

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：34441

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560316

研究課題名(和文) Kinectセンサによる睡眠時無呼吸症候群の簡易スクリーニングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of simplified screening system for sleep apnea syndrome using the Microsoft Kinect sensor

研究代表者

五十嵐 朗 (IKARASHI, Akira)

藍野大学・医療保健学部・教授

研究者番号：10570632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：我が国において睡眠時無呼吸症候群(SAS)の潜在患者は人口の約2%いるとされている。SASスクリーニング検査として、メモリ機能付きパルスオキシメータが利用されているが、センサの装着が睡眠状態に影響を与える可能性がある。そこでMicrosoft Corporation製のモーション・キャプチャ・センサであるKinect for Windowsを用いたSAS簡易スクリーニングシステムの開発を行った。その結果、深度センサを用いた呼吸様式の識別およびRGBカラー画像を用いた脈波の非接触計測が可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The prevalence of sleep apnea syndrome (SAS) is estimated to reach into 2% of the population in Japan. Screening test for SAS using pulse oximetry is often performed at home. However, the sensor attachment have a negative influence on sleeping condition. To address this problem, we have investigated the non-contact measurement using the Microsoft Kinect sensor. Consequently, the comparison experiments between the pulse rate values obtained by these data and by the photo-plethysmography showed a fairly good agreement. Similarly, it was confirmed that the breathing pattern using the depth sensor could be distinguished. The proposed technique may have a great value in monitoring at home.

研究分野：生体医工学

キーワード：睡眠時無呼吸症候群 非接触計測 Kinectセンサ

1. 研究開始当初の背景

現在、日本には睡眠時無呼吸症候群 (Sleep Apnea Syndrome: SAS) の潜在患者が人口の 2 %、約 256 万人いるとされている [1]。SAS とは睡眠中に呼吸が停止し、それによって日常生活に様々な症状が生じてくる状態になることをいう。SAS の定義は、10 秒以上の気流停止 (気道の空気が止まった状態) を無呼吸とし、無呼吸が 1 晩 (7 時間の睡眠中) に 30 回以上、若しくは 1 時間あたり 5 回以上の状態とされる。SAS は様々な生活習慣病を引き起こし、結果として不整脈、狭心症、心筋梗塞、脳卒中などの発生率が上昇する [2]。また、職業運転手、高所作業、夜勤時などの単独作業職種では SAS による居眠りによる重大な労働災害を引き起こす恐れがある。このように、健康被害だけでなく企業や社会に与える経済損失は決して少なくない。

SAS 診断の流れとしては、自覚的な眠気をエプワース眠気尺度と呼ばれる自己記入式質問票でチェックすると共に、鼻口気流、気管音、動脈血酸素飽和度 (S_pO_2) などを記録する簡易型検査装置による在宅でのスクリーニング検査を行う。特に ODI (S_pO_2 低下回数 / 時間) が AHI (無呼吸低呼吸指数) と高い相関を示し、スクリーニングとして有効と言われており [3]、メモリー機能付きパルスオキシメータが簡易的に利用される場合が多い。その結果に応じて、必要ならば医療機関での終夜睡眠ポリグラフ検査 (PSG) を行っている。しかし、簡易型検査装置における呼吸計測法であるフローセンサやインダクタンス法は、いずれもセンサ装着が煩雑である。したがって、センサを装着することが睡眠状態に影響を与える可能性があり、寝返りなどの体動によるアーチファクトで S_pO_2 を誤検出する可能性もある。そこで簡便かつ被検者に負担をかけずに非接触計測が可能であれば、SAS のより正確なスクリーニング検査が可能となると考えられる。

