

# 가스 교환비(R)를 구하는 노모그램

경북대학교 의과대학 생리학 교실

黃 琪 準

==Abstract==

## Gas Exchange Ratio (R) Nomogram

Ki Jun Whang, M.D.

*Department of Physiology, Kyungpook National University School of Medicine*

A nomogram of gas exchange ratio (R) in air breathing subjects was proposed which enables a simple and rapid determination of R value using the fractional concentrations of nitrogen and carbon dioxide in the expired or alveolar gas. The readable limit of R value seems less than 1/100 of R unit and the average difference between the values from the nomogram and the actually calculated values is less than 0.005 of R unit. The usefulness of this nomogram for rapid and frequent determinations of the oxygen uptake is also suggested.

### 서 론

동물이 산출하는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 용적과 동시에 섭취하는 산소(O<sub>2</sub>)의 용적과의 비로 표시되는 호흡상(R.Q.) 또는 가스 교환비(R)는 그 동물의 energy 대사의 특징을 표시하는 중요한 요소의 하나인 것이다. 조직세포 수준에서의 R의 값 (metabolic R)은 일반적으로 안정성이 높은 것이나 호기 또는 폐포공기의 조성으로 산출되는 R의 값은 개체의 호흡상태에 따라 용이하게 변동하는 것이다. 따라서 R의 값으로 개체의 환기상태를 짐작할 수도 있으며, 또 심한 근육운동을 할때 혈중 젖산(lactic acid)의 농도가 증가하여 중탄산으로 부터의 CO<sub>2</sub>의 유리가 촉진되어 R의 값이 상승한다. 이로써 혈중 젖산농도 증가의 간접적인 지표로서 R의 값을 구하여 피검자의 체력(physical fitness)을 평가하는데 운동중의 R의 지속적인 변동을 추구하기도 한다(Issekutz and Rodahl, 1961; Issekutz et al., 1962; Naimark et al., 1964).

공기를 호흡한 사람의 R의 값은 호기 또는 폐포공기의 조성을 폐포공식(Rahn and Fenn, 1960)에 대입함으로써 구할 수 있으나 계산이 상당히 복잡하고 시간을 요하는 것이어서 R의 값을 간단히 구할 수 있는 계산도

표(nomogram)를 작성할 수 있으면 편리할 것이다. Rahn, Fenn의 O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> diagram (Rahn and Fenn, 1960)에서 R의 값을 계산 없이 구할 수 있고 또 Naimark 등(1964)은 폐포공기중의 CO<sub>2</sub> 및 질소(N<sub>2</sub>)의 농도로 부터 R을 구할 수 있는 도표를 만들어 운동중에 있어서의 R의 빈번한 산출에 이용한 바 있다. 그러나 이들을 모두 진정한 nomogram이라 볼 수 없는 것이며, 이들도 표로부터의 R의 산출에는 상당한 부정확성을 면하지 못한 것으로 보인다. 이 논문은 정확하고 정밀성이 높은 R의 nomogram의 작성 원리와 그 응용에 관하여 기술한 것이다.

### R Nomogram의 작성

원리: R은 다음 식으로 표시 된다.

$$R = \dot{V}_{CO_2} / \dot{V}_{O_2} \dots \dots \dots (1)$$

여기서  $\dot{V}_{CO_2}$  및  $\dot{V}_{O_2}$ 는 각각 단위시간의 CO<sub>2</sub> 산출량 및 O<sub>2</sub> 섭취량이다.

$\dot{V}_{CO_2}$ 는 다음 식으로 표시 된다.

$$\dot{V}_{CO_2} = \dot{V}_A \cdot F_{ACO_2} \dots \dots \dots (2)$$

여기서  $\dot{V}_A$ 는 폐포환기량,  $F_{ACO_2}$ 는 폐포공기 중의 CO<sub>2</sub> 분율농도이다.

$\dot{V}_{O_2}$ 는 다음 식으로 표시 된다.

(이논문의 요지는 제17차 대한생리학회 석상에서 발표하였음)

$$\dot{V}_{O_2} = \dot{V}_A (F_{IO_2} \cdot \frac{F_{AN_2}}{F_{IN_2}} - F_{AO_2}) \dots \dots \dots (3)$$

여기서  $F_{IO_2}$ ,  $F_{IN_2}$ 는 각각 대기중의  $O_2$  및  $N_2$ 의 분율농도,  $F_{AN_2}$ ,  $F_{AO_2}$ 는 각각 폐포공기중의  $N_2$  및  $O_2$ 의 분율농도이다.

여기서  $F_{IN_2}=0.791$ ,  $F_{IO_2}=0.209$  이고

$F_{AO_2}=1-F_{ACO_2}-F_{AN_2}$  이므로 이들을 (3)식에 대입하여 R을 구하면 다음과 같다.

$$R = \frac{F_{ACO_2}}{1.265F_{AN_2}-1+F_{ACO_2}} \dots \dots \dots (4)$$

이것은 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$\frac{F_{AN_2}-0.791}{0.791 F_{ACO_2}} = \frac{1-R}{R} \dots \dots \dots (5)$$

식(5)로부터 R의 nomogram을 다음과 같이 만들 수 있다. Fig. 1에서 보는 바와 같이  $F_{CO_2}$  및  $F_{N_2}$ 를 표시하는 두개의 평행선 OA 및 BO를 임의의 거리간격으로 그리되 양자의 눈금 값의 방향이 반대가 되게 한다. 여기서 문자 O는 양 gas의 분율농도 영을 표시한다.  $F_{N_2}=0.791$ 에 해당하는 점을 C라하고 OA의 O와 C를 직선으로 연결하여 이것을 C쪽으로 연장한다. 직선 OC는 O가  $R=0$ 이고 C가  $R=1$ 인 점으로 정한다.

어떤 시료 gas의  $F_{N_2}$ 의 값이 OB(또는 OB')로 표시된다면  $BC=F_{N_2}-0.791$ 이고  $F_{CO_2}$ 의 값이 OA(또는 O

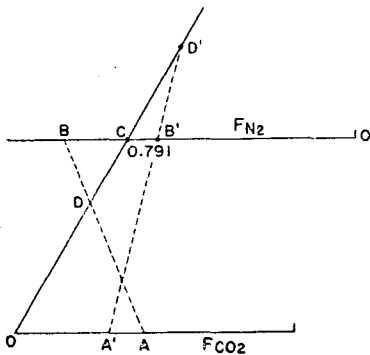


Fig. 1. Diagram showing the principle of the proposed R nomogram. The two parallel lines, OB and OA, represent fractional concentration of nitrogen ( $F_{N_2}$ ) and carbon dioxide ( $F_{CO_2}$ ) in alveolar or expired air respectively, and their scales are opposite in direction. The point C on the  $N_2$  line represents  $F_{N_2}$  of 0.791 and R of unity. The point O on the line OA represents zero of both  $F_{CO_2}$  and R. The points A (or A') and B (or B') are  $F_{CO_2}$  and  $F_{N_2}$  in a sample gas respectively. The validity of the R equation in terms of  $F_{N_2}$  and  $F_{CO_2}$  can be proved geometrically by this diagram. For detail see text.

A')로 표시 되었을 때 직선 BA와 OC의 교점을 D(또는 D')라 하면 삼각형 BCD와 삼각형 DOA와는 닮은 꼴이므로  $BC/AO=CD/DO$ (또는  $B'C/A'O=CD'/D'O$ )이다. OD 또는 OD'를 R의 값이라 정하면  $OD=1-R$  또는  $OD'=R-1$ 이 된다. 따라서 다음 식이 성립된다.

$$\frac{F_{N_2}-0.791}{F_{CO_2}} = \frac{1-R}{R} \dots \dots \dots (6)$$

$F_{N_2}<0.791$ 일때  $F_{N_2}-0.791$ 은 부(minus)의 값을 취하고  $CD'=R-1=-(1-R)$ 이므로 이때에도 위의 식은 성립된다.

여기서  $F_{CO_2}$ 의 눈금을  $F_{N_2}$ 의 그것의 0.791 배로 축소시켜 그린다면 식(5)가 또한 성립됨은 명백하다.

작성 : 상술한 원리에 따라 작성한 실지의 R nomogram은 Fig. 2(실물대의 약 1/2로 축소되어 있음)에서 보는 바와 같으며 오차를 적게 하기 위하여 직선들의 눈금을 상당히 확대하여 그렸으며 R의 값을 0.01까지 정확하게 그리고 0.002까지 목척으로 읽을 수 있게 한 것이다. 또 R의 눈금을 확대하기 위하여 그림에서 보는 바와 같이  $F_{N_2}=0.791$ 의 위치를 적당히 정하였다.

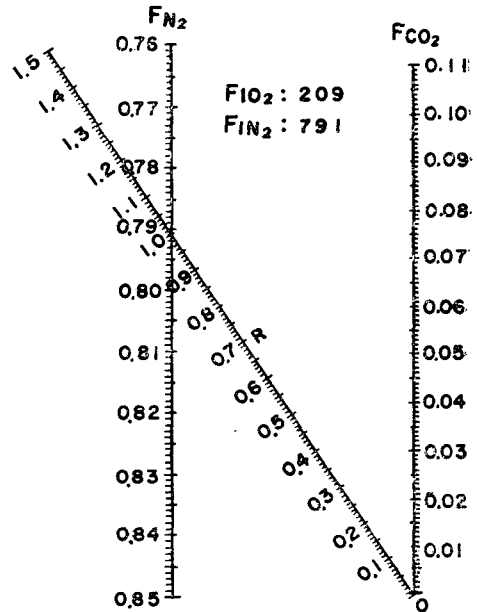


Fig. 2. R nomogram. When the values of  $F_{N_2}$  and  $F_{CO_2}$  in a sample gas are connected with a straight line, R value can be read directly on the R line.

이 nomogram으로 부터 R의 값을 구하려면  $F_{N_2}$  및  $F_{CO_2}$ 를 각각의 눈금에 맞추어 두점을 직선으로 연결할 때 이 직선과 R 직선의 교점으로부터 R을 읽으면 된다.

이 nomogram 으로 구한 R의 값과 실지 폐포공식으로 부터 계산상으로 산출된 그것과의 차이를 검정하여 보기 위하여  $F_{N_2}$  0.78~0.84,  $F_{CO_2}$  0.01~0.07의 범위에서 이들의 분율농도 0.01의 차이를 가진  $F_{N_2}$ ,  $F_{CO_2}$ 의 값 40조를 택하여 계산기로 R을 0.0001위까지 계산하여 끝위에서 사사오입한 값과 nomogram 으로 가급적 정밀하게 읽어서 얻은 R의 값과의 차이를 작조에서 산출하여 보았던바 그 평균치 및 표준오차는  $0.005 \pm 0.0005$  이었다.

### 고 찰

이 nomogram 은 사람이 공기를 호흡할 때 즉  $F_{IN_2}$ ,  $F_{IO_2}$  및  $F_{CO_2}$ 가 각각 0.791, 0.209 및 0일때 호기 또는 폐포공기의 조성으로 R의 값을 직접 구할 수 있게 만든 것이다. 따라서 흡입공기의 조성이 위의 것과 다를 때는 이용 할 수 없을 것이다. 공기 중의  $CO_2$  농도는 0이 아니나 0.03%에 불과한 것이기 때문에 무시 하여도 좋을 것이다.

이 nomogram 으로 판독 할 수 있는 R의 값은 0.002에 가까운 것이므로 정밀한 R의 값이 요구되는 실험에도 충분히 이용할 수 있는 것으로 보인다.

$F_{N_2}$  및  $F_{CO_2}$ 의 눈금의 상대적 위치는 어떻게 변하여도 두 직선이 평행이고 눈금의 비가 1 : 0.791로 고정되어 있다면 R의 값에는 변함이 없는 것이다. 그것은 식(5)의 관계를 표시하는 Fig. 1의 도형은 양 직선의 눈금의 상대적 위치나 거리와는 무관으로 항상 성립됨을 나타 내고 있기 때문이다. 따라서 실지 실험에서 가장 빈번히 나타나는  $F_{N_2}$  및  $F_{CO_2}$ 의 값에 대한 R의 값을 가능한 한 정밀히 읽을 수 있게 두 직선을 적당한 위치로 그려도 무방한 것이다. Fig. 2에서 이론적으로  $F_{CO_2}$ 가 0에 가깝고 또  $F_{N_2}$ 가 0.791에 가까울때의 R의 판독오차는 크게 나타날 가능성이 있겠으나 실지로 검사한 바에 의하면 이와 같은 경향성을 볼 수 없었다.

