

ECG를 이용한 수면 무호흡 검출에 관한 연구

조 성 필, *최 호 선, 이 경 중

연세대학교 의공학과, *대원과학대학 멀티미디어 정보관리계열

전화 : 033-760-2808 / 핸드폰 : 019-324-9091

A Study on the Detection of Obstructive Sleep Apnea Using ECG

Sung-Pil Cho, *Ho-Sun Choi, Kyoung-Joung Lee

Dept. of Biomedical Engineering, Yonsei University

*Dept. of Multimedia Information Management, Daewon Science College

E-mail : savlas@bme.yonsei.ac.kr

Abstract

Obstructive Sleep Apnea(OSA) is a representative symptom of sleep disorder which is caused by airway obstruction. OSA is usually diagnosed through the laboratory based Polysomnography(PSG) which is uncomfortable and expensive. In this paper, the detection method for OSA events, using ECG, has been developed. The proposed method uses the ECG data sets provided from Physionet. The features for OSA events detection are the average and standard deviation of 1 minute R-R interval, power spectrum of R-R interval and S-pulse amplitude from data sets. These features are applied to the input of Neural Network. To evaluate the method, we used the another ECG data sets. And we achieved sensitivity of 89.66%, specificity of 95.25%. So, we can know that the features proposed in this paper are important to detect OSA.

I. 서론

수면 무호흡 증후군은 많은 수의 성인들이 겪고 있는 수면 관련 질병으로 흔히 전신성 고혈압, 심부정맥, 심부전, 협심증, 심근 경색증 및 뇌졸중 등의 심혈관계 질환이나 합병증을 동반하며, 적절한 치료를 시행하지 않는 경우에는 장기 사망률이 정상인에 비해 현저히 높은 것으로 알려져 있다. 특히 이중 90% 이상을 차지

하는 폐쇄성 수면 무호흡증(Obstructive Sleep Apnea) 진단에 대한 연구가 증가하고 있다.[1] OSA를 진단하기 위한 일반적인 방법은 EMG, EEG, ECG, oronasal airflow, respiration signal, oxygen saturation등을 측정하는 수면다원검사(PSG)로 보통 의학 전문가가 호흡신호와 다른 생체신호를 비교, 검토하여 OSA의 유무를 판단하게 된다. 그러나 수면다원검사는 여러 가지 전극 및 계측장비를 부착해야 하는 불편함이 있고 비용이 많이 들며 수면다원검사실에서 검사를 해야 하는 단점이 있다. 현재의 연구 동향은 이러한 수면다원검사의 단점을 보완하는 방향으로 진행되고 있으며 구체적으로는 최소한의 생체신호를 이용한 수면 무호흡 진단 방법에 대하여 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구들에서 사용되고 있는 파라미터들은 nasal, oral airflow, tracheal-sound, snoring sound, oxygen saturation, blood pressure fluctuation 등이 있지만 비교적 검출율이 낮은 편이다.[2] 그리고 새로운 파라미터로 제시되고 있는 것이 Heart Rate Variability로 1984년 Guilleminault에 의해 처음으로 심박수의 주기적인 변화가 OSA의 특징으로 연구되기 시작하면서 이후 많은 연구가 진행되고 있다.[3] 본 논문에서는 심전도 신호와 이로부터 유도된 심박 변화율을 분석하여 폐쇄성 수면 무호흡을 검출할 수 있는 방법에 대해 연구하였으며, 이를 바탕으로 시간 영역과 주파수 영역의 특징을 추출하여 신경망에 적용함으로써 폐쇄성 수면 무호흡 검출 알고리즘을 개발하였다.