2. 研究の目的

上記の様な社会的背景を受けて、本研究では被検者への計測の負担を軽減するために、非接触的な方法で様々なパラメータを 1 つのセンサで計測可能な Microsoft Corporation 製のモーション・キャプチャ・センサである Kinect™ for Windows (Kinect センサ) に着目した。具体的には、呼吸運動に伴う体表面の変位を Kinect センサの深度センサを用い計測することで、胸部と腹部の動きを区別可能な非接触による高精度な呼吸計測が可能になると考えられる。また、RGB カメラのカラー画像を処理することで体表面の血流状態を計測することができれば、1 つのセンサで呼吸と血流の状態を同時計測できるものと思われる。本研究では被検者の負荷が少ない非接触計測法での睡眠時無呼吸症候群の簡易スクリーニングシステムの開発を

目的とした。

3. 研究の方法

Kinect センサを用いて、深度センサによる体表面変位計測からの呼吸様式の判別、RGB カメラのカラー画像による体表面の血流状態の計測を試みた。なお、全ての実験は藍野大学研究倫理委員会の承認を経て行った。また、被験者には実験に先立ち本研究の目的を十分説明し、実験終了後には本実験で得られた結果を希望に応じて通知する旨を伝え、実験参加の承諾を書面にて得た。

(1) 深度センサによる体表面変位計測

Kinect センサには、ランダム・ドット・パターンを対象物に照射するための赤外線レーザー・プロジェクタ、そのパターンの歪みをキャプチャする近赤外線カメラが搭載されており、画素単位にリアルタイムで深度情報を取得できる。深度画像として距離情報を得ることができるため、変位を点ではなく画像としてとらえることができる。被験者は健康成人男性 5 名 (年齢: 22~23 歳、身長: 160~180cm、体重: 50~70kg) で、座位・胸式呼吸下および腹式呼吸下で各 1 分間の測定をそれぞれ計 5 回行った。計測に用いたシステムは、Kinect センサ、サーミスタ呼吸アンブ、レコーダと汎用のパーソナルコンピュータより構成される。呼吸運動に伴う Kinect センサの深度データ変化と比較するためにサーミスタ呼吸センサによる同時測定を行った。Kinect センサの画像取得には、Visual C # 2012 Express 及び Kinect for Windows SDK ver1.8 を用いて計測プログラムを作成した。計測プログラムにより Kinect センサの深度データ (640 × 480 pixel, 30fps) を汎用のパーソナルコンピュータに取り組んだ。また呼吸波形については量子化 16bit、サンプリング周波数 100Hz の条件でレコーダを介して汎用のパーソナルコンピュータに取り組んだ。

Kinect センサより取得された画像は信号処理ソフト (MATLAB R2012a) を用いて、以下に示す手順で処理を行った (図 1)。

取得した深度データを胸部から腹部にかけて図 1 のように 6 × 3 に分割し、距離データに換算する。

換算した距離データを 1 要素の範囲で平均化し、次フレームとの差分を要素ごとに算出する。

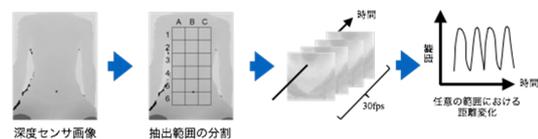


図 1 深度センサ画像の処理方法の概要

以上の手順を取得した画像すべてに対しを行い、時系列データを作成した。また作成した時系列データに対して、高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform: FFT) を用い

て周波数スペクトル解析を行った。なお FFT はサンプリング周波数 30Hz, データ数 10bit にて行った。また, 同時測定を行った呼吸波形は, サンプリング周波数 100Hz, データ数 12bit にて FFT を行った。

(2) RGB カメラによる体表面血流計測

被験者は健康成人男性 5 名 (年齢:21 ~ 23 歳, 身長:160 ~ 180cm, 体重:50 ~ 80kg) で, 安静状態の仰臥位・鼻呼吸の状態で 80 秒間の測定を計 5 回行った。計測に用いたシステムは, Kinect センサ, 光電容積脈波計, サーマスタ呼吸アンプ, レコーダと汎用のパーソナルコンピュータにより構成される。Kinect センサを被験者の右頬に位置するように設置し, Kinect センサで抽出した波形と比較検討するために光センサを右手第 2 指指尖部に装着し, 呼吸による影響の有無を検証するためにサーミスタ呼吸センサによる同時測定を行った。Kinect センサの画像取得には, 深度センサでのソフトウェア開発環境と同一の環境を用いて, 計測プログラムを作成した。計測プログラムにより Kinect センサの RGB カメラから RGB カラー画像 (各色は 256 階調, 640 × 480, 30fps) を取得し, 汎用のパーソナルコンピュータに取り込んだ。また光電容積脈波と呼吸波形については量子化数 16bit, サンプリング周波数 1kHz の条件でレコーダを介して汎用のパーソナルコンピュータに取り込んだ。

