

# Shunt와 Dead Space 가 함께 있는 허파에서 폐정맥 및 폐포의 기체농도 예측

배황\*, 장근식\*\*

## Prediction of Gas Concentrations in the Mixed Veins and Alveoli of a Lung with Shunt and Dead Space

Hwang Bae\*, Keun-Shik Chang\*\*

### 1. 서론

호흡기를 통해 흡입된 공기는 폐의 말단부인 폐포에서 심장의 우심실에서 공급되는 혼합정맥혈과 가스교환을 한 후 다시 호흡기를 통해 배출된다. 배출되는 공기의 마지막 부분, 특히 강제 호기의 마지막 부분은 폐의 기능적 잔기용량에서 잔기량을 제외한 호기 예비량으로 폐포의 공기 성분으로 가정할 수도 있다. 그러나 이 마지막 부분에는 폐 자체가 가진 생리학적 사강(dead space)내 공기도 포함되기 때문에 혈액과 가스교환을 한 공기 성분과는 차가 있다. 또한 0.1mm의 크기를 가지는 단위 폐포내의 공기 성분을 직접 측정하는 것은 거의 불가능하다.

폐 모세혈관을 관류하는 혈액에는 해부학적/생리학적 이유로 인해 폐포에서 가스교환이 이루어지지 않는 셉트가 존재한다. 폐에서 심장의 좌심방으로 공급되는 혈액에는 이러한 셉트를 지난 혈액이 포함 되기 때문에 이때의 혈액내 산소와 이산화탄소의 분압은 가스교환 직후의 폐포내 산소와 이산화탄소의 분압과 평형상태라 볼 수 없다. 폐모세혈관내 혈액의 직접 채혈 또한 어렵기 때문에 가스 교환에 의해 이루어진 산소와 이산화탄소 분압의 직접 측정은 어렵다고 볼 수 있다.

본 연구는 호기 가스로부터 사강과 셉트를 고려하여 폐포내 가스 성분을 예측하는 방법에 관한 것이다. 먼저, 체순환을 마친 뒤 우심방으로 들어 오는 혈액을 가스 분석하여 우심실에서 폐로 공급되는 혼합 정맥혈액의 산소와 이산화탄소의 분압으로 가정하여 환기-관류비 곡선을 구한 뒤, 호기말의 이산화탄소 분압과 동맥혈액의 산소 및 이산화탄소 분압을 이용하여 사강과 셉트 및 폐포내 산소와 이산화탄소 분압을 평가 하였다. 다음으로, 호기말의 이산화탄소와 셉트가 포함된 동맥혈의 산소와 이산화탄소 분압을 이용하여 사강을,

셉트를 및 혼합정맥혈과 폐포내의 산소와 이산화탄소의 분압을 예측하였다. 이것을 측정된 혼합정맥혈액으로부터 평가된 값들과 비교하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 혼합정맥혈액을 이용한 폐포 가스 분압

혼합 정맥혈액의 산소와 이산화탄소의 분압을 알면 Kelman[1]의 방법을 이용하여 환기-관류비 곡선을 구할 수 있다. 호기말 이산화탄소 분압에 해당되는 산소의 분압과 환기-관류비는 이 곡선을 이용하면 쉽게 구할 수 있다. 만약, 사강도 셉트도 없다면 이 값은 동맥혈액의 산소와 이산화탄소의 분압과 같다고 볼 수 있다. 실제로 같은 경우는 거의 불가능하며, 일단 같지 않다면 먼저 호기말의 이산화탄소와 이에 해당하는 곡선상의 산소 분압을 폐포내 분압이라 가정하고, 이 분압은 가스교환을 한 폐모세혈관내 산소와 이산화탄소의 분압과 같다고 가정한다. 혼합정맥혈액의 산소와 이산화탄소의 농도, 동맥혈의 산소와 이산화탄소의 농도, 가스 교환을 한 폐모세혈관의 산소와 이산화탄소 농도를 알면 셉트율을 식(1)과 (2)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\dot{Q}_S/\dot{Q}_T = (C_{V_{O_2}} - C_{a_{O_2}})/(C_{C_{O_2}} - C_{T_{O_2}}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_S/\dot{Q}_T = (C_{ac_{CO_2}} - C_{V_{CO_2}})/(C_{V_{CO_2}} - C_{C_{CO_2}}) \quad (2)$$

만약, 사강이 없다면 식(1)과 (2)는 이때 일치 한다. 그러나 일치하지 않는다면 환기-관류 곡선을 따라 이산화탄소가 증가하는 방향으로 이동해 가면서 이 값들이 일치하는 점을 찾으려면 이 값이 셉트율이 되고 이때의 곡선상의 산소와 이산화탄소의 분압은 폐포내 분압이라 볼 수 있다. 이 분압과 호기말 이산화탄소의 비가 사강비라 볼 수 있다.

#### 2.2 호기말 가스를 이용한 폐포 가스 분압

실제로 혼합정맥혈액을 직접 채혈하기 위해서는 상대정맥 혹은 하대정맥을 통해 카테터를 심장까지 삽입해야 하기 때문에 응급 상황이 아니교서는 시술하기

\* 한국과학기술원 항공우주공학과 대학원

\*\* 한국과학기술원 항공우주공학과

어렵다. 그렇기 때문에 호기 가스와 동맥혈액만을 이용하여 비침습적으로 혼합정맥혈액의 성분을 예측하는 것은 대단히 유용한 의료용 진단 시스템이 될 수 있다.

