

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K10335

研究課題名（和文）上気道閉塞徴候と麻酔科医の診断・処置データを深層学習させた麻酔管理ロボットの開発

研究課題名（英文）Development of an anesthesia management robot with deep learning of upper airway obstruction signs and anesthesiologist's diagnosis and procedure data.

研究代表者

鮎瀬 卓郎（AYUSE, TAKAO）

長崎大学・医歯薬学総合研究科（歯学系）・教授

研究者番号：20222705

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：鎮静中の上気道閉塞を反映する指標の中で、吸気時の特徴的な呼吸波形が上気道開通性のモニタリング方法として応用可能であることが明らかになってきた。また、麻酔科医が聴取しているいびき音などの呼吸音の変化も重要な指標になることが分かってきた。吸気と呼気のそれぞれの気流制限とDUTY CYCLEと呼ばれる吸気相と呼気相の比率の変化を中心とした呼吸メカニクスに関するデータと麻酔深度のデータを検出して、麻酔科医による閉塞の重症度の判断と気道確保の処置を教師データとして深層学習させることでAI機能を持った麻酔管理ロボットを開発する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鎮静中の呼吸機能をデジタルデータ化して収集し人工知能にて麻酔科医の症度の判断と気道確保の処置深層学習させることで新しいAI呼吸モニターを開発することを目的としている。麻酔深度と麻酔薬の投与を自動化して行う麻酔管理システムは、いくつか実用化に近いが、上気道の閉塞性を連続的にモニタリングして、さらに気道開通性を改善させる気道管理ロボットは、麻酔の安全性を考えると重要であると考えられる。吸気と呼気のそれぞれの気流制限と吸気相と呼気相の比率の変化を中心とした呼吸メカニクスに関するデータを検出してAI機能を持った麻酔管理ロボットが医療者を補佐して、より安全な麻酔管理ができるようになると思われる。

研究成果の概要（英文）：Among the indicators that reflect upper air obstruction during sedation, it has become clear that the characteristic respiratory waveform during inspiration can be applied as a method of monitoring upper airway patency. In addition, changes in respiratory sounds, such as snoring sounds heard by anesthesiologists, have also been found to be important indicators. By detecting data related to respiratory mechanics and anesthesia depth data, mainly airflow limitation and changes in the ratio of inspiratory and expiratory phases, called DUTY CYCLE, respectively, and by deep learning the anesthesiologist's judgment of the severity of obstruction and airway clearance procedures as supervised data, an anesthesia management robot with AI functionality can be developed. Develop an anesthesia management robot.

研究分野：歯科麻酔学

キーワード：上気道閉塞 鎮静

1. 研究開始当初の背景

鎮静中は麻酔科医が行っている、胸とお腹の動きを注意深く観察することや呼吸の音の変化を見逃さないなどの経験に基づく判断と気道確保の初期対応が医療安全に大いに貢献しているが、麻酔科医の経験による部分が大きく、標準化されていない欠点がある。麻酔中に上気道閉塞が起これば閉塞の早期には、吸気と呼気のそれぞれの相で気流制限と呼ばれる特徴的な呼吸波形が出現することが分かっている。しかし、上気道閉塞時の吸気と呼気のそれぞれの呼吸相に出現する気流制限がどこの部位の閉塞を反映している現象なのか、あるいはどの程度の気流制限が危険なレベルなのかを判断できるモニターが存在しない。そこで、気流制限のデータと麻酔深度、麻酔科医の閉塞の重症度判断と処置内容を教師データとして組み合わせて深層学習させる事ができれば、閉塞を早期検出できる呼吸モニターを具備した麻酔管理ロボットを作ることが出来るのではないかと考えるに至った。鎮静中の呼吸管理において麻酔科医が行っている“介入すべき重篤な上気道閉塞かどうかの判断”の裏付けになっている、“腹部と胸の動きを見る“や”呼吸状態を確認する“などの暗黙知の教師データの情報に加えて、定量的な上気道閉塞の測定データがあれば、より早期に上気道閉塞の徴候を検出できる画期的な呼吸モニターが実現すると考える。さらに、麻酔科医が行っている診断や気道確保などの処置を誰でも出来るようになれば、より安全な呼吸管理が可能になる。鎮静中の呼吸を調節する生理的機能に関連するデジタルデータと、麻酔科医の診断と処置を教師データとして深層学習させてAI呼吸モニターを開発し、それを組み込んだ自動麻酔管理ロボットを開発する試みは国内外でも行われておらず、極めて独創的なものである。

