2版

様　式　C－19、F－19－1、Z－19　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　６ 年　６ 月 １９ 日現在

機関番号：２２７０１
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2018～2023
課題番号：１８Ｋ０８８９６

研究課題名（和文）人工知能を用いた鎮静及び鎮痛スケールの予測モデルの構築

研究課題名（英文）Predictive models for sedation and analgesia scales using artificial intelligence.

研究代表者

横瀬　真志（YOKOSE, Masashi）

横浜市立大学・附属病院・講師

研究者番号：７０６１４４０２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,400,000円

研究成果の概要（和文）：病室の天井に設置したカメラで得られた患者の表情画像をデータベース化し、同時刻の鎮静・鎮痛状態を評価する各種スケールと紐づけた表情特徴量を機械学習することで、患者の鎮静状態を常時推定できるモデルの作成を目的とした研究を行った。AVPUスコア［Alert（意識清明）Verbal（声かけに反応）Pain（疼痛刺激に反応） Unresponsive（反応なし）］のうち、AとVPUの2群を判別するモデルの作成を目標とした。開閉眼の割合を元としたAとVPUの２群を判別するモデルの医療従事者による判別との一致率は約50－80%であった。今後はモデルの実臨床への利活用に向けた取り組みを継続する。

研究成果の学術的意義や社会的意義
高い精度を持つ開閉眼予測モデルの作成が達成された。また、意識レベル評価スケールであるAVPUにおけるAとVPUとを識別するモデルについても比較的高い精度を持ったモデルの作成が達成された。当初はRichmond Agitation-Sedation Scale等のより一般的なスケール評価が目標であったが、体動の検出などより高度なモデルの作成が必要であった。今後は、体動の検知モデルの開発やバイタルサインのトレンドを評価に加える等、モデル精度を発展的に高めることが目標となる。開閉眼評価は一般的な鎮静・意識スケールに含まれる項目であり、本研究はこれらの評価モデル開発の足掛かりとしての意義があった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to create a model for the continuous calculation of the sedation scale based on facial images of patients' expressions acquired by a camera installed in the ceiling of a hospital room. The goal was to develop a model to discriminate between the two groups of A and VPU in the AVPU score [Alert (clear consciousness) Verbal (responsive to voice prompts) Pain (responsive to pain stimuli) Unresponsive (no response)]. The agreement of the model to discriminate the two groups, A and VPU, based on the percentage of eyes open and closed, with the discrimination by health care providers was approximately 50-80%. Based on these results, future projects will be directed toward implementation of the model in real-world clinical practice.

研究分野：遠隔集中治療

キーワード：人工知能　　表情認識　遠隔集中治療　　鎮静スケール

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１（共通）

１．研究開始当初の背景

通信情報技術の応用は集中治療分野における医療需給バランスの是正に役立つ可能性を持っている。我々はネットワーク連携により医療情報を集約化した遠隔集中治療室の構築を介して医療従事者の負担軽減や医療の質の向上を目標とした取り組みを行っている。その中の一つの機能としての役割が期待されているのが本研究の目指す鎮静および鎮痛スケールの予測モデル評価を行うための機械学習モデルの開発である。

集中治療室で治療を受ける患者の多くは、快適性・安全性の確保や酸素消費量・基礎代謝量の減少などを目的として鎮静薬・鎮痛薬の投与が行われている。近年, 必要以上に深い鎮静管理が患者の予後に悪影響を与えることが明らかとなり、浅い鎮静管理が推奨されている。しかし、不適切に浅い鎮静管理が行われると患者の苦痛は増し、合併症（せん妄の発症や不穏状態の出現）が増加する。そのため、繰り返し鎮静評価を行い適切な鎮静を維持する事が重要とされ、鎮静の評価を適切に行うことで鎮静薬の使用量減量、集中治療室入室期間の短縮、人工呼吸期間の短縮につながると報告されている。集中治療室においては鎮静評価を繰り返し、それをもとに適切な鎮痛・鎮静薬の投与量調整を行うことは重要な患者管理項目であり、その中でも顔表情は疼痛の程度や鎮静状態を表す重要なバイタルサインであると言える。しかしながら、マンパワー不足のため鎮静評価を頻回に行う事は困難であるという現状がある。同様に、遠隔集中医療でも客観的な鎮静鎮痛のリアルタイム評価方法は克服すべき課題である。この問題を解決する方法として情報通信技術を用いて業務の一部を自動化していくことが挙げられる。

