

임피던스 시계열 영상을 이용한 수면호흡장애사건 시 일회환기량 분석

장태욱¹, 오동인^{1,2*}

경희대학교 일반대학원 생체의과학과¹, 경희대학교 의과대학 의공학교실²

Analysis of tidal volume in sleep-related breathing events using time series of impedance images

Tae Wook Chang¹, Tong In Oh^{1,2*}

¹ Department of Medical Engineering, Kyunghee University, Korea
changtw95@khu.ac.kr

² Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Kyunghee University, Korea
*tioh@khu.ac.kr

Abstract

The overnight polysomnography (PSG) is the gold standard for diagnosing obstructive sleep apnea (OSA) using the apnea and hypopnea index (AHI), the average number of apneas and hypopnea per hour during sleep. Unfortunately, AHI is not enough to evaluate the severity of OSA patients since it does not account for the time duration and the reduction of tidal volume of sleep-related breathing events. This study proposed other indicators for presenting the severity of sleep-related breathing events using a time series of impedance images. Even though patients had similar AHI, we could see different amounts of tidal volume reduction and different event duration. We presented that the additional information obtained from impedance images could display the features of sleep-related breathing events.

1. 연구 배경

폐쇄성 수면무호흡 및 저호흡은 수면 중 상기도 주변 조직의 협착으로 인해 공기 흐름이 감소하거나 일시적으로 중단되는 현상을 의미한다 [1]. 현재 수면무호흡을 진단하기 위한 방법으로 수면다원검사 (Polysomnography; PSG)가 가장 표준적으로 사용되고 있다. 수면다원검사에서는 수면 중 무호흡 및 저호흡과 같은 수면호흡장애를 검출하기 위해 비강 압력과 열전대센서의 신호 변화 등 다양한 센서의 출력을 복합적으로 이용하여 정의한다. 통상 수면무호흡증의 중증도를 평가하기 위해 수면다원검사는 AASM에서 정의한 규칙에 따라 무호흡과 저호흡의 사건을 판단하고, 수면시간 당 발생한 무호흡과 저호흡의 사건수를 이용한 AHI(Apnea Hypopnea Index) 지표를 이용한다. 여기서 무호흡의 기준은 열전대센서의 신호가 90% 이상 감소하는 현상이 10초 이상 유지되는 것으로 정의하며, 저호흡은 비강 압력 신호가 30% 이상 감소하는 현상이 10초 이상 유지되면서 동시에 3% 이상의 산소포화도 (Oxygen Desaturation) 감소나 수면 중 각성 (Arousal)이 함께 발생하는 경우로 정의하고 있다 [2].

현재의 측정방법에서는 무호흡 및 저호흡을 비강신호 혹은 열전대 센서의 변화에 따라 정의하기 때문에 실제 호흡에 직접적인 영향을 미치는 일회환기량 (Tidal Volume; TV)의 감소나 무호흡과 저호흡 사건이 발생한 기간에 따른 분석이 포함되지 않고 있으며, AHI 지표에서는 무호흡과 저호흡 발생을 동일한 정도로 평가하기 때문에 호흡량의 감소 부분을 충분히 반영하지 못하고 있다 [3, 4]. 특히, 호흡 노력 이후 발생하는 각성 (Respiratory effort related arousal; RERA) 이나, 비강 압력신호만 단독적으로 30% 감소하는 기류제한 (Flow limitation; FL)에 대해서는 AHI 지표에 포함되지 않기 때문에 이러한 수면호흡장애사건에 대한 특징의 정량화와 환자에 미치는 영향을 분석하는 연구가 필요하다.

흉부에 부착된 여러 개의 전극 중 임의의 전극쌍 사이에 교류 전류를 주입하면서 나머지 인접한 전극쌍에서 유도 전압을 측정하는 전기 임피던스 단층촬영 (Electrical Impedance Tomography; EIT) 기술은 최근 폐보호기계환기를

위한 임상응용 분야에 사용되기 시작하였다 [5]. 측정된 데이터로부터 복원된 임피던스 영상은 폐 내부에 존재하는 공기량에 비례한다. 본 연구에서는 수면다원검사 중 시계열 임피던스 영상을 이용하여 일회환기량을 연속 측정하면서 수면다원검사에서 분석한 다양한 수면호흡장애 사건의 종류에 따라 일회환기량이 어떻게 변화하는지를 분석하고, 기존 AHI 이외 수면호흡장애사건의 특징을 표현할 수 있는 지표를 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

피험자는 만 19세 이상, 75세 미만의 남성 중 수면무호흡 증상을 가지며, AHI가 5 이상인 15명의 환자를 대상으로 수행되었다. 임피던스 영상 수집을 위해 그림 1에서 도시한 폐용적측정기로 개발된 의료기기인 AirTom (BiLab, Korea)을 이용하여 임상시험을 진행하였으며, 모든 피험자에 대한 주간졸음평가(ESS), 수면의 질 평가척도(PSQI)를 통해 근래의 수면상태에 대한 평가를 실시하였다. 음주 및 흡연 습관, 체질량지수(BMI), 이전 병력 등을 기록한 뒤, 임피던스 영상 측정에 필요한 E-pad 전극을 흉부 4번과 5번 늑골 사이에 부착하여 수면다원검사와 동시에 측정을 시작하였다.



그림 1. 폐용적측정기 (AirTom, BiLab, Korea)

그림 1과 같이 임피던스 시계열 영상을 연속 출력하는 폐용적측정기를 이용하여 폐 내부의 공기분포의 변화를 실시간으로 영상화하고, 동시에 4개로 분할된 영역에서의 호흡량에 대응되는 임피던스 신호의 변화를 시간에 따라 도시한다. 폐 영역에서의 임피던스 변화량의 합으로부터 폐용적변화량 (Respiratory Volume Signal; RVS)을 계산한다. 흡기-호기 시점에서 획득한 RVS 신호의 차로부터 일회환기량을 추출한다. 일회환기량 측정값의 보정을 위해 진단 폐활량계 (BTL CardioPoint-Spiro, BTL Industries, USA)를 이용하여 1분간 AirTom과 동시 측정하고, 이로부터 보정계수를 도출한다. 보정된 AirTom의 일회환기량과 진단 폐활량계를 통해 동시 측정된 일회환기량의 측정치를 비교한 결과, 두 측정기기 간 획득한 데이터의 R² 값은 0.98이며, ±70 ml의 오차 내에서 유사한 결과를 출력하고 있었다. 수면다원검사에서 뇌전도에 의해 감지된 각성 단계 동안 측정된 일회환기량의 평균값으로부터 각 환자에 대한 각성 중 일회환기량 TV_{NA}를 도출하였고, 수면 중 정상호흡 구간에서의 일회환기량 값으로 TV_{NS}=TV_{NA}*0.8를 설정하였다. 임피던스 시계열 영상에서 도출한 일회환기량 값을 기준으로 최소 10초 동안 TV_{NS}의 30% 이하를 유지한 경우, 이를 무호흡 사건으로 분류하였고, TV_{NS}의 70% 이하의 경우를 저호흡 사건으로 분류하였다. 측정된 일회환기량의 데이터를 통해 수면 시간당 검출된 무호흡 및 저호흡 사건 수로부터 AHC(Apnea Hypopnea Count)라는 새로운 지표를 생성하였으며, 이는 산소불포화도 및 각성 등을 고려하지 않고 일회환기량만을 기준으로 정의한 지표이다. 추가적으로 VL(Ventilation loss)는 총 수면 시간(TST)동안 발생한 무호흡 및 저호흡 사건으로 인해 손실된 환기 비율로 정의하였다. 따라서 VL은 다양한 수면호흡장애사건과 사건발생 후 과호흡 현상을 포함하며, 감지된 모든 무호흡 및 저호흡 사건의 기간과 호흡감소 정도를 모두 포함한다.

$$VL = \left(1 - \frac{\sum_{i \in [0, TST]} TV_i}{TV_{NS} \times RR \times TST} \right) \times 100 (\%)$$

여기서 RR은 TST 동안 정상호흡 시 평균 호흡수이다. 무호흡, 저호흡의 호흡량 감소 정도와 사건의 시간지속 정도에 대해 함께 고려하기 위해서 수면호흡장애사건 발생구간에서의 일회환기량의 평균을 TV_{NS}로 나눠서 정규화하였고, 해당 수면호흡장애사건에 따른 지속시간 ED(Event Duration)를 구하였다.