2. 研究の目的

本研究は、鼻呼吸での吸気の気流制限のデータと麻酔深度、いびき音、呼吸パターンの変化など麻酔科医の閉塞の重症度判断と処置内容を教師データとして組み合わせて深層学習させる事ができれば、閉塞を早期検出できる呼吸モニターを具備した麻酔管理ロボットを作ることとを目的としている。鎮静中に上気道閉塞が起これば吸気と呼気のそれぞれの気流制限と呼ばれる特徴的な吸気波形が出現することが分かっている。しかし、上気道閉塞時の吸気と呼気のそれぞれの呼吸相に出現する気流制限がどこの部位の閉塞を反映している現象なのか、あるいはどの程度の気流制限が危険なレベルなのかを判断できる再現性の高く診断精度の高い生体監視モニターが存在しない。本研究では、鎮静中の呼吸機能を調節する様々な生理機能をデジタルデータ化して大規模に収集し、AI(人工知能)にて麻酔科医の重症度の判断と気道確保の処置を教師データとして深層学習(ディープラーニング)させることで新しいAI呼吸モニターを開発し、それを組み込んだ麻酔管理ロボットを開発する。

吸気と呼気のそれぞれの気流制限と DUTY CYCLE と呼ばれる吸気相と呼気相の比率の変化を中心とした呼吸メカニクスに関するデータと麻酔深度のデータを検出して、麻酔科医による閉塞の重症度の判断と気道確保の処置を教師データとして深層学習させることで、AI機能を持った麻酔管理ロボットが医療者を補佐する事ができるようになる。

3. 研究の方法

本研究では、鎮静中の呼吸機能を調節する様々な計測可能な生理機能をデジタルデータ化して収集し、AI (人工知能)にて麻酔科医の症度の判断と気道確保の処置を教師データとして深層学習(ディープラーニング)させることで新しいAI呼吸モニターを開発し、それを組み込んだ麻酔管理ロボットを開発することを目的としている。吸気と呼気のそれぞれの気流制限と DUTY CYCLE と呼ばれる吸気相と呼気相の比率の変化を中心とした呼吸メカニクスに関するデータと麻酔深度のデータを検出して、麻酔科医による閉塞の重症度の判断と気道確保の処置を教師データとして深層学習させることで、AI 機能を持った麻酔管理ロボットが医療者を補佐する事ができるようになると考えられ、16チャンネルのデータ記録装置に収集した基礎データから特許申請の視野にデータ解析を継続して行っている。

収集する呼吸メカニクスのデジタルデータ項目

- 項目 1 : 鼻マスクで得られる吸気時および呼気時の気流制限の波形データ
- 項目 2 : 鼻カニューレによるカプノグラフによる炭酸ガスのデータ
- 項目 3 : 加速度センサーを用いた額、側頭部、オトガイ、胸部、腹部の動きのデータ
- 項目 4 : 経皮的動脈血酸素飽和度のデータ
- 項目 5 : BIS モニターと筋電図活性による麻酔深度のデータ
- 項目 6 (教師データ) : 鎮静中での麻酔科医の上気道閉塞の判断や処置のデータ

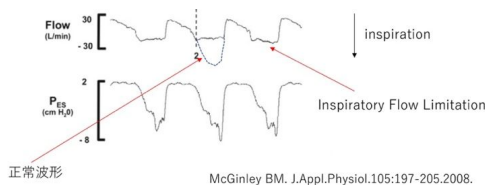
項目 1 : 鼻マスクで得られる吸気時および呼気時の気流制限の波形データ

Ambu 社の Bluetooth 通信型の気流計(下図)を鼻マスクに装着し、鎮静中の呼吸状態を連続的に記録する。気流制限の波形を演算処理してデジタルデータ化してデータを収集する。

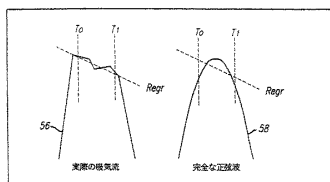


現時点で、最少の Bluetooth 通信型の気流計で、本研究で使用する。

得られた吸気・呼気時の気流制限波形を、既に論文発表 (Morgenstern C. IEEE:2439-2442.2008) されている数式で演算して、正常呼吸時の正弦波の特徴と比べて、上気道閉塞時の波形が、どれだけ変化しているかを定量化して、上気道閉塞を認識させる。