２．研究の目的

本研究の目的は集中治療室入室患者の鎮静スコアをカメラから取得できる顔表情データやバイタルサイン等のデジタルデータから予測する機械学習モデル（人工知能予測モデル）を構築することである。

３．研究の方法

モデル構築方法およびモデルの性能評価の方法の基本的な方針

鎮静スコアを評価するモデルの作成が最終目的ではあるが、前例のないモデル作成に取り組むことから以下の手順を経て鎮静スコア評価モデルの作成を行った。それぞれの段階においてそこまでで得られた画像データを用いてモデルの作成と正答率の評価を行っている。

(1) 開閉眼を予測するモデルの作成

対象者から得られた動画をフレーム毎に jpeg（静止画）に変換した。それらの画像からランダムに画像を抽出したうえで、アノテーションが不可能である画像（例　眼が映っていない）を除外した。それらの画像に対して開眼及び閉眼に関してのアノテーション作業を実施した。

①ICU 特有の酸素マスクや点滴カテーテルなどの人工物が対象者の顔付近にある状況下における顔、および眼の認識正答率を以下の機械学習[1 Haar cascade、2 Multi-task Cascaded Convolutional Neural Networks(MTCNN)（オープンソース)、3 Single Shot MultiBox Detector（SSD)（当該集中治療室で取得したデータを用いて事前訓練されたモデル）]を用いて比較を行った。検討方法は 1) 各モデルに同じテスト画像を適用し、対象者の顔と目を認識させ、各モデルが顔、および眼を認識できるかどうかを調べた。正解は正確な領域を認識、誤は間違った部位を認識、失敗はどの領域も認識できなかった、と定義した。

②開閉眼判断モデルの改良

眼の検出性能向上にあたり、より小さな物体検出に適した Faster R-CNN（Region Based Convolutional Neural Network）を採用した。ランダムに用意した過去の患者画像を用い、開眼・閉眼を区別するアノテーションを実施した。次に機械学習モデルを作成するためにアノテーションデータを train・validation・test の 3 つに分割した。分割したデータセット間で開眼・閉眼のアノテーション枚数に偏りが出ないように調整した。validation データはモデルの過学習を防ぐために使用した。これらのアノテーションデータを Google 社が公開する Object Detection API を用いて開眼と閉眼を物体検出するモデルを学習させた。

(2) 鎮静スコア評価モデルの作成

集中治療室入室中に鎮静スコアである AVPU スコア（[Alert（意識清明） Verbal（声かけに反応） Pain（疼痛刺激に反応） Unresponsive（反応なし)]）を担当看護師が繰り返し評価し，その値を記録する。また AVPU スコアの評価と同時刻の顔表情画像データを記録する。顔表情画像は病床の天井に設置された医療用カメラによって常時撮影されている物を使用した。

Faster R-CNN ベースのモデルを初期モデルとして、医療従事者による[A]と[VPU]の評価との一致度を評価した。医療従事者による評価が行われた時点の前後 10 分間の画像を抽出して、開眼・閉眼の判定を行い、開眼の割合が 10 分間に画像のうち 5%以上の場合、A と評価した。また、開眼の割合の閾値を 50%以上に変化させた場合の評価も同時に行なった。

４．研究成果

(1)開閉眼予測モデル
① SSDのトレーニング用のデータとして87人の患者から無作為に抽出した900枚を準備した。テストデータとして 23人の患者から抽出した25枚の画像を準備した。SSDは、Haar cascade、MTCNNと比較して、顔および眼の検出の正答率が高かった（表1)。