Kinect センサより取得された画像は信号処理ソフト (MATLAB R2012a) を用いて, 以下に示す手順で処理を行った (図 2)。

取得したカラー画像より各画素に格納されている RGB の輝度データを抽出する。

1 画面分 (640 × 480) の輝度データを RGB の構成要素ごとに平均化する。平均化した各 RGB 輝度データの R 成分と G 成分とで差分を取る。

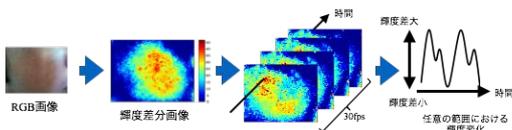


図 2 RGB 画像の処理方法の概要

R 成分と G 成分の差分画像と R 成分と B 成分の差分画像を比較したところ, 前者の方がすべての被験者において大きな輝度差が得られた。したがって, 本研究では先の手順で取得した画像すべてに対して, R 成分と G 成分の吸光度差を求め, 時系列データを作成した。また作成した時系列データに対して, FFT を用いて周波数スペクトル解析を行った。なお FFT はサンプリング周波数 30Hz, データ数 14bit にて行った。また, 同時測定を行った脈波及び呼吸波形はデータを 1/10 に間引き, サンプリング周波数 100Hz, デー

タ数 14bit にて FFT を行った。

4. 研究成果

(1) 深度センサによる体表面変位計測

図 3 に胸式呼吸での測定結果の一例を示す。鎖骨下の正中線での体表面の変位 (1-B) は最大 20mm, 腹部の正中線での体表面の変位 (6-B) は最大 4.8mm であった。4, 5 段目 (第 6, 7 肋骨付近) の A 列 (右側) と C 列 (左側) で左右差が見られた。腹部より鎖骨下の変位が大きいため, 胸式呼吸の特徴をとらえていることがわかる。また, 同時測定したサーミスタ呼吸波形と胸式呼吸時の鎖骨下の正中線 (1-B) での深度データの時系列変化の波形を比較すると, 位相差が見られたが呼吸回数は同一であった。一方, 腹式呼吸においては, 鎖骨下の正中線での体表面の変位 (1-B) は最大 9.9mm, 腹部の正中線での体表面の変位 (6-B) は最大 25mm であった。鎖骨下より腹部の変位が大きいため, 腹式呼吸の特徴をとらえていることがわかる。

図 4 に胸式呼吸時の鎖骨下の正中線 (1-B) での深度データの時系列波形とサーミスタ呼吸波形の FFT 解析結果の一例を示す。

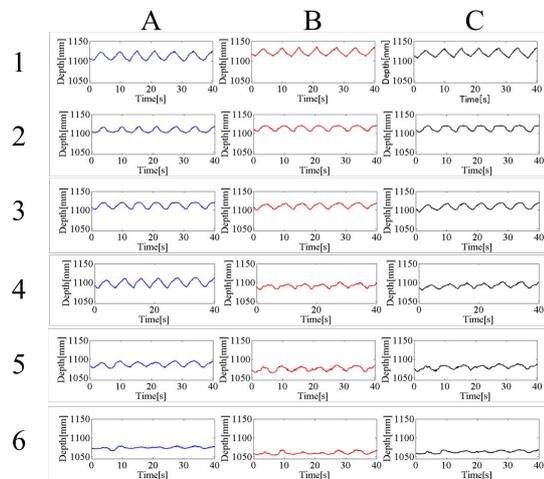


図 3 胸式呼吸による Kinect センサで得られた深度データの時系列波形 (鎖骨下から腹部にかけて垂直方向に 6 分割, 右側から左側にかけて水平方向に 3 分割)