3. 연구 결과

	PSG			EIT								
	Hypopnea	Apnea	AHI	Hypopnea		Apnea		TV/TV _{ns}		AHC	VL (%)	FL
				n	d (s)	n	d (s)	H	A			
#8	81	12	17.7	176	33.16 ±20.39	23	26.47 ±9.87	0.50	0.17	37.8	18.1	79
#13	114	5	19.4	130	40.62 ±21.65	31	33.59 ±12.59	0.47	0.19	26.24	18.3	71

표 1. 8번, 13번 환자의 수면다원검사(PSG) 및 AirTom 결과

15명의 환자 중 8, 13번 환자에 대해 표1은 수면다원검사 데이터를 이용하여 AASM 2012 가이드에 따라 무호흡과 저호흡 사건을 평가한 결과와 AirTom을 이용하여 일회환기량을 기준으로 무호흡과 저호흡 사건을 평가한 결과이다. 환자 8번의 경우 AHI는 17.7 이고 AHI에서는 평가되지 않는 FL의 사건 수가 79개였으며, 환자 13번의 경우에는 AHI는 19.4, FL의 개수는 71개였다. 일회환기량을 기준으로 계산된 AHC에서는 각각 37.8과 26.24로 AHI의

결과와는 다르게 8번 환자의 일회환기량 감소가 더 많았던 것으로 나타났다. 이는 AHI 지표에 포함되지 않는 일부 FL의 영향으로 AHC에서는 FL도 호흡장애 분석의 영향을 고려한다는 것을 보여준다.

그림 2는 동일환자에 대해 일회환기량을 기준으로 계산한 호흡량 감소정도와 사건의 시간지속 정도에 대해 도시한 결과로 8번 환자의 경우 저호흡 시 평균 일회환기량이 TV_{NS}의 50%, 무호흡의 경우는 17%였고, 13번 환자는 저호흡 47%, 무호흡 19% 정도로 유사한 수준이었다. 그러나 ED의 경우 8번 환자의 평균은 저호흡 33.16 초, 무호흡 26.47 초였고, 13번은 40.62 초, 33.59 초로 13번 환자의 경우가 더 길었다. 즉, 8번 환자의 경우 13번 환자 대비 상대적으로 일회환기량이 정상호흡대비 감소한 빈도는 크지만, 지속시간이 짧았고, 13번 환자의 경우는 일회환기량이 감소된 정도는 적었으나 지속시간이 긴 다른 양상을 보였다. 이로 인해 VL는 8번 환자는 18.1%였고, 13번 환자는 18.3%로 유사한 형태를 나타내었다. 이로부터 AHI 이외 AHC, Normalized TV, ED, VL 등의 지표를 통해 수면호흡장애사건에 대한 특징값을 정량화할 수 있다.

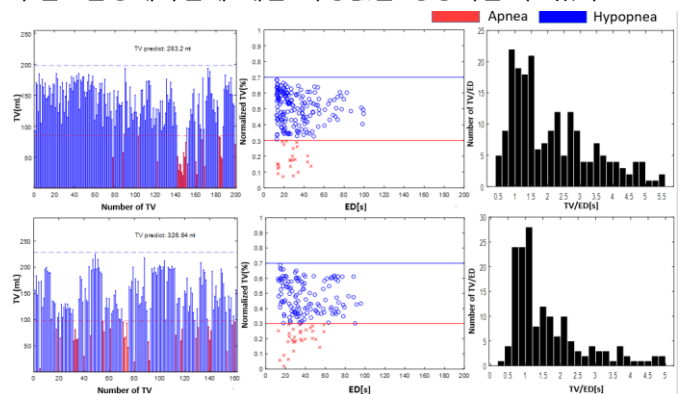


그림 2. 8번, 13번 환자의 일회환기량 및 사건 지속시간

4. Acknowledgements

이 연구는 한국연구재단(NRF)과 산업통상자원부의 현장수요반영 의료기기 고도화 기술개발사업의 지원을 받아 수행하였음. (NRF-2020R1A2C1008975 and 20006024)

5. 참고 문헌

- [1] Durán J, Esnaola S, et al. Obstructive sleep apnea-hypopnea and related clinical features in population-based sample of subjects aged 30 to 70 ys. American journal of respiratory and critical care medicine 2001; 163: 685-9.
- [2] Berry RB, Brooks R, Gamaldo CE, et al. The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications. Westchester, IL: American Academy of Sleep Medicine; 2012.
- [3] Sériès F, Marc I. Nasal pressure recording in the diagnosis of sleep apnoea hypopnoea syndrome. Thorax. 1999; 54: 506-510.
- [4] Teichtahl H, Cunnington D, Cherry G, Wang D. Scoring polysomnography respiratory events: the utility of nasal pressure and oro-nasal thermal sensor recordings. Sleep Med. 2003; 4: 419-425.
- [5] I. Frerichs et al. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDy group. Thorax. 2017; 72: 89-93.