表1　各モデルにおける顔の正答率

	正解	誤答	失敗	正答率(%)
Haar Cascade	4	4	17	16
MTCNN	10	1	14	40
SSD	21	0	4	84

しかしながら、眼の認識はSSDでも50%程度であったことから、更なるモデルの改善が必要であることが明らかとなった（表2)。

表2　各モデルにおける眼の正答率

	正解	誤答	失敗	正答率(%)
Haar Cascade	1	19	5	4
MTCNN	9	2	14	36
SSD	12	0	13	48

またHaar CascadeやMTCNNといったオープンソースのモデルでは、実臨床使用に耐えうるモデルの作成は難しいことが明らかとなった。

② 眼の検出性能向上に向けた取り組み

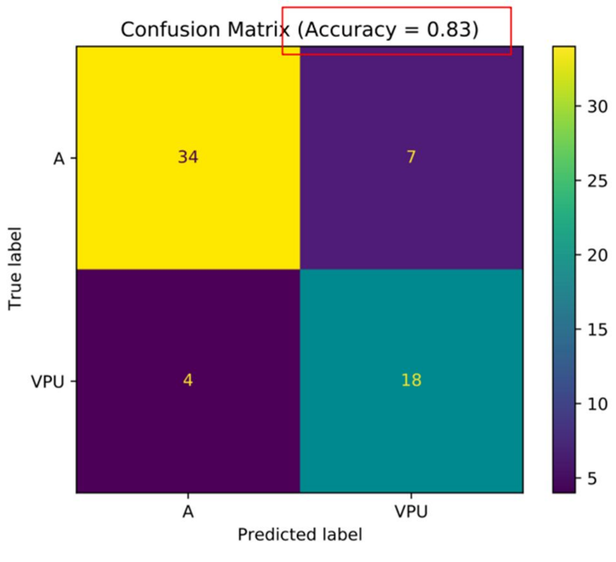
153名の対象者から得られた画像を用いて、1枚の静止画像から患者の開閉眼を予測した。対象者あたりおおよそ60枚、総計8762枚の画像に対してアノテーション作業を実施した。データセットは train　85名（4774枚)、validation　37名（2165枚)、test　31名（1787枚）に分割した。

SSDモデルと比較して物体検出性能の指標であるmAP（mean Average Precision; 0.0〜1.0で評価され、1.0に近いほど検出性能が高い）が上昇した（Faster R-CNN: 0.90 vs. SSD: 0.69)。

(2) 鎮静スコア評価モデル

患者 16 名に対する計 63 回の医療従事者による AVPU スコア評価と機械学習モデルの正解率は、閾値を5%以上とした場合83%であった（図1)。閾値を50%以上とした場合は51%の正解率であった。

図1　A（意識清明）とVPU（意識障害あり）とを識別するモデルのConfusion Matrix（閾値5%以上とした場合）



(3) 実装に向けたモデルの改善の取り組み

①モデルの変更

初期モデルは、物体検出の推論を行う際に(a)矩形内部の物体と背景の識別後に、(b)矩形内部の物体が指定の物体であるか識別する二段階の処理が行われる Faster R-CNN を採用した結果、計算処理に大きな負荷がかかるため、実臨床への実装にあたっての障害となる可能性が考えられた。一方で、(a)を省略する SSD 等の従来のモデルアーキテクチャを用いる場合、計算処理負荷が落ちるメリットがある一方で検出精度が下がるという課題があった。実装に向けた初期モデルの改良の取り組みを行った。まず、2021 年 8 月に公開された YOLOX（Ge, Zheng, et al., 2021：別のタスクで学習したモデルの重みを転移する機械学習の手法）をベースモデルとして採用した。当該モデルは、前述の(a)の処理を省略しつつ、速度と精度を両立できるモデルであり、本研究の目的に最適と考えられた。従来モデルでは画像中から開閉眼を直接検出していたものを開閉眼検出前に顔検出処理を挟むモデルへと変更した。つまり、検出された顔の中から開閉眼検出を行うこととなり、解像度が上がることで眼の検出が容易になることが予想された。その結果、眼の検出精度は 90%程度から 92%程度へと向上した（表 3）。

表 3　モデルごとの物体検出性能

	SSD モデル	YOLOX モデル
開眼 Average Precision	0.93	0.89
閉眼 Average Precision	0.85	0.95
mean Average Precision	0.89	0.92

また、1 サンプルあたりの解析平均計測時間は Faster R-CNN 使用時は 1 枚あたり 340 ミリ秒要していたが、YOLOX 使用時は 1 枚あたり 5.48 ミリ秒と大幅に処理負荷を削減することが出来た。

