

呼吸音モニタリングによる睡眠状態推定

Sleep-stage estimation by monitoring of sleeping breath

○ 荒木 光仁 善甫 啓一 水谷 孝一 若槻 尚斗 （筑波大学）

Mitsuhiro ARAKI, Keiichi ZEMPO, Koichi MIZUTANI and Naoto WAKATSUKI, University of Tsukuba

Abstract: In Japan, where the society is aging, support of sleep is required in medical facilities and nursing homes. In this paper, we proposed non-contact sleep-stage estimation method by sleeping breath monitoring. The validity of the sleep-stage estimation method was evaluated by sleep breath monitoring experiment. As a result, it was found that the sleep-stage can be estimated in real time by the proposed method more easily than conventional methods.

Key Words: Sleep stage estimation, Sleeping breath monitoring

1. はじめに

1.1 背景

我が国では、近い将来人口のおよそ 35%が 65 歳以上の高齢者が占めると言われている⁽¹⁾。このような社会情勢の中、医療介護施設等では認知症患者などの睡眠の浅い高齢者が夜中に度々起き上がり、深夜徘徊をしてしまうことや、本来他者のサポートが必要である要介護者がトイレに一人でいこうと起き上がり転倒してしまうといった睡眠に関する問題が挙げられている。本来、認知症患者などの要介護者が健康的で快適な生活を送るための要素として「快食、快便、快眠」の3つが重要視されている。この中でも睡眠は他の2つに比べ他者の介添えが困難であるが、深夜徘徊などの問題を解決するためには患者の睡眠状態を把握することが必要である。患者をモニタリングし睡眠状態を把握することで、高齢者の深夜徘徊のタイミングを予測し起きる可能性が事前に検知できれば、現場スタッフを対応の準備が可能である。睡眠段階を正確に測定する手法として終夜睡眠ポリグラフィ検査（PSG）が挙げられるが、この手法は被験者に特殊な器具を装着し脳波、筋電図、眼球運動などを測定するため、実際の介護現場では要介護者ひとりひとりに器具を装着することや、不快感を与えるおそれが非常に大きいので使用することが現実的ではない。

1.2 目的

本稿の目的は、睡眠時の寝息から睡眠段階を把握することである。睡眠段階は浅い睡眠から深い睡眠にかけて、覚醒、REM 睡眠、そこから最も深い睡眠状態までいくつかの段階に分けられ、REM 睡眠から深い睡眠までのサイクルを繰り返しながら徐々に浅い睡眠となり起床につながる⁽²⁾。

寝息による睡眠段階の推定のメリットは PSG などの機器を被験者に直接装着する計測手法よりも非接触であり被験者の負担も軽減できること、さらに睡眠障害のひとつである睡眠時無呼吸症候群（SAS）の判定⁽⁴⁾にも応用可能であると考えられる。

2 提案手法

眠りが浅い際に、いびきを多く書くことが知られている。この特性を利用して、寝息の単位時間ごとの音圧レベルの平均の推移を計測することで、睡眠の深さを測定する手法を提案する。具体的には、まず睡眠時の寝息の呼吸信号を収録する。浅い睡眠と深い睡眠では呼吸の大きさや変動の違いが見られると予想されるのでその違いを定量的に示す

ために呼吸信号を帯域毎に分ける。実験では、その中でどの帯域が最も寝息の大きさや変動の影響を受けているのかを信号処理によって示し、時間における変化の様子を調べる。

3. 検証実験

3.1 実験条件

睡眠時の呼吸音を計測する際、計測用マイクロホン（ECM8000）とアンプ（QUAD-CAPTURE）を使用し、サンプリング周波数は 22,050 Hz、16 bit リニア PCM 形式（出力は wav ファイル）で計測した。

ベッドの下に圧力センサーマット（TANITA 睡眠計スリープスキャン）、枕元にスマートフォンアプリ（Sleep Miester）で睡眠段階を測定した。本実験で使用した圧力センサーマットおよび、スマートフォンアプリの動作原理、使用目的について説明する。圧力センサーマットは内部に両端の繋がった 14 本の細い経路があり、その経路に精製水が入っている。寝具の下に敷くことで、被験者がマット上にいる場合の主に体動による振動でセンサーマット内の水圧が変化する。測定中は、この水圧の変化をセンサーカバー内の圧力センサーにて感知しアナログ信号に変換し、その後さらにデジタル信号に変換して SD カードに継続的に記録する。専用のソフトで解析された結果から通常は睡眠障害の評価に一般用に販売されている製品である。スマートフォンアプリは現在普及しているスマートフォンにはほとんど加速度センサが搭載されている。アプリを起動させ枕元に置くことで体動によるスマートフォンの傾き具合や揺れから睡眠段階を計測している。

Figure 1 に示すような計測環境で一晩睡眠をとり呼吸音と同時に圧力センサーマット、スマートフォンアプリで睡眠段階を計測した。マイクロホンの位置は寝返りをうてる高さ（約 70 cm）で仰向けになった際、鼻孔の先にマイク

