, ① 냉각된 생리식염수가 심근이나 심폐 혈역학에 악영향을 미칠 수 있고, ② 주입된 생리식염수가 심도자를 지나는 동안 정확한 온도를 유지하기 어려운 단점이 있기 때문이라고 하였다.

그러나 최근 전자공학의 발달에 의하여 열회석 곡선을 정확히 기록하고, 이 열회석 곡선의 적분을 쉽게 할 수 있게 되었다. 또한 개방적 수동식 주입에 의한 실온에서의 열회석과 도자를 지나는 동안 얻어지는 열을 전산화 하여 상수를 얻을 수 있다. 따라서 냉각된 주입액의 사용에 의한 문제점이 다소 배제될 수 있고, 실제 냉각된 주입액이 심근 또는 혈역학에 미치는 영향은 발견할 수 없었다.

1979년 Stawicki 등¹⁶⁾은 열회석법에 의한 심박출량을 반복 측정하였고, 이들은 주입액의 폐쇄적 자동식 주입법(Closed-System Automatic Injection)을 이용하여 실험결과를 발표하였다. 이들은 폐쇄적 자동식 주입법을 사용한 결과 재현성이 1.9%로, 개방적 수동식 주입법(Open-system Manual Injection)의 재현성, 5.9%보다 더욱 정확하다고 하였다. 그러나 Evonuk 등²⁾과 본원에서 실시하였던 개방적 수동식 주입법의 재현성은 1.6%, 2.18%로 Stawicki 등이 발표하였던 폐쇄적 자동식 주입법 보다는 재현성이 결여되나, 개방적 수동식 주입법의 재현성 보다는 더욱 정확하게 나타났다. 즉 폐쇄적 자동식 주입법을 이용하는 경우, 재순환에 의한 기술적인 문제, 열회석 곡선의 기준점의 불안정, 열회석 곡선의 연속성 및 재현성이 더욱 해결될 수 있는 방법 중의 하나라고 할 수 있다.

직접 Fick원리와 열회석법에 의한 심박출량의 측정을 동시에 실시하여 두 표본으로부터 모평균의 차이에 대한 유의성을 분석하고, 직선 회귀방정식을 구한 결과, $CO_{Fick} = 0.95 \cdot CO_{TD} + 0.1073$, 상관계수 $r = 0.9777$, $P < 0.001$ 로 나타나 두 값이 통계적으로 매우 유사하다고 하겠다. 특히 주목할 만한 사실은 심박출량이 낮은 군, 및 높은 군, 양자 모두에서 직접 Fick원리에 의한 심박출량과 열회석법에 의한 심박출량이 회귀곡선 및 1:1선에 매우 가까이 위치해 있다는 것이다.

직접 Fick원리에 의한 심박출량과 열회석법에 의한 심박출량 사이에 일치하게 나온 통계적 의의는 매우 높게 나타났으나, 상기한 두가지의 방법이 실제 심박출량과의 유의성은 아직 논란이 되고 있다^{8,14,15}).

직접 Fick원리를 이용한 심박출량의 측정에는 동·정맥혈의 산소함량의 차이와 산소소모량이 필요하다. 동·정맥산소함량의 차이는 Van Slyke 압력장치를 사용하였는데, 이것은 실제 임상적으로 가장 정확하게 혈액내의 산소함량을 측정하는 방법중의 하나이다. 그러나 정확한 조작에도 다소의 오차는 날 수가 있다.

산소소모량의 측정 방법은 몇가지가 있다. 그중 가장 정확한 것은 Scholander 장치를 이용하여 Douglas bag에 모은 호기의 산소함량을 측정하는 방법일 것이다. 그러나 실제 심폐기능이 불안정한 상태에 있거나, 매우 중증의 질환이 있는 환자에서 Douglas bag을 사용하기는 매우 힘들다.