②実装に向けてのモデルの更なる軽量化

前項のモデルの推論時間（5.48 ミリ秒）と精度（mAP 92%）はハイスペックなマシーンを用いたうえでの結果であった。しかしながら、実装現場ではハイスペックなマシーンを導入することが困難な場合も多い。比較的安価で運用が容易な小型デバイス（Jetson Xavier NX）での運用が可能なモデル（Object Detection API の ssd mobilenet）での検証では 1 サンプルあたりの推論時間が 65 ミリ秒・精度 76%（mAP）であり実運用上に難がある結果であった。実装に向けてこれらの課題を改善するために、機器の更新（Jetson Orin）を行ったうえで、更なるモデルの軽量化を行った。推論時間は 16.9 ミリ秒と短縮し、精度は約 90%（mAP）と実用可能なレベルを維持できた。

(4)社会実装への取り組み

集中治療室に上記した開閉眼検知モデルを搭載した機器を設置した。遠隔 ICU 用の患者監視アプリケーション用のサーバーと連携することで、患者監視アプリ上で集中治療室へ入室中の患者における開閉眼の状態を確認できるシステムの構築を行った。

(5)今後の展望

本研究では開閉眼予測モデルは比較的高い精度を持つモデルの作成を達成することが出来た。また、意識レベル評価スケールの一つである AVPU における A と VPU とを識別するモデルについても比較的高い精度を持ったモデルの作成を行うことが出来た。当初の目的では RASS（Richmond Agitation- Sedation Scale：鎮静薬使用中の患者の鎮静状態の評価を目的としたスケール）や GCS（Glasgow Coma Scale：意識障害の評価指標で、E（開眼機能)、V（言語機能)、M（運動機能）の 3 要素で評価を行う）といった ICU でより一般的に用いられている鎮静スケールを評価可能なモデルの作成を目標としていたが、これらの評価には体動の検出や医療従事者側からの刺激に対する反応を含めた評価が必要となるため、より高度なモデルの作成が必要となる。今後は、体動の検知を行うモデルの開発や、バイタルサインのトレンドを評価に加えたモデルの作成等を介して、鎮静スケール評価の精度を発展的に高めていくことが目標となる。

本研究で評価が可能となった開閉眼は RASS 及び GCS においても鎮静・意識レベル評価に含まれる項目であり、また患者さんのバイタルサイン（生命兆候）を点数化し状態変化を知らせるツールである早期警戒スコアにおいても、意識清明（AVPU スコアでの A）かそうでないか（AVPU スコアでの VPU）という評価が含まれていることから、これらの評価モデル開発の足掛かりとしての意義は大きなものであったと考えている。更には社会実装を行った後にその効果によってどのようなアウトカム改善が見られたのかを評価する事も重要な課題となる。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計0件

〔学会発表〕　計6件（うち招待講演　0件／うち国際学会　2件）

１．発表者名 高木俊介，横瀬真志，田端 篤，中西 彰
２．発表標題 患者画像解析を用いたAIモデル構築と現場実装における課題
３．学会等名 第51回日本集中治療医学会学術集会
４．発表年 2024年

１．発表者名 青山祥太朗，南部雄磨，田端篤，辻杏歩，高木俊介
２．発表標題 目の状態に基づく意識状態モニタリングの現状と課題
３．学会等名 第33回日本臨床モニター学会総会
４．発表年 2022年

１．発表者名 南部雄磨，田端篤，青山祥太朗，辻杏歩，飯田裕太，長田光平，山本浩平，高木俊介
２．発表標題 モニタリングカメラの映像解析による患者重症度推定の可能性
３．学会等名 第26回日本遠隔医療学会学術大会
４．発表年 2022年

１．発表者名 田端 篤，高木 俊介，南部 雄磨，東島 紋子，辻 杏歩，青山 祥太朗
２．発表標題 画像解析による意識レベルモニタリングの挑戦と限界
３．学会等名 第25回日本遠隔医療学会学術大会
４．発表年 2021年

1．発表者名 Akane Sato, Shunsuke Takaki, Masashi Yokose, Takahisa Goto
2．発表標題 Comparison between open source and trained neural network model in face detection for critical ill patients.
3．学会等名 Euroanaesthesia 2020（国際学会）
4．発表年 2020年

1．発表者名 Akane Sato, Shunsuke Takaki, Masashi Yokose, Takahisa Goto
2．発表標題 Automatic assessment model with facial recognition and machine learning of patient's image in ICU patients.
3．学会等名 Euroanaesthesia 2019（国際学会）
4．発表年 2019年

〔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	高木　俊介 (Shunsuke Takaki) (90644823)	横浜市立大学・附属病院・准教授 (22701)	

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