

산소치료에서 공급되는 산소농도에 대한 호흡기 Dead Spaced 의 영향 Effects of Respiratory Dead Space on the Oxygen Purity in the Oxygen Therapy

*김승찬¹, 지석환¹, #이태수²

*S. C. Kim¹, S. H. Chi¹, #T. S. Lee(tslee@sogang.ac.kr)²

¹ 서강대학교 대학원 기계공학과, ² 서강대학교 기계공학과

Key words : Oxygen Purity, Normal Breathing, Tidal Volume, Dead Space, Continues Flow Oxygen

1. 서론

만성폐색성 폐질환(COPD, Chronic Obstructive Pulmonary Disease)의 치료법 중 대표적인 것이 장기적 산소치료(LTOT, Long Term Oxygen Therapy)이다. 이것은 고 순도의 산소를 지속적으로 공급하는 CFO (Continues Flow Oxygen) 방식과 간헐적으로 공급하는 Pulse 방식이 있다[1-2]. 이러한 치료 방식에 관한 다양한 연구들 중에서 최근 Dead Space 즉, 호흡 시 폐 속의 공기가 폐 밖으로 나가지 못하고 머무는 공간이 폐 속 산소 농도에 미치는 영향성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 Robert McCoy는 그 영향을 단순히 일회 호흡량(Tidal volume)에서 Dead Space의 체적을 제외하고 나머지 체적만을 가지고 영향을 연구하였다[3].

그렇지만 이는 실제 날숨 후의 Dead Space내의 저 농도 산소가 들숨 때 폐 속에 먼저 공급되고 그 후에 고 농도의 산소가 공급되는 실제 호흡체계를 정확히 반영할 수 없다. 따라서 본 연구의 목적은 실제 호흡체계를 좀 더 명확히 반영하여 Dead space가 산소 치료에 미치는 영향에 관하여 연구함에 있다. 이를 위해 수치적인 방법을 통한 산소농도의 예측과 실험적 방법을 통한 산소농도의 측정을 실시한다.

2. 수치적 방법을 통한 산소농도의 예측

산소 치료에서 들숨 시 고 농도의 산소는 Dead Space의 날숨 후 남은 저 농도의 산소가 먼저 폐로 들어간다는 점에서 그림 1과 같은 수치적 모델을 구성할 수 있다. 이때 V_D 는 Dead Space의 체적, V_L 은 Dead Space를 제외한 폐의 체적을 의미하고 Q_{in} , Q_{out} 은 Dead Space를 들어가고 나가는 유량을, C_{in} , C_{out} 은 그 때의 산소농도이다.

산소와 공기를 비압축성 기체라 가정하면 식(1)과 같은 질량보존방정식으로 정의 할 수 있다. 또한 Dead Space를 들어오고 나가는 유량은 같으므로 식(2)와 같이 정의 된다. 식(1)과 식(2)를 통하여 호흡시의 산소농도의 시간에 따른 변화를 예측할 수 있게 된다. 그림 2는 건강한 성인이 분당 20회의 호흡을 할 때의 유량과 그 때의 호흡량을 일회 호흡시간에 맞추어 나타낸 것이다[4].

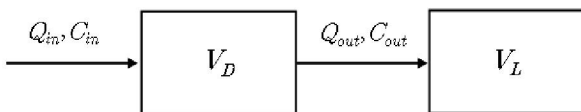


Fig. 1 Volume of dead space (V_D) and lung (V_L)

호흡유량에 따른 일회 호흡량은 식(3)과 같은 관계에 따라 구할 수 있으며 그림 2와 같은 경우 일회 호흡량은 500[ml]이다. 폐질환 환자의 경우 일회 호흡량이 매우 불규칙하기 때문에 본 연구에서는 정상상태의 호흡패턴을 이용하여 산소농도의 변화를 예측한다.

순도가 100%인 산소를 산소치료에서 대표적으로 공급하는 산소의 유량인 1-5[LPM]으로 각각 공급해주었을 때 Dead Space의 영향을 고려하지 않은 산소농도를 표1에 나타내었다.