II. 실험 및 방법

1. 데이터 구성

일반적으로 수면 무호흡은 수면 중 10초 이상 호흡이 멈추는 것을 말하며 저호흡(hypopnea)은 호흡이 50%이상 감소된 경우가 10초 이상 지속될 경우를 말한다. 보통 수면 중 호흡장애를 나타내는 지표로 시간당 무호흡과 저호흡의 횟수를 나타내는 무호흡-저호흡 지수(apnea-hypopnea index: AHI)가 있다. 본 연구에서 사용한 심전도 데이터는 Physionet에서 제공하는 1 채널 심전도 신호를 사용하였다. 피실험자는 총 32명으로 나이는 27세-60세이고 몸무게 53-135kg이며, AHI는 0-93.5의 범위를 가지는 수면 무호흡 환자와 정상인으로 구성되어 있다. 심전도 신호는 수면다원검사에서 획득한 것으로 총 70개 이며 각각 8-10시간씩 12비트 해상도, 100 sps로 저장되어 있다. 각 데이터에 대해서 의학 전문가가 호흡신호와 산소포화도를 근거로 판단하여 1분 간격으로 무호흡 또는 저호흡이 존재하는 구간을 나타낸 주석이 제공되었으며 무호흡과 저호흡에 대한 구분은 하지 않았다. 수면 중의 무호흡 또는 저호흡의 정도에 따라 다음 세 그룹으로 분류하였다.

- 1) Group A : 무호흡 또는 저호흡이 자주 발생하고 총 100분 이상 나타난 경우이며 총 40개의 데이터로 구성되어 있다.
- 2) Group B : 무호흡 또는 저호흡이 간혹 발생하고 평균 AHI가 시간당 15회 이하인 경우이며 총 10개의 데이터로 구성되어 있다.
- 3) Group C : 무호흡 또는 저호흡이 거의 발생하지 않는 경우로 총 20개의 데이터로 구성되어 있다.

2. 심박변동 신호의 분석

본 연구에서는 심전도 신호를 그림 1의 과정을 통해 HRV 신호로 재구성하여 분석하였다. 심박변동 신호를 구하기 위해서는 각각의 ECG 신호로부터 R점을 검출하여 심박동열을 구성해야 한다. 본 논문에서 사용한 R점 검출방법은 Tomkins가 제안한 방법으로 전처리 과정을 거친 ECG 신호에 가변 문턱치를 적용시켜 R점을 검출하도록 하였다. 그리고 검출된 R점으로부터 심박동열을 구성하고 이를 등간격 시계열 데이터로 변환하여 심박변동 신호를 구하였다.

2.1 시간영역의 특징 파라메타 추출

본 논문에서는 총 데이터 구간에 대해서 연속적인 1

분 단위의 R-R 간격의 평균과 표준편차 등을 계산하였다. 그림 2는 1분 간격의 R-R 간격 평균과 수면 무호흡의 유무를 나타내고 있으며, 점선으로 표시된 구역이 나타내는 구간은 수면 무호흡이 발생한 구간으로 정상구간과 비교하여 R-R 간격의 평균이 증가한 것을 알 수 있다.

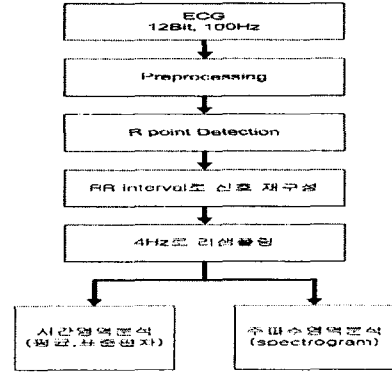


그림 1. 심박변동신호의 유도 및 분석과정

그림 3은 1분 간격의 R-R 간격 표준편차를 나타낸 것으로서 그림 2에서 구한 평균과 마찬가지로 수면 무호흡이 발생한 구간의 값이 정상구간에 비해 커진 것을 볼 수 있다.

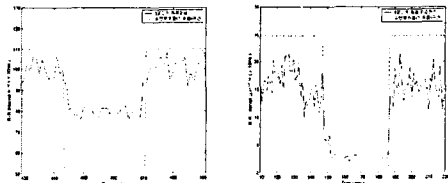


그림 2. 1분간의 R-R 간격의 평균

그림 3. 1분간의 R-R 간격의 표준편차

2.2 주파수영역의 특징 파라메타 추출

주파수 영역에서의 심박변동 신호의 분석을 위해 spectrogram을 사용하였다. 수면 무호흡을 검출하기 위한 파라메타로서 R-R 간격의 spectrogram을 계산하였다. 그림 4는 4Hz의 등간격으로 리샘플링한 R-R 간격의 spectrogram으로 120 point(30sec)의 길이를 갖는 Blackman 윈도우를 사용하였으며, 0~0.5Hz 사이의 주파수 성분을 나타낸 것으로 시간에 따른 주파수 성분의 크기를 알 수가 있다. 그림 오른쪽의 Colorbar는 각 주파수 성분의 상대적인 크기를 나타낸다. 수면 무호흡이 발생한 구간의 경우 정상구간의 R-R 간격에 비해 비교적 규칙적인 변화를 보인다. 이러한 R-R 간격의 변화와 spectrogram을 그림 4, 5에 나타내었다. 그림 4에서 약 103분부터 진폭이 크고 변화가 느린 구간

이 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이 구간부터 수면 무호흡이 발생하였으며, spectrogram의 결과를 보면 약 0.01~0.05Hz의 대역에 에너지가 주로 분포하고 있다.

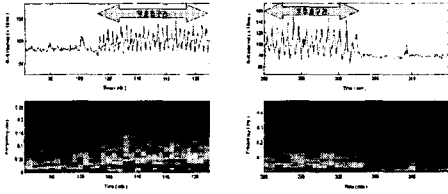


그림 4. 수면 무호흡이 발생한 순간의 R-R 간격의 변화 1
그림 5. 수면 무호흡이 발생한 순간의 R-R 간격의 변화 2

그림 5의 경우에도 수면 무호흡이 발생한 경우의 R-R 간격의 변화와 spectrogram의 결과를 나타내었다. 약 303분까지 수면 무호흡이 발생하였으며, 그 변화를 spectrogram을 통해서 알 수 있다. 본 논문에서는 리샘플링한 R-R 간격의 spectrogram에서 0.01~0.05Hz 사이의 주파수 성분을 구하여 수면 무호흡 검출을 위한 파라메타로 사용하였다.

3. ECG 신호의 S점 검출과 주파수 특징 추출

S점은 R점을 기준으로 전방 50ms 이내의 최소치를 검출하여 구하였다. 그림 3.9는 ECG 신호에서 검출한 S점을 나타내고 있으며 검출한 S점의 크기를 그대로 나열한 데이터는 비등간격 신호이므로 주파수 성분을 분석하기 위해서는 등간격의 신호로 재구성해야 한다. 비등간격 R-R 데이터를 등간격 데이터로 변환해 준 것과 같은 방법으로 S점 크기 데이터를 100Hz로 재구성한 후 다운 샘플링하여 4Hz의 등간격 신호로 재구성 하였다. S점의 크기에 대한 주파수 영역 분석은 4Hz로 재구성된 S점의 크기 데이터에 대한 spectrogram을 계산하여 시간에 따른 주파수 전력 분포를 확인하였다.

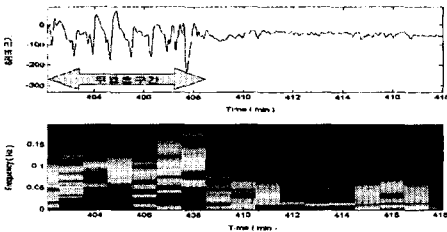


그림 6. 수면 무호흡이 발생한 순간의 S점 크기의 변화와 spectrogram

그림 6은 4Hz로 리샘플링한 S점 크기와 spectrogram 결과이다. 약 408분 이전까지는 수면 무호흡이 발생한 구간으로 S점의 크기의 변동이 크지만, 정상구간과 비

교하여 그 변화가 느린 것을 알 수 있다. spectrogram 분석 결과 역시 약 0.1Hz 이하의 저주파 대역에 에너지가 많이 분포되어있음을 확인할 수 있다. 4Hz로 리샘플링한 S점 크기의 spectrogram의 경우에는 0.01~0.05Hz 사이의 주파수 성분을 수면 무호흡 검출을 위한 파라메타로 사용하였다.

4. 신경망

신경망은 1943년 McCulloch와 Pitts에 의해 최초로 고안된 이후 많은 연구자에 의하여 수정 및 고안되어 왔다. 신경망은 병렬로 작동되는 많은 간단한 성분들로 구성되고 있고, 이들 성분은 생물학적인 신경체계를 반영한다. 신경망은 패턴인식, 식별, 분류, 음성, 영상, 제어와 같은 다양한 분야에서 복잡한 함수를 실행할 수 있도록 훈련되어 실용화 되고 있다. 본 논문에서는 다양한 신경망 중에서 radial basis function 네트워크를 사용하여 수면 무호흡을 검출하였다.

본 논문에서는 35개 학습군의 ECG 신호로부터 획득한 4Hz의 등간격 R-R 간격 데이터의 spectrogram에서 1분 간격으로 선택한 0.01-0.05Hz 범위의 주파수 성분의 크기와 1분 간격의 R-R 간격 평균, 1분 간격의 R-R 표준편차, 4Hz의 등간격으로 리샘플링한 S점 크기의 spectrogram에서 1분 간격으로 선택한 0.01-0.05Hz 범위의 주파수 성분의 크기를 각각 수면 무호흡이 있는 부분과 없는 부분으로 나누어 입력으로 설정하였고, RBF 네트워크를 학습시켰다.

III. 결과 및 고찰

검출성능을 평가하기 위한 방법으로 sensitivity와 specificity를 구하였다. 수면 무호흡을 정확하게 검출한 것을 true positive(TP)라 하고 수면 무호흡 구간을 정상구간으로 검출한 것을 false negative(FN), 정상구간을 수면 무호흡 구간으로 검출한 것을 false positive(FP), 정상구간을 정상구간으로 검출한 것을 true negative(TN)로 하여 sensitivity와 specificity를 계산하였다. Sensitivity는 전체 수면 무호흡에 대해서 정확하게 수면무호흡을 검출한 정도를 나타낸다. Specificity는 전체 정상구간에 대해서 정확하게 정상구간을 검출한 정도를 나타낸다. 표 1은 35개의 평균 17,156분의 데이터 구간에 대한 수면 무호흡과 정상 구간에 대한 검출 결과를 보여주고 있다. 총 6,550분의 수면 무호흡 구간에 대해서 TP는 5,873분, FP는 504분, FN은 607분, TN은 10,102분으로 나타났고, 평균적으로 sensitivity는 89.66%, specificity는 95.25%의 검출율을 보였다.

표 1. 검출결과(Sensitivity, Specificity)

데이터	TP	FP	FN	TN	Apnea	Normal	Sens(%)	Spec(%)
x01	340	40	35	96	375	136	90.67	70.59
x02	179	21	30	239	209	260	85.65	91.92
x03	5	3	7	450	12	453	41.67	99.34
x04	0	0	0	482	0	482	-	100.00
x05	274	26	42	162	316	188	86.71	86.17
x06	0	0	0	450	0	450	-	100.00
x07	220	36	20	231	240	267	91.67	86.52
x08	288	22	36	170	324	192	88.89	88.54
x09	120	30	47	310	167	340	71.86	91.18
x10	89	11	7	403	96	414	92.71	97.34
x11	9	2	4	442	13	444	69.23	99.55
x12	51	9	6	440	57	449	89.47	98.00
x13	281	21	11	193	292	214	96.23	90.19
x14	389	29	50	21	439	50	88.61	42.00
x15	184	21	16	298	200	319	92.00	93.42
x16	41	10	24	440	65	450	63.08	97.78
x17	0	2	1	397	1	399	0	99.50
x18	2	0	0	457	2	457	100.00	100.00
x19	350	41	57	42	407	83	86.00	50.60
x20	238	20	26	190	264	210	90.15	90.48
x21	99	10	21	379	120	389	82.50	97.43
x22	2	1	0	479	2	480	100.00	99.79
x23	99	13	20	400	119	413	83.19	96.85
x24	0	0	1	428	1	428	0.00	100.00
x25	271	16	20	202	291	218	93.13	92.66
x26	316	20	28	153	344	173	91.86	88.44
x27	452	6	35	4	487	10	92.81	40.00
x28	412	6	21	5	433	11	95.15	45.45
x29	0	1	0	469	0	470	-	99.79
x30	305	33	21	151	326	184	93.56	82.07
x31	481	23	35	14	516	37	93.22	37.84
x32	370	30	55	82	425	112	87.06	73.21
x33	3	0	0	470	3	470	100.00	100.00
x34	3	1	1	470	4	471	75.00	99.79
x35	0	0	0	483	0	483	-	100.00
합계	5,873	504	677	10,102	6,550	1,0606	89.66	95.25

x04, x06, x29, x35 데이터의 경우 수면 무호흡이 존재하지 않는 데이터이기 때문에 sensitivity를 계산할 수 없었으며, x17 데이터의 경우 1분간의 수면 무호흡이 존재하지만 이를 검출하지 못했기 때문에 sensitivity가 0으로 계산되었다. 그룹 A에 속한 데이터 중 일부는 대부분의 수면 시간이 수면 무호흡 또는 저호흡으로 분류되어있는 경우가 있었다. 이러한 경우는 정상구간의 길이가 짧아서 작은 오류에도 specificity가 낮게 계산되었으며, 반대로 수면 무호흡 구간이 거의 존재하지 않는 그룹 C의 경우에는 수면 무호흡 구간의 길이가 짧아서 sensitivity가 상대적으로 작아지는 경향을 보였다. 그리고 일부 ECG 신호의 R점과 S점 검출을 하는데 있어서 오류가 발생하여 직접적으로 검출율을 낮추는 결과로 작용하였다. 이러한 경우들을 제외한다면 더 높은 검출율을 얻을 수 있을 것이다. 상기의 결과로부터 본 논문에서 제안한 수면 무호흡 검출 방법이 수면 무호흡 환자와 정상인을 구분하는데 있어서 우수한 방법임을 알 수 있었다. 또한 수면 무호흡 환

자의 수면 장애 정도를 간접적으로 확인하는 척도로서 그 유용함을 알 수 있었다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법은 사용한 데이터의 한계로 인해 저호흡을 수면 무호흡에 포함시켜 검출하였으므로 순수하게 수면 무호흡을 검출하기 위한 연구가 계속되어야 한다. 그리고 본 논문에서는 심혈관계에 영향을 미치는 요소나 질병이 존재할 가능성을 배제하였으나, 이러한 원인에 의해 심혈관계가 영향을 받을 경우 본 논문에서 사용한 검출 방법에 직접적인 영향을 미치므로 이를 극복하기 위한 연구가 계속되어야 한다.

IV. 결론

본 논문에서는 수면 장애를 나타내는 대표적인 증상인 수면 무호흡을 검출하기 위하여 심전도 신호와 이로부터 유도된 심박변화율을 이용한 방법을 제안하였다. 수면 무호흡 환자와 정상인으로부터 획득한 심전도 신호를 학습군과 평가군으로 나누어 학습군의 심전도 신호로부터 시간 영역의 파라미터인 1분간의 심박변화율의 평균과 표준편차, 주파수 영역의 파라미터인 심박변화율의 spectrogram, S점 크기의 spectrogram을 계산하여 신경망인 RBF 네트워크에 적용하였다. 개발된 알고리즘에 평가군의 심전도 신호를 적용하여 검출 성능을 평가한 결과, 평균 89.66%의 sensitivity와 95.25%의 specificity를 얻었다. 이로부터 수면 중 측정된 심전도 신호의 S점의 크기와 심박변화율이 수면 무호흡 검출 시 중요한 파라미터임을 알 수 있었다. 또한 질병이나 다른 요소에 의해 심혈관계가 영향을 받을 수 있으므로 심전도 이외의 다른 생체 신호를 사용하여 수면 무호흡을 검출하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] 김지배. "코골이와 수면무호흡증". 가정의 Vol 11. No.2. 1990
 [2] Richard Ferber, Richard Millman, Michael Coppola, John Fleetham, et al., "Portable Recording in the Assessment of Obstructive Sleep Apnea" Sleep, Vol 17, No 4, pp.378-392, 1994
 [3] Guilleminault C, Tilkian A, Dement WC, "Cylindrical variation of the heart rate in sleep apnea syndrome - Mechanism and usefulness of 24hr electrocardiography as a screening technique" Lancet Vol 1, pp.126-131, 1984