1975년 Hoyt 등⁹⁾이 중환자에서 쉽게 산소소모량을 측정하기 위하여 Godart Pulmonet 114를 이용하였다. 물론 이것을 사용하는 때에도 문제점은 있다. 즉 폐량계의 원통내에 채워진 산소가 주위의 물에 용해될 수 있으며, 이산화탄소 흡수제인 Soda Lime의 기능에 문제가 있을 수 있다. 또한 기능적 잔류용량(FRC)의 변화에 따른 산소함량의 변화가 나타날 수 있으나, 이러한 문제는 실험전 폐량계에 채워진 산소분율(FiO_2)을 0.4~0.6으로 유지하고, 약 5분간 방치함으로써 폐량계 원통 주위에 채워진 물이 완전히 산소에 포화되어, 배제될 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 기능적 잔류용량의 변화에 따른 산소소모량의 변화는, 호기말압을 0 mmHg로 하고 동맥혈 기체 분압이 안정된 상태에서 호흡량이 일정할 때에는 무시될 수 있으리라 생각된다. 더구나 산소소모량의 측정시 폐량계의 파동촬영(Kymograph)에 나타난 산소소모의 기울기가 변형이 되지 않을 때에 산소소모량을 측정하고, 심박출량을 계산하였기에 이러한 오차는 무시될 수 있을 것으로 믿어진다.

저자의 연구에서 나타난 것과 같이 직접 Fick원리와 열회석법에 의한 심박출량 사이에는 직선적인 밀접한 상호관계가 있으므로, 산소소모량을 측정할 때에 번거로운 조작이지만 상술한 방법으로 폐량계를 이용하더라도 매우 정확한 자료를 얻을 수 있을 것이다.

최근까지 많이 사용되고 있는 심박출량의 측정 방법에는 색소회석법에 의한 것과, 전자식 유량계(Electromagnetic Flow Meter)에 의한 방법등이 있다. 1969년 Jacobs 등¹¹⁾은 전자식 유량계에 의한 방법과 색소회석법에 의한 심박출량을 실제 혈류량과 비교하였다.

전자식 유량계를 이용한 결과 실제 혈류량과 거의 일치하는 것으로 나타났다(상관계수=0.99). 색소회석법에 의한 혈류량의 측정시 실제 혈류량과 다소 차이가 있어, 상관계수=0.88로 나타났다. 특히 혈류량이 4 L/min 이하에서는 오차가 +15~+20%사이였고, 혈류량이 8 L/min 이상에서는 +50~+100% 사이로 큰 차이를 보였다고 한다. 즉 색소회석법을 이용하여 심박출량을 측정하는 경우 심박출량이 클때 오차가 많을 뿐 아니라, 열회석법에 의한 심박출량의 측정시 배제될 수 있는 번거로운 동맥혈의 채취, 재순환에 의한 색소회석곡선의 재출현, 색소의 반복 주입에 따른 문제점등 여러 단점들이 있다.

상기한 색소회석법에 의한 심박출량의 측정은 매우 일찍이 시작되었다^{7,12,13)}. 그후 열회석법과 색소회석법에 의한 심박출량 사이의 상관관계는 많은 학자들^{1,2,3,19)}에 의해 실험이 되었고, 이러한 두 심박출량 사이에는 매우 밀접한 상호관계가 있으나, 앞에서 언급한 여러 문제점들에 의해 열회석법이 근래 주로 사용되고 있다^{6,11)}.

V. 결 론

저자는 개심수술을 받은 환자 12명에서 직접 Fick원리에 의한 심박출량 및 열회석법에 의한 심박출량을 동시에 측정하여 26개의 자료를 얻어, 통계학적 관찰을 하는 과정에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 직접 Fick원리에 의한 심박출량은 평균 4.06 ± 1.08 L/min(범위; 1.54~7.30 L/min)였다.

열회석법에 의한 심박출량은 평균 4.15 ± 1.41 L/min(범위; 1.77~6.66 L/min)였다.

2. 직접 Fick원리에 의한 심박출량과 열회석법에 의한 심박출량 사이의 직선 회귀방정식은 $n=26$

$$CO_{Fick} = 0.95 \cdot CO_{TD} + 0.1073$$

상관계수=0.9777, $P < 0.001$ 로 통계적으로 두 값이 매우 유사하였다.

3. 회귀곡선에서 열회석법에 의한 심박출량을 직접 Fick원리에 의한 심박출량과 비교할 때, 심박출량의 다·소에는 관계가 없이 대개 1:1선에 가까이 위치하여 있었다.

4. 직접 Fick원리에 의한 심박출량을 대조표본으로 하고 열회석법에 의한 심박출량을 실험표본으로 할 때, 최고오차는 +11.99%~-12.99%로 평균 $6.07 \pm 3.97\%$ 로 나타났다.