날숨 후의 Dead Space 내의 산소농도는 평균적으로 14%에 달하게 되는데 이것은 식(1)과 식(2)에서의 산소농도 (C_0)의 초기조건이다[5]. 이와 더불어 시간(t)의 초기조건 $t_0=0$ 을 이용하여 Dead Space의 영향을 식(1)과 식(2)를 통하여 시간에 따른 산소농도의 변화를 예측한 그래프를 그림 3에 나타내었다.

$$V_D \frac{dC}{dt} = Q_{in} \times C_{in} - Q_{out} \times C_{out} \quad (1)$$

$$Q_{in} = Q_{out} \quad (2)$$

$$V_T = \int Q_T dt \quad (3)$$

3. 실험적 방법을 통한 산소농도의 예측

인체모델에서 산소농도의 측정을 위하여 그림 4와 같이 실험 장치를 구성하였다. 인체의 호흡 파형을 재현하기 위해 실린더(DNG160-400PPV-A, FESTO)와 모터(HC-RFS-103(B), MITSUBISHI)에 의한 피스톤 운동과 밸브(MYPE-5-3/8-010B, FESTO)의 실시간 제어를 통해 원하는 호흡패턴에 대한 호흡모사를 재현할 수 있는 장치를 이용하였다[6].

기계적 호흡모사장치에는 압력센서(TSD160C, BIOPAC)와 유량센서(TSD107B, BIOPAC)가 연결되어 있어 장치로부터 나오는 압력과 유량을 측정할 수 있게 되어있다.

유량센서의 말단에 자체 제작한 체크밸브를 설치하여 마네킹에 장착된 캐놀라(Cannulas)를 통하여 산소와 공기가 혼합되어 들어온다.

이때 공기중의 산소는 캐놀라를 통해서 들어오는 100%

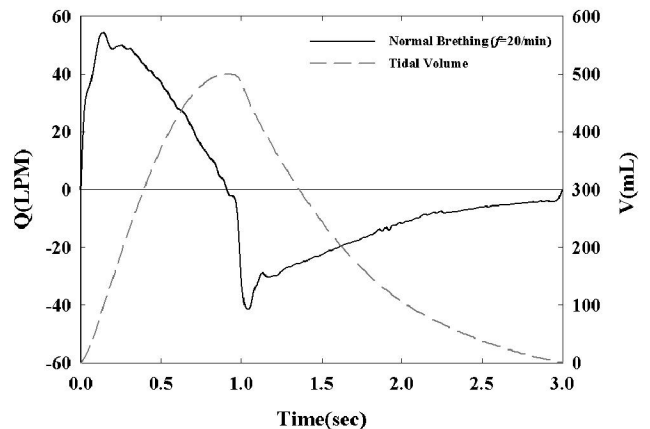


Fig. 2 Normal Breathing ($f=20/min$) pattern and Tidal Volume

Table 1 Oxygen Purity (%) of McCoy's Methods and Results in the Present Study

Q (LPM)	McCoy[3]		Present Study with Dead Space	
	With Dead Space	W/O Dead Space	Computation	Experimental Results
1	24	24	23.4	23.0
2	26	28	25.7	24.8
3	29	32	28.0	26.8
4	31	36	30.3	29.7
5	34	40	32.6	31.5

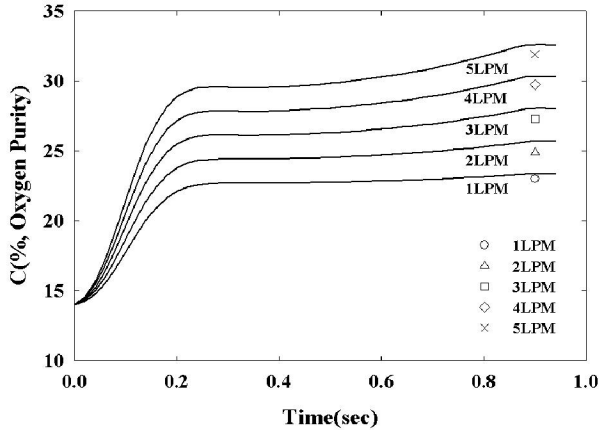


Fig. 3 Oxygen Purity Comparison of Computation (lines) and Experiments (symbols) in Lung.

산소와 혼합되어 장치 내로 주입된다. 날숨 시 산소분석센서(MAXO₂, Model OM-25A, MAXTEC)를 통해 배출된다.

실험장치 내에서의 Dead Space의 구성은 다음과 같다. 인체모델은 일반적인 성인남성의 평균적인 기도의 길이 260mm, 직경은 30mm으로 정하였다. 또한 기도에 연결되는 외비공의 경우 직경 15mm로 구성하였다[7]. 외비공에 캐놀라를 연결하여 고순도 산소통에서 공급되는 산소의 유량을 유량계를 통하여 1-5LPM로 조절하며 산소를 공급하였다.

