

非接触性生体センサによる睡眠状態評価の試み

立石知也^{1,2}、園田史朗²、新関久一³、今井洋志³、鐘ヶ江正巳³、玉岡明洋²、宮崎泰成²。

1 東京医科歯科大学 呼吸・睡眠制御学講座

2 東京医科歯科大学病院 呼吸器内科

3 ヘルスセンシング株式会社



背景と目的

終夜ポリグラフ検査(PSG)は睡眠関連疾患の診断に必須の検査である。しかしながら多くの計器を装着し拘束されるため、普段の睡眠状態を把握する上では不充分になりうる。

本研究では高感度振動センサを用い、被験者に直接触れることなく生体情報を検出し、深層学習を用いて睡眠段階と無呼吸低呼吸指数(AHI)を推定することを目的とした。

対象

2022年7月–2023年3月に、睡眠時無呼吸症を中心とした睡眠疾患を疑われ、当院にてPSGを行い、研究参加について文書による同意を得た成人患者を対象とした。

方法



PSG施行時にマットレス下にシート型高感度振動センサを設置した。シート型センサは、心電図(ballistocardiogram: BCG)等の振動データを取り、測定したデータからの波形解析により心拍・呼吸および体動に対応する信号への変換が可能である。

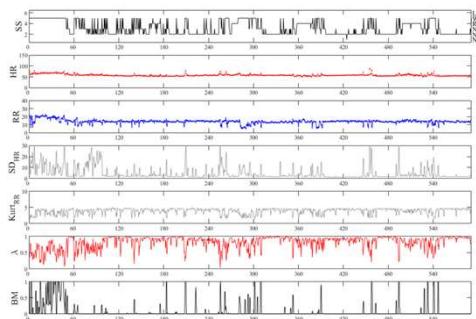
患者背景

症例	59例
男 / 女	47 / 12
年齢	58 (20 - 79)
BMI	25.5 (19.1 - 53.2)
AHI	29.2 (1.9 - 100.5)

中央値（最小値 - 最大値）で表記

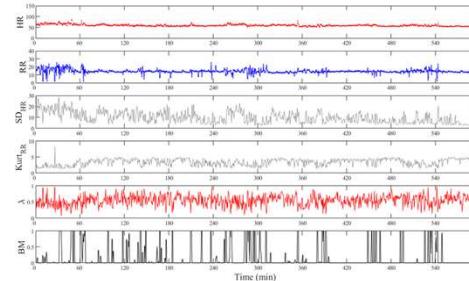
解析

PSGからはsleep stage (SS), 心拍数(HR), 呼吸数(RR), leg movement (LM)の指標を取得した。心拍数の標準偏差(SD_{HR}), 呼吸信号の尖度($Kurt_{RR}$)も併せて下のように表示した。体動頻度はLM信号を用いて表示した。



SS: 30秒エポック毎に判定された睡眠段階
HR: 1拍毎の心拍数(灰)と1分間の平均心拍数(赤)
RR: 1分間の平均呼吸数
 SD_{HR} : 1分間の心拍数の標準偏差
 $Kurt_{RR}$: 1分間の呼吸信号パワースペクトルの尖度
 λ : 10秒窓で計算された心拍呼吸リズム間位相コヒーレンスの1分間平均
BM: 1秒あたりの体動頻度

次いで下図のようにシート型センサからもHR, RR, λ , BMを検出した。



PSGデータによる睡眠段階の推定

PSGから得られた6指標(HR, RR, SD_{HR} , $Kurt_{RR}$, λ , BM)を用いた睡眠段階の推定をDeep Learningにより行つ。これらの指標を入力とし、判定された睡眠段階(覚醒、ノンレム睡眠(N1~3)、REM睡眠)を教師データとして双方向型長短期記憶モデル(bidirectional Long-Short Term Model; biLSTM)により学習させた。

検証はleave-one-out法*で行った。

* 検証するデータ1例を除いた残りの全例で学習モデルを作成し、作成されたモデルに検証データの6指標を入力して睡眠段階の推定を行うもの。

PSGデータによるAHIの推定

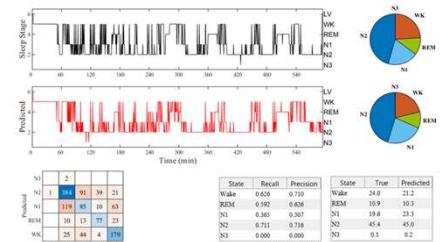
上記6指標のヒストグラムを画像化することで畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network; CNN)によりAHIを推定した。

シート型センサによる睡眠段階・AHIの推定

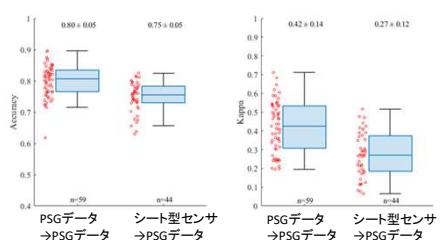
高感度振動センサから計測された6指標を上記のPSGデータによる学習モデルに入力して睡眠段階およびAHIの一一致率を検討した。

結果

PSGデータ・シート型センサによる睡眠段階の推定



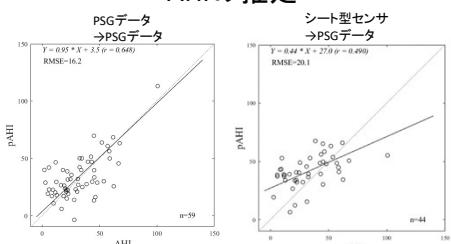
他の58症例のPSGデータを用いて作成したモデルと本症例のPSGデータを用いて睡眠段階を推定
→ 85.0%の一一致率($\kappa=0.537$)を得た。



PSGデータを用いて作成したモデルに、それぞれの症例のPSGデータを使用して睡眠段階を推定
→ 59症例のまとめでは $80 \pm 5\%$ の一一致率($\kappa=0.42 \pm 0.14$)

PSGデータを用いて作成したモデルに、それぞれの症例のシート型センサデータを使用して睡眠段階を推定
→ 44症例のまとめでは $75 \pm 5\%$ の一一致率($\kappa=0.27 \pm 0.12$)

PSGデータ・シート型センサによるAHIの推定



PSGデータを用いて作成したモデルに、それぞれの症例のPSGデータを使用してAHIを推定、実際のAHIとの相関
→ 59症例のまとめでは $r=0.648$

PSGデータを用いて作成したモデルに、それぞれの症例のシート型センサデータを使用してAHIを推定、実際のAHIとの相関
→ 44症例のまとめでは $r=0.490$

結論

高感度振動センサを用い無拘束非接触下に得られた生体データを用い、深層学習による睡眠段階およびAHIの推定を試みた。睡眠段階については比較的良好な予測が可能であった。AHIの予測能は改善する余地があると考える。今後症例数を増やして精度が改善するか検討したい。

筆頭発表者：本研究はヘルスセンシング社との共同研究である。