R의 계산에 있어 호기조성을 사용 하거나 폐포공기 조성을 사용 하거나 결과는 같은 것이다. 그것은 폐포공기가 단순히 공기에 의하여 희석 될 때에는 R의 값에 차이가 나타나지 않는 것이기 때문이다(Otis, 1964).

R nomogram 을 폐포공기식으로 부터가 아니라 그것을 수정하여 얻은 식(4)로 부터 유도하여 작성한 이유는 폐포공기식에는  $F_{AO_2}$ ,  $F_{ACO_2}$ ,  $F_{AN_2}$ , R의 4개의 변수를 포함하고 있어서 간단한 nomogram 을 만들 수 없기 때문이다.

$\dot{V}O_2 = R \cdot \dot{V}CO_2$  이고  $\dot{V}CO_2$ 는  $\dot{V}O_2$ 보다 계산이 간단한 것이므로 R을 nomogram 으로 구하여 측정된  $\dot{V}CO_2$ 를 곱하므로써  $\dot{V}O_2$ 를 보다 신속히 산출할 수 있을 것이다.

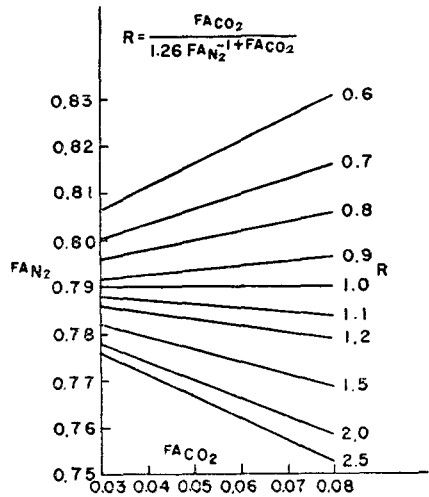


Fig. 3. Diagram showing the relationship between alveolar  $F_{N_2}$  and alveolar  $F_{CO_2}$  with parameters of R values, from Naimark et al (1964).

Naimark 등 (1964)이 발표한  $F_{AN_2}$ ,  $F_{ACO_2}$  및 R의 관계 도표 (Fig. 3)는  $F_{AN_2}$ 와  $F_{CO_2}$ 의 관계를 R을 parameter로 하여 표시하고 있기 때문에 다수의 R 값이 직선군으로 나타나 있다. R을 0.01 단위 까지 읽으려면 각 R 직선 사이에 10개의 R 직선이 다시 삽입 되어야 하며 그렇게 할 수 있다 하여도 직선의 간격이 좁은 곳에서의 판독오차의 증가는 불가피한 것이라 할 것이다. 따라서 본 nomogram 은 Naimark 등의 도표 보다 간편성 또는 정밀성에 있어서 우수한 것이라 보여진다.

### 결 론

호기 또는 폐포공기중의 질소 및 이산화탄소 농도를 사용하여 gas 교환비 (또는 호흡상)을 신속하게 구할 수 있는 nomogram 을 창작하였으며 목적을 사용하면 0.002 단위의 R 값까지 읽을 수 있고, 계산상으로 구한 R 값과 이 nomogram 으로 구한 그것과의 차이는 0.005 단위에 불과한 것이었으며, R을 빈번히 구할 필요가 있을 때 또는 산소섭취량을 산출할 때 이 nomogram 을 이용하면 노력과 시간을 많이 절약할 수 있다고 보았다.

### REFERENCES

Issekutz B. Jr., and K. Rodahl: *Respiratory quotient during exercise. J. Appl. Physiol.* 16:606, 1961.  
 Issekutz, B. Jr., N.C. Birkhead, and K. Rodahl: *Use of respiratory quotient in assessment of aerobic*

- work capacity. J. Appl. physiol.* 17: 47, 1962.
- Naimark, A., K. Wasserman, and M.B. McIlroy: *Continuous measurement of ventilatory exchange ratio during exercise. J. Appl. physiol.* 19:644, 1964.
- Otis, A.B.: *Quantitative relationships in steady state gas exchange, in Handbook of physiology* (Ed, W.O. Fenn, and H. Rahn), Section 3, *Respiration. volume 1, P. 681, American physiological Society, Washington, D.C., 1964.*
- Rahn, H. and W.O. Fenn.: *A graphical analysis of the respiratory gas exchange. The O<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub> diagram. p. 39, American physiological Society, Washington, D.C., 1960.*