2.1절에서 소개된 방법을 기초로 한 혼합정맥혈액의 산소와 이산화탄소를 구하기 위해서는 일단, 혼합정맥혈액의 산소와 이산화탄소의 분압은 각각 동맥혈액의 산소의 분압보다 작고, 이산화탄소 분압 보다는 크다고 가정(1)하고 이 일정 영역의 임의의 산소와 이산화탄소의 분압을 혼합정맥혈액으로 가정하여 폐포의 산소와 이산화탄소의 분압을 2.1에 소개된 방법으로 구한 뒤, 이 값들 중 폐포의 분압이 각각 호기말의 이산화탄소의 분압보다 크고 산소 분압보다 작으며, 동맥혈액의 산소 분압보다는 크고, 이산화탄소의 분압보다 작은 값들만을 선택한다. 이 값들 중에 산소의 분압이 최소이면서 이산화탄소의 분압이 최고값을 선택한다. 이 값들은 2.1에서 구해진 폐포의 산소와 이산화탄소의 분압과 거의 일치한다. 이 값과 호흡률에 관한 식(3)을 이용하면 혼합정맥혈액의 산소와 이산화탄소의 분압을 예측할 수 있다.

$$R = (C_{P_{O_2}} - C_{C_{O_2}}) / (C_{C_{O_2}} - C_{P_{O_2}}) \quad (3)$$

### 3. 결 과

충남대학교 의과대학병원 중환자실에 입원중인 호흡기 환자들의 혈액 분석 결과를 이용하여 폐포 가스 및 혼합정맥혈액의 산소와 이산화탄소의 분압을 예측하여 그 결과를 Fig 1.에 나타내었다.

접선 혹은 실선의 곡선은 각 환자들의 환기-관류 곡선이다. 이 곡선들 위의 속이 빈 사각형은 각 환자들의 호기말 산소와 이산화탄소 분압이며, 속이 빈 원형은 동맥혈액의 산소와 이산화탄소의 분압을 나타낸다. 각 곡선의 왼쪽 끝 지점은 산소 분압의 최소값이며 이산화탄소 분압의 최대값인 점으로 측정된 혼합정맥혈액의 산소와 이산화탄소의 분압이다. 이 값들과 2.1절의 방법을 이용하여 폐포의 성분값을 구한 것이 삼각형으로 표시된 곡선상의 점이고, 다시 2.2절의 방법을 이용하여 예측된 폐포의 성분값은 역삼각형의 점으로 삼각형의 점 주위에 분포되어 있다. 역삼각형의 점으로부터 예측된 혼합정맥혈액은 속이 찬 작은 사각형으로 표시 하였으며 이 점들 또한 속이 빈 작은 사각형으로 표시된 각 그래프의 왼쪽 끝점 근처에 잘 분포하고 있다.

혼합정맥혈액의 산소와 이산화탄소 분압의 측정치와 예측값을 Table.1에 나타내었으며 그 값들은 각각 10%정도의 에러 범위내에서 잘 일치하고 있다. 각 환자의 선트비와 사각율도 함께 나타내었다.

### 4. 결 론

호기 가스를 이용하여 폐포내 가스 성분과 혼합정

맥혈액의 산소 이산화탄소의 분압을 예측하였으며 그 결과는 10%정도의 에러 범위에서 잘 만족하고 있다.

### 참고 문헌

- (1) Kelman G. R., 1968, Computer program for the production of O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> diagrams. Respiration Physiology, 4, pp260-269

Table 1. partial pressure of mixed venous blood using by measured and predicted method.

Patient No.	Measured	Predicted		
	Mixed venous data a (PvO <sub>2</sub> , PvCO <sub>2</sub> )	Mixed venous data a' (PvO <sub>2</sub> , PvCO <sub>2</sub> )	Shunt Ratio Y	Dead space ratio X
1	(42, 53)	(40, 56.04) Max Error 5%	0.32	0.18
2	(37, 63)	(40, 58.33) Max Error 8%	0.19	0.34
3	(36, 67)	(40, 64.95) Max Error 11%	0.18	0.40
4	(39, 42)	(40, 40.79) Max Error 3%	0.28	0.41

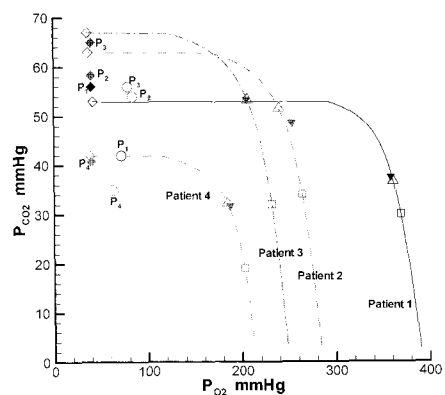


Fig 1. Ventilation-perfusion ratio (line) and predicted data for each patient; □: end tidal point; ○: arterial point; ◇: mixed venous point(measured); ◆: mixed venous point(predicted); △: alveolar point (when measured mixed venous blood data are used); ▼:alveolar point (when calculated mixed venous blood data are used).