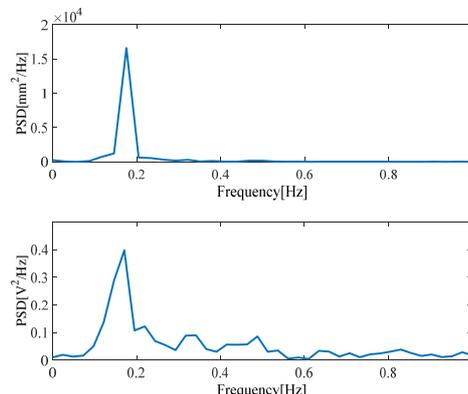


図 4 胸式呼吸による周波数スペクトル分布

(上段: 深度データの時系列波形, 下段: サーミスタ呼吸波形)

サーミスタ呼吸波形については 0.17Hz でピークが確認でき, 深度データの時系列波形にも 0.17Hz に同様なピークを確認することができた。また, 腹式呼吸においてもそれぞれ 0.24Hz と 0.28Hz にピークを確認でき, 被験者によってサーミスタ呼吸波形と深度データのピーク位置には個人差はあったが, 両者のピーク周波数はほぼ一致した。

(2)RGB カメラによる体表面血流計測

図 5 に同時計測した測定結果を示す。上段に Kinect センサより得られた吸光度差の時系列変化, 中段に同時測定を行った光電容積脈波, 下段に同時測定を行った呼吸波形をそれぞれ示した。Kinect センサより得られた波形は 30 秒間で 27 回拍動しており, 光電容積脈波計で得られた波形から計算した心拍数は 54bpm であり, Kinect センサより得られた波形は光電容積脈波と同じ周期で変動していた。

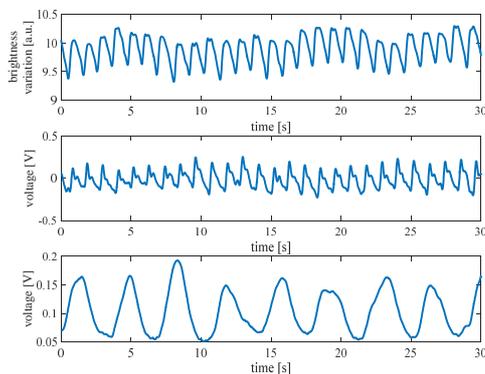


図 5 Kinect センサより得た吸光度差の時系列変化 (上段), 光電容積脈波 (中段), サーミスタ呼吸波形 (下段) の同時測定結果

図 6 にそれぞれの波形の FFT 解析結果を示す (上段: Kinect センサより得られた波形, 中段: 光電容積脈波, 下段: サーミスタ呼吸波形)。Kinect センサより得られた波形は 0.91Hz でピークを確認でき, 光電容積脈波にも 0.90Hz に同様なピークを確認することができた。したがって, Kinect センサで得られた画像から抽出した波形は, 体表面の血流状態を反映したものだと考えられる。また, Kinect センサより得られた波形の FFT 解析結果で 0.27Hz に値は小さいがピークを確認できた。呼吸波形の FFT 解析結果では 0.26Hz で同様なピークを確認できることから Kinect センサより得た波形は呼吸性変動の成分を含んでいる波形であると考えられる。しかし被験者によっては, 基線変動が小さい場合もあり個人差があった。呼吸による体動の可能性も考えられるが, 安静時仰臥位にて実験を行っていることから呼吸に伴う

体動による影響は無いと考えられる。また脈波測定において, 吸気時には末梢での血液量は減少し容積脈波は下方に変位し, 反対に呼気時には末梢での血液量は増加し容積脈波は上方に変位する容積脈波の呼吸性変動がある [4]。Kinect センサにより測定しているのは顔面の末梢循環血流における赤血球の相対的な変化であり, Kinect センサが抽出した波形にも脈波の呼吸性変動が重畳している可能性がある。

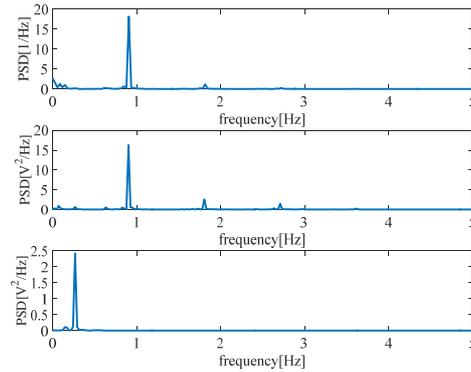


図 6 Kinect センサより得た吸光度差の時系列変化 (上段), 光電容積脈波 (中段), サーミスタ呼吸波形 (下段) の周波数スペクトル分布

Kinect センサの深度カメラを用いて, 呼吸の非接触計測が可能であること確認された。胸式呼吸は鎖骨下, 腹式呼吸では腹部の体表面変位が大きく, 呼吸の変化パターンを容易に識別でき, 呼吸様式や換気状態を把握することが可能であった。また, RGB カメラを用いて, 脈波の非接触計測が可能であることが確認できた。さらに抽出した脈波には個人差はあるが呼吸の変動成分が含まれていることが確認できた。今後の課題として, 抽出した脈波から動脈血酸素飽和度を算出する方法の考案, 脈波と呼吸波形のリアルタイム分離方法の検討などを行っていきたいと考えている。

<引用文献>

- [1] 粥川裕平, 岡田保: 閉塞性睡眠時無呼吸症候群の有病率と性差, 年齢差. 治療学, 30(2): pp179-182, 1996.
- [2] 村田朗: 睡眠時無呼吸症候群の診断と治療, 寝ている間に病気が作られる, 日医大医会誌, 3(2), 2007.
- [3] 中野博 (天理市立病院), 大西徳信, 千崎香, 他: 睡眠障害スクリーニング検査法としてのパルスオキシメトリー解析方法. 呼吸, 16(5): pp.791-797, 1997.
- [4] 木村俊樹: 睡眠呼吸障害モデルにおける循環動態に関する研究, 容積脈波の呼吸性変動と奇脈, 日胸疾会誌, 33(1), 1995.

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[雑誌論文](計3件)

五十嵐朗,竹田優希:Kinect センサを用いた非接触血流計測に関する基礎的検討,第54回日本生体医工学会大会 プログラム・抄録集,53(Suppl.1),(2015),222,査読無

Akira Ikarashi: A Primary Study on Non-Contact Measurement of Vital Signs using the Microsoft Kinect Sensor, Proceedings of the 37th Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society ,(2015),20133631,査読有

五十嵐朗,今西祥:Kinect センサによる睡眠時無呼吸症候群のスクリーニングシステムの開発研究 - 脈波抽出に関する基礎的検討 -,第55回日本生体医工学会大会 プログラム・抄録集,54(Suppl.1),(2016),233,査読無

[学会発表](計3件)

五十嵐朗,竹田優希:Kinect センサを用いた非接触血流計測に関する基礎的検討,第54回日本生体医工学会大会,2015年5月8日,名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市)

Akira Ikarashi: A Primary Study on Non-Contact Measurement of Vital Signs using the Microsoft Kinect Sensor, 37th Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society,2015年8月28日,Milano(Italy)

五十嵐朗,今西祥:Kinect センサによる睡眠時無呼吸症候群のスクリーニングシステムの開発研究 - 脈波抽出に関する基礎的検討 -,第55回日本生体医工学会大会,2016年4月28日,富山国際会議場,富山市民プラザ(富山県・富山市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

五十嵐 朗 (IKARASHI, Akira)

藍野大学・医療保健学部・教授

研究者番号:10570632