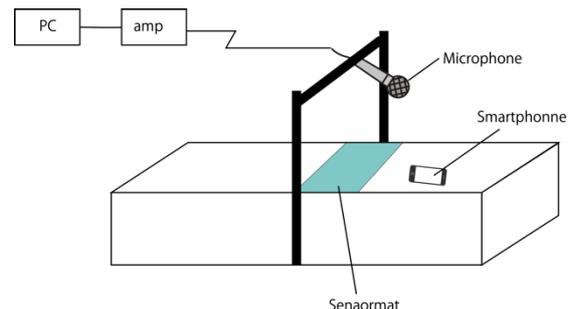


Figure 1 measurement system

ロホンを向けるように設置した．睡眠時の収録された音響信号の一例を Fig. 2 に示す．

3.2 音響信号による睡眠段階推定

計測時間は6時間14分であった．出力された音声データをカットオフ周波数を2 kHzとし，ハイパスフィルターを用いて寝息信号を抽出した．これは2 kHz以下では環境音などの雑音が多くみられ呼吸信号がほとんど確認できなかったためである．寝始めてから1時間の間における周波数スペクトルを確認したところ，録音した音声の周波数は2.0~2.9, 2.9~3.3, 3.3~4.2, 4.2~4.6 (kHz)の4つの周波数帯域にピークを持つことがわかった．

よって，それぞれの周波数帯域の音と睡眠状態との関係を検証するために，バンドパスフィルター(BPF)を用いてそれぞれの周波数帯域の時間波形を抽出し，抽出した波形について10分ごとにパワーを求め，睡眠時間の中でのパワーの推移を表示した．その結果とスマートフォンアプリ，圧力センサーマットで得られた睡眠段階推移と比較した図を帯域毎に，それぞれ青線，赤線，緑線で Fig. 3 に示す．はその後，呼吸信号とスマートフォンアプリ，圧力センサーマットで得られた結果との相関係数を求めることでどの帯域の呼吸信号が睡眠段階を示すのに適切かを確認することができた．

3.3 考察

一般的に知られている浅い睡眠とは体は寝ていて脳が起きている状態を指す．そのため目は閉じていても眼球が動くことや，呼吸が安定していないなどの特徴がある．また脳は起きているため夢を見るときもこの浅い睡眠状態であることが知られており，寝言を発するのもこのタイミングである．一方で深い睡眠時は呼吸，脈拍ともに安定し脳が寝ている状態なので夢をみることもほとんどない⁽²⁾とされている．

Figure 3(b), (c)の帯域では(a), (b)に比べより正確に睡眠段階を推定できることが相関分析により求められた．この結果を Table 1 に示す．このことから，呼吸音計測による睡眠計測では2.9~4.2 (kHz)の帯域が望ましいと推測できる．

4. まとめ

本研究では，睡眠時の呼吸計測から睡眠段階を推定するため，マイクロホンアレイから得られた呼吸信号を解析し睡眠段階の推移を作成した．その推移の様子と一般に普及しているスマートフォンアプリ，圧力センサーマットから得られる睡眠段階の推移との比較，検証を行った．その結果，特定の帯域でBPF処理を行えば呼吸音から睡眠段階を推定することが可能であることが示された．今後は，睡眠をモニタリングするにあたってより精度を高めるためにサンプル数を増やす以外に，今回用いたレファレンスだけでなく脈拍計や，体動を画像として処理することができるキネクトなどの機器を用いて検証する必要がある．

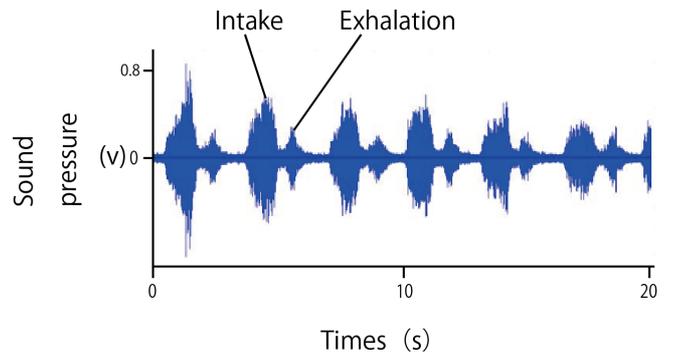


Figure 2 Typical of breathing waveform

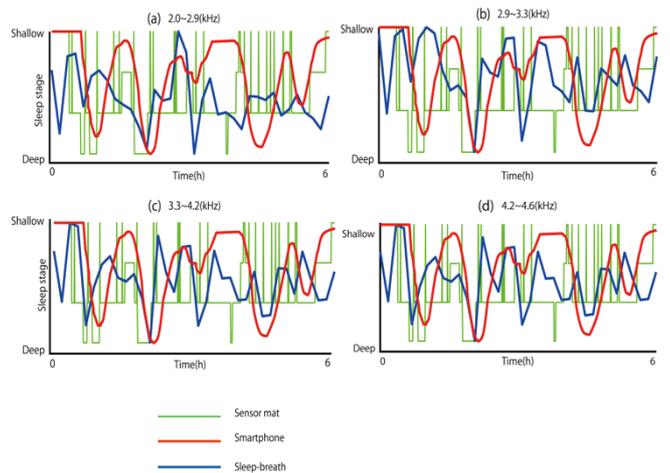


Figure 3 Behavior of the estimated sleep stage

Table 1 Correlation coefficient with proposed method

Freq. Band [kHz]	Sensor mat	Smartphone
(a)2.0~2.9	0.075	-0.002
(b)2.9~3.3	0.373	-0.003
(c)3.3~4.2	0.461	0.116
(d)4.2~4.6	0.155	0.092

参考文献

- (1) 国立社会保障・人口問題研究所，「日本の将来推計人口」（平成24年1月推計），2012.
- (2) 日本睡眠学会，「睡眠学」，朝倉書店，2010.
- (3) 高玉圭樹，田島友祐，「介護支援のための睡眠モニタリングエージェントとその展開」，IEICE Fundamentals Vol. 8 (2014) No. 2 p. 96-101
- (4) 飛田 渉，「睡眠時無呼吸症候群の診断」，日本気管食道科学会会報，Vol. 40(1989) No. 5