

在宅輸血患者の体位や行動を AI で検知 患者の QOL を保ちながら 輸血治療の安全性向上を図る

和歌山県立医科大学附属病院は、在宅輸血中の起き上がりや肘の曲げなどの好ましくない行動をインテルの OpenVINO™ ツールキットと 2D 人物姿勢推定モデルを用いて判定し、遠隔の医師に通知するシステムの研究を進めています。在宅輸血治療の安全性向上に寄与すると期待されています。



和歌山県立医科大学附属病院
WAKAYAMA MEDICAL UNIVERSITY HOSPITAL

病 院 名：和歌山県立医科大学附属病院

住 所：〒641-8509

和歌山県和歌山市紀三井寺 811-1

事業内容：公立大学法人 和歌山県立医科大学に附属。

和歌山県災害拠点病院

和歌山県唯一の特定機能病院

<https://www.wakayama-med.ac.jp/hospital/>



和歌山県立医科大学附属病院
医療情報部長
輸血部次長(准教授)
西川 彰則 氏



株式会社サイバーリンクス
公共クラウド事業部
課長補佐
楠本 嘉幹 氏

血液の病気を抱える患者に行われる「在宅輸血」 輸血中および輸血後の「有害事象」への対応が課題に

骨髄異形成症候群、再生不良性貧血、白血病、多発性骨髄腫、悪性リンパ腫などの血液疾患で苦しむ患者の負担を少しでもやわらげようと、不足した赤血球や血小板を補う輸血を患者宅で行う「在宅輸血」が一部の医療機関で始まっています。輸血は病院内で行うことが望ましいものの、入院あるいは一定の頻度で通院することが難しい患者もいるため、在宅輸血により患者の QOL(Quality of Life)の改善を図ることが目的です。

ただし、輸血療法においては、発熱、痒みなどのアレルギー反応から、血圧低下、呼吸困難などの重篤な有害事象(副反応)が起こる可能性がわずかながら存在するため、輸血中および輸血後に、医師か看護師、または患者付添人(一般的に家族)の付き添いが定められています[*1]。このうち患者付添人が付き添っている際に有害事象が認められた場合は、付添人は医師に速やかに連絡し対処を求めなければなりません。

このような有害事象の発見と対応をよりスムーズに行うことを目的に、IT を利用した取り組みが和歌山県立医科大学附属病院の西川彰則医師(輸血部 准教授)らによって始まっています。

「医師は他の患者さんへの往診もあり、輸血が終わるまで付き添うのは現実的に難しく、輸血開始後は患者付添人、もしくは訪問看護師にお任せする運用が一般的です。ただし付添人の方は家事などで目を離す可能性もあるため、テクノロジーを活用して患者さんの状況をモニタリングし、安全性の向上に役立てようと考えました」(西川氏)。

第1弾として取り組んだのがバイタル・モニタリングでした。胸に心電計、人差し指にパルス・オキシメーターを装着し、Bluetooth 経由でそれぞれのデータをベッドサイドのスマートフォンに集め、スマートフォンから 4G(LTE)を介して病院側(医師側)に送り、モニターするシステムです。

「同意を得た複数の患者さんでテストを行ったところ、寝返りなどの体動で心電計にノイズが入ったり、指先が冷えてパルス・オキシメーターで正しくデータが取れなかったりなどの課題があることが分かりました。そこで、映像に AI を組み合わせると患者さんの危険な動きを検知できないかと考えました」と、西川氏は今回の研究の経緯を説明します。

映像認識によって輸血中の危険行動を検知 姿勢推定モデルが使える インテルの OpenVINO™ ツールキットを採用

西川氏は、ディープラーニングによる映像認識によって、輸血中の次のような行動の検知を目指すことにしました。

- ・転倒や誤抜につながる可能性のある、輸血中の起き上がりや立ち上がり
- ・滴下不良や閉塞につながる可能性のある、上肢（針を刺入れている右腕または左腕）の屈曲

「高齢で認知機能が低下している患者さんもいますので、輸血中は起き上がらないでください、腕を曲げないでください、といった注意が守られないことも多いのが実状です。前述のバイタル・モニタリングだけでは判別できないこうした危険行動の検知によって、輸血中の安全性をより高めたいと考えました」（西川氏）。

同氏が、在宅輸血中の危険行動の検出に採用したのが、インテルの OpenVINO™ ツールキットでした。「医療情報学会でインテルの方にお会いした際に、OpenVINO™ ツールキットを用いた姿勢検知などのデモを見せてもらいました。さまざまな学習済みモデルがサンプルとして用意されているなど、ディープラーニングに精通していなくても簡単に使えそうと感じたのがきっかけでした」と西川氏は説明します。

標準的なモデルが提供される OpenVINO™ ツールキット 体位の判定に 2D の人物姿勢推定モデルを採用

OpenVINO™ ツールキット（コラム参照）は他のディープラーニング・フレームワークによって開発された推論モデルをインテル® プロセッサなどのハードウェア・プラットフォームで実行できるように最適化を行うツールですが、デモや評価を目的に標準的な学習済みモデル(pre-trained model)も合わせて提供されていて、これら

のモデルを使う場合はフレームワークを必要としません。すなわち、OpenVINO™ ツールキット単独でディープラーニング・アプリケーションを構築することも可能です。

具体的には、人や車両などを対象にした物体検出モデルのほか、物体認識モデル、人物追跡モデル、セマンティック・セグメンテーション(分類)モデル、インスタンス・セグメンテーション・モデル、人物姿勢推定モデル、画像処理モデル、文字検出モデル、手書きや数式を含む文字認識モデル、動作認識モデルなどが提供されます。

これらのモデルのうち西川氏が着目したのが、人物の画像から、両耳、両目、鼻、首、両肩、両肘、両手首、骨盤左右、両膝、両足首の計 18 個のキーポイントを検出する 2D 人物姿勢推定モデル（モデル名「human-pose-estimation-0001」）でした。

ちなみに human-pose-estimation-0001 は、人物の関節を推定するカーネギーメロン大学の OpenPose 技術を用いて開発されています。また、計算量を大幅に削減する MobileNet v1(畳み込みの一手法)ベースで実装されているため、通常の PC でも実用的な速度で姿勢推定が可能です。

体位の判定は独自アルゴリズムを Python で実装 起き上がりや上肢の曲げを検知して医師に通知

在宅輸血患者の異常行動検知システムの概要を図 1 に示します。同意を得た患者宅のベッド脇にスマートフォンを設置し、撮影した映像を Zoom を介して和歌山県立医科大学附属病院の PC で受け、OpenVINO™ ツールキットの人物姿勢推定モデルおよび後述のアルゴリズムを使って危険行動を検知し、医師にメールで通知します。メールを受け取った医師は、手持ちのスマートフォンの Zoom アプリから患者の映像を確認し、患者付添人と連絡を取りつつ、再度往診を含めて必要な対処を行います。