4. 결과

표 1에서 확인할 수 있듯이 Dead Space의 영향은 Dead Space를 고려하지 않았을 때보다 고려하였을 때 폐 속의 산소농도가 더 높다는 점에서, 즉 폐 속에 원하는 산소농도를 공급하려면 더 많은 양의 산소를 공급해야 한다는 점에서 Robert McCoy의 연구와 본 연구에서 그 영향을 확인할 수 있다. 그렇지만 표 1을 보면 본 연구의 결과가 같은 양의 산소를 공급하였을 때 Robert McCoy의 값보다 더 낮음을 알 수 있다. 이는 서론에서 언급한 것과 같이 Robert McCoy의 연구에서 가정된 단순히 폐 속의 Dead Space의 체적을 제하는 것이 실제 호흡체계를 반영해주지 못함을 보여주는 것이다. 이러한 차이의 발생은 날숨 후의 저 순도 산소가 폐 속으로 산소를 공급할 때 고 순도의 산소와 혼합되어 실제 공급순도보다 낮아지기 때문에 Robert McCoy의 연구 결과 보다 낮은 산소농도가 폐 속에 공급되는 것이다. 이와 같이 본 연구에서 실시한 수치적 예측 값과 실험 값을 통해 Dead Space의 체적이 산소농도에 미치는 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었으며, 또한 초기의 산소농도가 폐 내의 산소농도에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

Robert McCoy의 방법은 Dead Space의 영향을 예측함에 있어 그 방법의 가정이 실제 호흡체계를 반영하기 어렵기 때문에 Dead Space를 고려한 폐의 산소농도의 예측에는

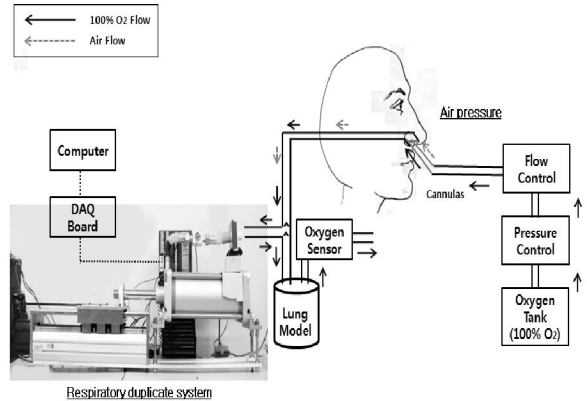


Fig. 4 Diagram of Experimental Equipment

합리적이지 못한 방법이다. 그러나 본 연구에서 제시한 수치적 모델과 실험장치는 실제의 호흡체계를 좀 더 명확히 반영할 수 있다. 또한 환자의 치료 시 원하는 산소 농도를 공급하기 위해서는 Dead Space의 영향을 고려하여 그렇지 않을 때 보다 더 많은 산소를 공급해야 한다는 것을 알 수 있다. 그러므로 산소치료에 있어 Dead Space의 영향은 존재하며 환자의 치료 시 반드시 고려해야 하는 부분임을 본 연구에서 확인하였다.

참고문헌

1. Jan Zielinski, MD, FCCP; Miroslaw Tobiasz, MD; Iwona Hawrylkiewicz, MD; Pawel Sliwinski, MD; and Grzegorz Palasiewicz, MD, "Effects of Long-term Oxygen Therapy on Pulmonary Hemodynamic in COPD Patients," Chest, 113, 65-70, 1998
2. Linda C Gallegos RRT, John W Shigeoka, "Novel Oxygen Concentrator based equipment take a test drive first," Respiratory Care, 51(1), 25-28, 2006
3. Robert McCoy RRT, "Oxygen-Conserving Techniques and Device," Respiratory Care, 45(1), 95-104, 2000
4. Peter L Bliss BME, Robert W McCoy RRT BSM, and Alexander B Adams RRT MPH, "A Bench Study Comparison of Demand Oxygen Delivery Systems and Continuous Flow Oxygen," Respiratory Care, 44(8), 925-931, 1999
5. C. Kolle, W. Gruber, W. Trettnak, K. Biebmik, C. Dolezal, F. Reininger, "Fast optochemical sensor for continuous monitoring of Oxygen in breath-gas analysis," Sensors and Actuators B38-39, 141-149, 1997
6. S. H. Chi, M. K. Lee, T. S. Lee, Y. S. Choi, S. K. Oh, "The Study of Mechanical Simulation for Human Respiratory System," Korean Society of Medical & Biological Engineering, 29(4), 323-328, 2008
7. C.H. Cherng, C.S. Wong, C.H. Hsu, S.T. Ho "Airway length in Adults: Estimation of the Optimal Endotracheal Tube length for Orotracheal Intubation," Journal of Anesthesia, 14, 271-274, 2002