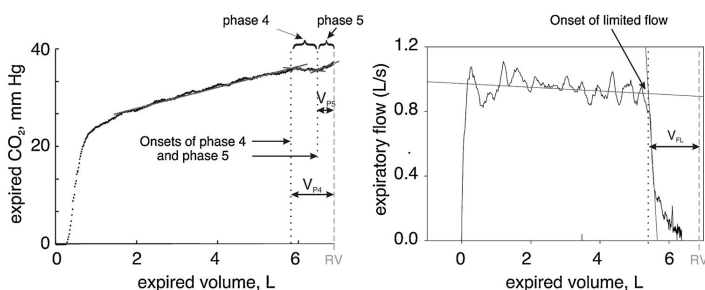


上気道閉塞の初期の段階では、下段トレースの Pes で示す呼吸努力にも拘らず、気流制限が起こる事が特徴的



正弦波の解析により、気流制限による波形の変化を正常な呼吸状態(完全な正弦波)表に数値化し、パターン化する。

項目 2 : 鼻カニューレによるカプノグラフによる炭酸ガスのデータ



カプノグラフによる波形を Dueck ら (2018, Resp Phys Neurobiol) の方法を応用して吸気と呼気の気流制限と同調させ、上気道閉塞の重症度を判定させる。

項目 3 : 額、側頭部、オトガイ、鎖骨上窩、胸部、腹部の動きを筋電図付き 3 軸加速度センサーを用いて相対位置情報を取得する。

項目 4 (経皮的動脈血酸素飽和度) 項目 5 (麻酔深度) は、既存のモニター用いて入力。
項目 6 (教師データ) : 鎮静中での麻酔科医の上気道閉塞の判断や処置のデータは、麻酔科医が鎮静中にタブレット端末を用いて、上気道閉塞のレベル (軽度、中道度、重度) 麻酔深度レベル (conscious, moderate, deep) 気道確保 (閉口、下顎挙上、下顎前方移動、sniffing position) 最終対応 (麻酔薬の減量、一時中止) 追加処置 (吸引、局所麻酔など) の各項目を特別に作成したソフトを用いてベッドサイドで入力する。

4 . 研究成果

鎮静中の上気閉塞を反映する指標の中で、吸気時の特徴的な呼吸波形が上気道開通性のモニタリング方法として応用可能であることが明らかになってきた。また、麻酔科医が聴取しているいびき音などの呼吸音の変化も重要な指標になることが分かってきた。

鎮静中に起こる、極めて初期の上気道閉塞は判別しにくい場合が多く、定量的な評価としては難しいとされてきた。現時点で、最も臨床で多く用いられている呼吸モニタリング機器としては経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO₂) や終末呼気二酸化炭素濃度の測定があるが、本研究で得られた、様々な場気道閉塞の指標は、これらのモニタリング値よりも早く上気道閉塞を検出できる可能性が示唆されている。経皮的酸素飽和度 (SpO₂) はあくまでも酸素化のモニターであって換気モニターではなく、また鼻カニューレを用いた終末呼気二酸化炭素濃度の測定も有効であるが気管内挿管時の測定値に比べて定量性に欠ける問題点がある。持続的な低換気による酸素飽和度の緩徐な減少を評価するに過ぎなく、一呼吸毎の吸気と呼気の部分閉塞を連続して評価は出来ないことが問題点であり、酸素飽和度が 90 % 以下に低下し始めてからは、低酸素血症が一気に悪化するため、特に麻酔科医が全身管理に関与していない症例では、医療者の気道確保の対応が遅れるなど、患者が非常に危険な状態になる可能性がある。これらの既存モニターの限界を考慮した場合、本研究で得られつつある麻酔医の暗黙知を定量化するための解析は、早期に上気道閉塞の兆候を検知できる方法を開発し、AI (人工知能) にて麻酔科医の重症度の判断と気道確保の処置を教師データとして深層学習させることで新しい AI 呼吸モニターを具備した麻酔管理ロボットを開発し医療者を後方支援することが可能なる基礎研究になると考える。AI による解析でさらに精度の高い呼吸モニタリング機器の開発の基礎データとなることが期待される。現在、取得した実験データを元に、鎮静中に起こる上気道閉塞を検出出来る、新しいモニターを開発するための、基本特許の申請を検討中であるため、本報告書での詳細な結果の公表は一定期間差し控えたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 喜安 千弥 (Kiyasu Chiyo) (20234388) | 長崎大学・工学研究科・教授 (17301) | |
| 研究分担者 | 倉田 眞治 (Kurata Shinji) (20325666) | 長崎大学・病院（歯学系）・助教 (17301) | |
| 研究分担者 | 讃岐 拓郎 (Sanuki Takuro) (40533881) | 神奈川歯科大学・大学院歯学研究科・教授 (32703) | |
| 研究分担者 | 小林 透 (Kobayashi Toru) (90637399) | 長崎大学・工学研究科・教授 (17301) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |