

睡眠時の顔領域画像計測による睡眠リズムの推定

Estimation of sleep rhythm using the infrared images of facial area

○ 佐藤雪乃 加藤綾子 来住野修 (埼玉医科大学)

福井康裕 (東京電機大学)

Yukino SATO, Ayako KATOH, Osamu KISHINO, Saitama Medical University

Yasuhiro FUKUI, Tokyo Denki University

Abstract: It is important to evaluate the quality of sleep for health maintenance. And the evaluating quality of sleep is also important for diagnose of mental illness. The purpose of this study is to develop a method of evaluating sleep rhythm by image analysis without using any attachment device such as electrodes. The proposed system records near-infrared video images, and calculate the changes in the average image brightness value of facial region. The heart rate (HR) of subjects are estimated from the brightness value using peak of FFT spectrum. Then average and standard deviation of HR of every 30 seconds are calculated. The HR parameters were corresponding to sleep stage determined using brain waves and electro-oculogram.

Key Words: Sleep stage, Image processing,

1. はじめに

睡眠の質を日常的に評価することは、睡眠時無呼吸症候群などの病気の診断のみならず、人々の健康維持にとっても重要な課題である。現在、睡眠時無呼吸症候群などの正確な睡眠ステージ判定には脳波計測と眼球運動計測が併用されているが、日常的な計測には不向きである。このため家庭向けの睡眠評価方法として、主に体動のセンシングを主体としたマットレス式の体動計、ベッドサイドに設置する小型の体動計、腕時計型に代表されるようなウェアラブルな体動計や心拍数計なども開発がされてきているが、その精度は未だ十分とはいえない。

一方、臨床の現場においては、従来の脳波電極などのセンサ装着による睡眠評価の方法では困難な対象者もあり、新しい方法が望まれている。例えば、精神疾患患者においては睡眠の質と病態との関連性が指摘されており、睡眠の質を評価することは病状を正確に診断するために重要な情報である⁽¹⁾。しかし、保護室に隔離されるような重症な患者に電極や各種センサを装着することは困難である。また、新生児は皮膚が弱く電極装着が困難である。

本研究では、家庭での健康管理目的だけでなく、睡眠時無呼吸症候群などの病気の診断や精神疾患患者や乳幼児などの電極装着が困難な対象者でも睡眠の質を計測できることを目指して、電極などの装着を必要としない睡眠リズムの判定方法の開発を目的とする。

現在、睡眠ステージを判定するには、脳波、眼球運動の計測が必要であるが、本研究ではセンサの非装着を実現するために、天井植込み型カメラを使用して睡眠時の頭頸部画像を撮影し、その画像解析により睡眠の質を判定することを目指す。これまでに顔領域の画像の輝度値変化を利用して脈波様のデータを抽出でき、その波形の周波数解析により心拍数に相当するデータが取得できることを確認しており⁽²⁾、本稿では画像から心拍数を推定し、推定された心拍数と脳波解析による睡眠ステージとの関連を検討する。

2. 方法

2-1 画像の撮影方法

近赤外領域に感度を持つカメラ (HXC20NIR, Baumer) と波長 940nm の近赤外照明を対象者の頭上に設置する

とにより、睡眠中の頭頸部を撮影する。

2-2 心拍数の推定

2-2-1 平均輝度値データの取得

撮影した動画画像から顔領域を検出し、検出された顔の中心に円形に ROI を設定し、ROI 内の平均輝度値を算出する。寝返りなどで多少傾いても顔領域を追えることを目指し、顔領域の検出には Viola-Jones の方法とエッジの特徴点による方法を併用した。検出された顔領域の中心を基準として円形の計測領域を設定し、計測領域内の平均輝度値を算出する。次に、エイリアシング除去を目的として 13Hz 以上を減衰させるローパスフィルタを、呼吸性変動や体動による影響の除去を目的として 0.5Hz 以下を減衰させるハイパスフィルタを適用する。各フィルタは FIR フィルタとして設計した。

2-2-2 FFT による心拍数推定と睡眠リズムの判定

2-2-1 で得られたデータを 30 秒毎に区切り、ハニング窓をかけ、FFT をかける。得られた周波数スペクトルから、最大スペクトルを持つ周波数の値を 60 倍したものを、その時点での心拍数とする。これを波形全てに対して繰り返すことにより心拍数変化の波形を取得する。このようにして得られた心拍波形の平均値や標準偏差を基準として、睡眠ステージとの関連を調査する。

3. 実験方法

3-1 実験の概要

心拍数パラメータと睡眠ステージとの関連を調べるため、画像、脳波、眼電、心電図を同時計測し、これらの比較検討を行った。

3-2 実験環境及び計測項目

対象者の頭上約 1.5m の位置に近赤外カメラと近赤外照明を設置した。カメラは計測用 PC と接続されており、6 時間~7 時間の長時間の撮影も可能である。画像の解像度は 2040×1088pixels、フレームレートは 30fps で撮影した。

また、撮影した動画画像から推定される心拍数と実際の心拍数を比較するため、無線式小型心電計 (WHS-1, UNION TOOL) を用いて心電図を計測した。さらに画像から推定される心拍数パラメータと実際の睡眠ステージとを比較するため、簡易脳波計 (脳波センサ ZA, 株式会社プロアシ

スト)を用いて簡易脳波と眼電を計測した。脳波電極は額の中央、眼電電極は両目の横に対角になるように装着した。サンプリング周波数は脳波計、心電計共に128Hzとした。

実験環境を Fig.1 に示す。図中に示された計測用 PC、近赤外カメラ、近赤外照明及、脳波計受信機、心電計受信機以外に、脳波計測用 PC、心電図計測用 PC があり、それぞれ受信機と USB 接続されている。

3-3 実験プロトコルと対象者

睡眠は 22:00~翌 7:00 のなかで、できるだけ普段の睡眠習慣に近くなるよう睡眠時間を決めてもらい計測を行った。実験はインフォームドコンセントを得られた対象者に対して実施した。

3-4 データ処理

脳波と眼電図を解析することにより、睡眠ステージを stage1~stage4, REM, Wake の 6 段階に分類した。この分類は 30 秒毎に行った。

画像から推定される心拍数も 30 秒間毎の平均と標準偏差を算出した。

心電図から R 波のピーク値を検出することにより RR 間隔を求め、各時点における心拍数を算出し、これも 30 秒毎に平均を求めた。

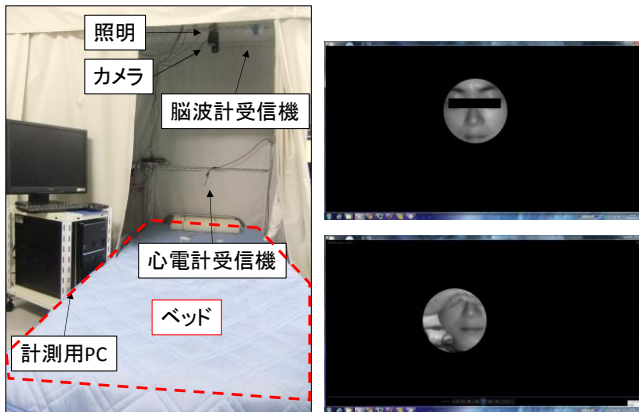


Fig 1 Experimental setup

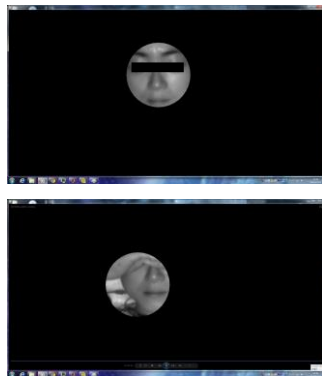


Fig.2 Facial area tracking

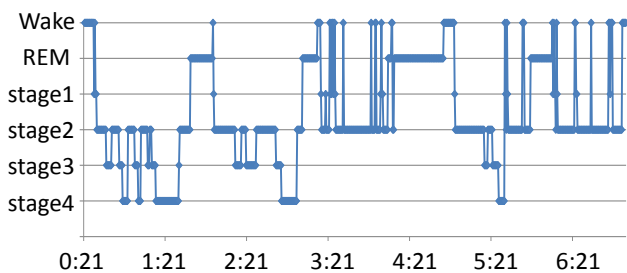


Fig.3 Example of sleep stage

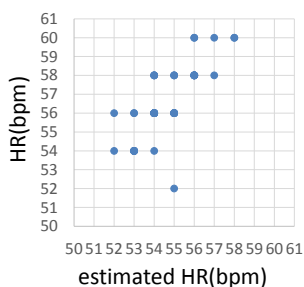


Fig.4 Estimation result of HR

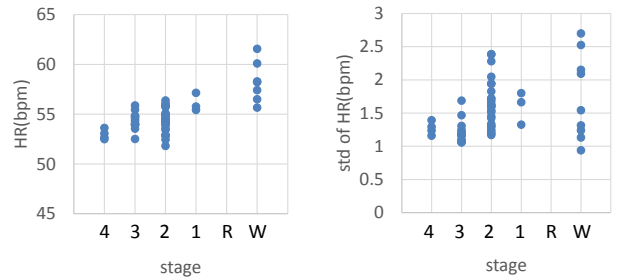


Fig.5 Relationship between HR parameters and sleep stage

4. 実験結果

顔領域を検出し、計測領域が抽出された例を Fig.2 に示す。寝返りで完全に横を向いた場合や顔に手などがかった場合には顔領域の検出が失敗する例もあったが(Fig2 下)、正面に近い場合にはおおむね検出が行えた。

対象者 A の一晩の睡眠リズムの変化を Fig.3 に示す。縦軸は睡眠ステージを表し、Wake から Stage4 まで周期的に変化しているのがわかる。

画像解析により得られた心拍数を 30 秒間平均したものと心電図計測により得られた心拍数を比較した結果を Fig.4 に示す。寄与率 0.55 で相関が見られた。

睡眠ステージと心拍数パラメータの関係を調べるため、睡眠ステージ変化が顕著な開始から 30 分に着目し、睡眠ステージ変化と比較した結果を Fig.5 に示す。眠りが浅いほど心拍数が高い傾向が見られた。また、30 秒間毎の心拍数の標準偏差と睡眠ステージとを比較した結果、深い睡眠時には標準偏差が小さい傾向が見られた。これらの結果は先行研究とも一致した⁽³⁾⁻⁽⁴⁾。他の情報とも組み合わせることにより、睡眠の質の評価が可能であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、センサなどを非装着で睡眠の質を判断することを目指しており、睡眠ステージと画像から得られる心拍数パラメータとの関連を調査した。その結果、睡眠ステージが低いほど心拍数が高く、心拍数の変動が多い傾向が見られ、睡眠の質の評価が行える可能性が示された。今後はさらに解析を進め、ステージ判定アルゴリズムを検討する。

本研究における実験は埼玉医科大学保健医療学部倫理委員会の承認を得て行われた。また、本研究の一部は埼玉医科大学保健医療学部 Grant 14 の助成によった。

参考文献

- (1) 山田尚登, 精神疾患における睡眠・覚醒のリズムの評価とその意義, 精神神経誌, Vol.112, No.9 p.928-932, 2010
- (2) 加藤綾子, 濃野剛, 福井 康裕, 睡眠評価のための近赤外線画像を用いた心拍数変動の解析, 平成26年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp. 1396-1399, 2014
- (3) 古木正芳, 八十政夫, 湯ノ口万友, 心拍を用いた REM 睡眠期のリアルタイムな検出, 電子情報通信学会技術研究報告 MBE ME と バイオサイバネティクス, Vol.104, No.644 p.45-48, 2005