5. 열회석법에 의한 심박출량의 반복 측정에 의한 백분율은 2.18%로 재현성(Reproducibility)이 매우 높은 것을 알 수 있었다.

이상의 결과로 저자는 실제 임상에 사용하기에 간편한 열회석법에 의한 심박출량을 정확히 측정함으로써, 심장과 폐에 질환이 있는 환자의 진단과 치료에 많은 도움이 될 것으로 믿어진다.

REFERENCES

1. Branthwait M.A. and Bradley R.D.: *Measurement of Cardiac Output by Thermal Dilution in Man. J. Appl. Physiol* 24:434, 1968.
2. Evonuk E., Imig C.J., Greenfield W. and Eckstein

- W.: *Cardiac Output Measurement by Room Temperature Injectate*. *J. Appl. Physiol.* 16:271, 1961.
3. Ferguson R.J., Faulkner J.A., Julius S. and Conway J.: *Comparison of Cardiac Output Determined by CO₂ Rebreathing and Dye-Dilution Methods*. *J. Appl. Physiol.* 25:450, 1968.
 4. Forrester J.S., Ganz W., Diamond G., McHugh T. Chonette D.W. and Swan H.J.C.: *Thermodilution Cardiac Output Determination with a Single Flow-Directed Catheter*. *Am. Heart J.* 83:306, 1972.
 5. Ganz W., Donosco R., Marcus H., Forrester J.S. and Swan H.J.C.: *A New Technique for Measurement of Cardiac Output by Thermodilution in Man*. *Am. J. Cardiol* 27:392, 1972.
 6. Grollman A.: *Physiological Variations of the Cardiac Output in Man*. *Am. J. Physiol.* 95:263, 1930.
 7. Hamilton W.F., Riley R.L., Attyah A.M., Courmand A., Himmelstein F.A., Noble R.P., Remington J.W., Richards D.W. and Witham A.C.: *Comparison of the Fick and Dye Dilution Methods of Measuring the Cardiac Output in Man*. *Am. J. Physiol.* 153:309, 1948.
 8. Hosie K.F.: *Thermal-Dilution Technique*. *Circulation Res.* 10:491, 2962.
 9. Hoyt J.L. and Boutros A.R.: *A Method for Measuring Oxygen Consumption and Cardiac Output in Intensive Care Units*. *Canad. Anaesth. Soc. J.* 22:460, 1975.
 10. Hurst J.W.: *The Heart*, 4th edition, New York, McGraw-Hill Company, 1978, p. 491.
 11. Jacobs R.R., Schmitz U., Heyden W.C., Roding B. and Schenek W.G.: *Determination of the Accuracies of the Dye-Dilution and Electromagnetic Flowmeter Methods of Measuring Blood Flow*. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 58:601, 1969.
 12. Kinsman J.M., Moore J.W. Hamilton W.F.: *Studies on the Circulation*. *Am. J. Physiol.* 89:322, 1929.
 13. Moore J.W., Kinsman J.M., Hamilton W.F. and Spurling R.G.: *Studies on the Circulation*. *Am. J. Physiol.* 89:331, 1929.
 14. Sade R.M., Richi A.A., Dearing J.P. and Charleston B.S.: *Calculation of Blood Flow with Pulmonary Artery Thermister Probe*. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 78:576, 1979.
 15. Sorensen M.B., Bille-Brahe N.E. and Engell H.C.: *Cardiac Output Measurement by Thermal Dilution*. *Ann. Surg.* 183:67, 1976.
 16. Stawicki J.J., Holford F.D., Michelson E.L. and Josephson M.E.: *Multiple Cardiac Output Measurement in Man*. *Chest* 76:193, 1979.
 17. Swan H.J.C. and Ganz W.: *Use of Balloon Floatalon Catheter in Critically Ill Patients*. *Surg. Clin. North Am.* 55:501, 1975.
 18. Swan H.J.C., Ganz W., Forrester J., Marcus H., Diamond G. and Chonette D.: *Catheterization of the Heart in Man with Use of a Flow-Directed Balloon Tipped Catheter*. *N. Engl. J. Med.* 283:447, 1970.
 19. Weisel R.D., Berger R.L. and Hechtman H.B.: *Measurement of Cardiac Output by Thermodilution*. *N. Engl. J. Med.* 292:682, 1975.