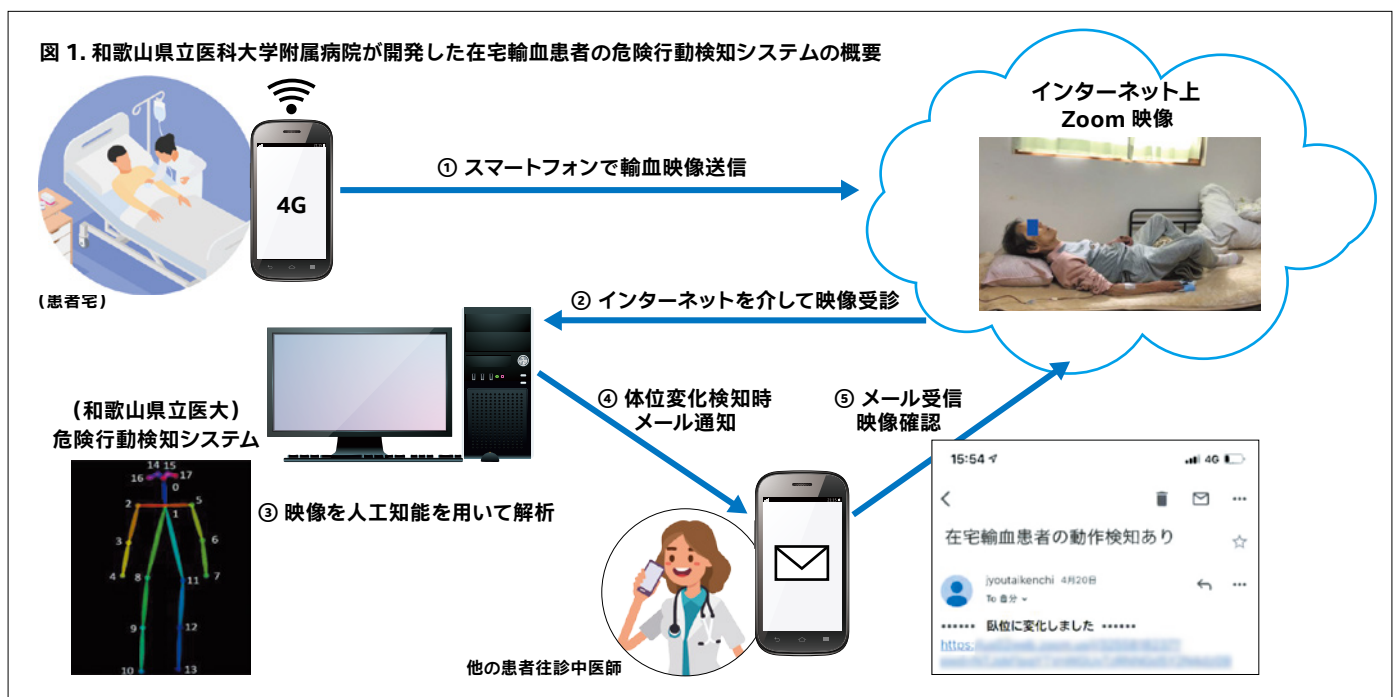
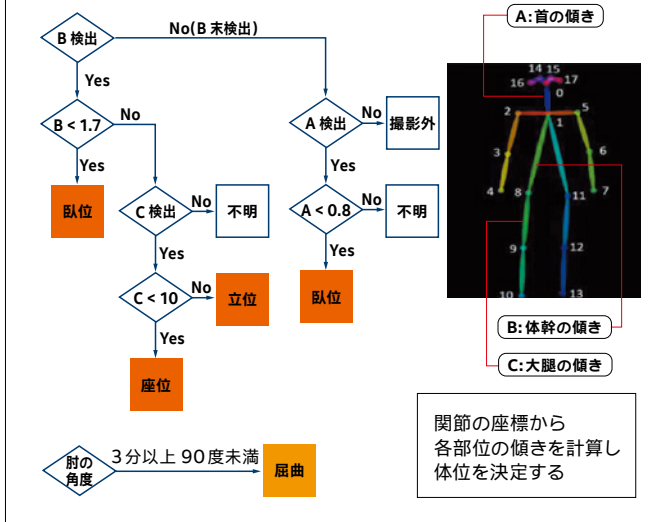


図 2. OpenVINO™ ツールキットの 2D 人物姿勢推定モデルの出力(右)から体位を求めるアルゴリズムの概略フロー



在宅輸血患者の異常行動を検知するには、その前段階として、臥位（がい：横になっている状態）、座位（せいい：起き上がっている状態）、立位（りつゐ：立ち上がっている状態）など、体位の状態を識別する必要があります。

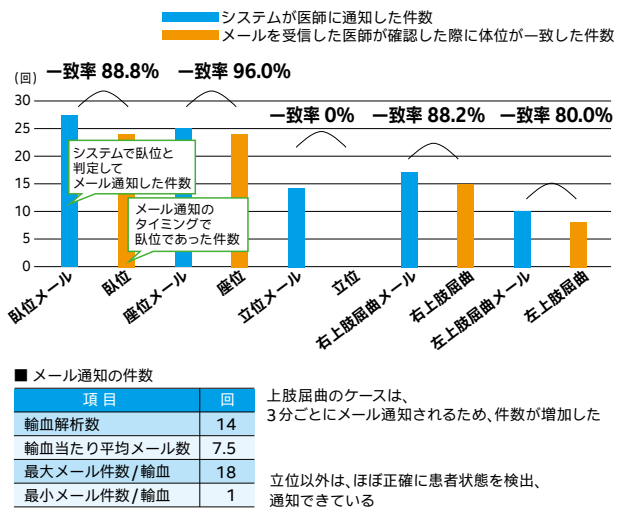
「ベッド脇に設置したカメラで撮影した映像を Zoom 経由で OpenVINO™ ツールキットの人物姿勢推定モデルに与え、モデルが出力するそれぞれのキーポイントの座標から、頭部（首）の傾き、上半身（体幹）の傾き、および大腿の傾きを求め、それらの組み合わせによって体位を判定することにしました」（西川氏）。

アルゴリズムの概要を図 2 に示します。布団をかぶって首の角度だけしか分からない場合は、首の角度がある値以下の場合は「臥位」と判定し、首と体幹が立っていて大腿の角度が水平に近い場合は「座位」と判定する、といったフローが組まれています。ただし、姿勢推定モデルはノイズ（誤推定）を出力することがあるため、500 回（およそ 60 秒に相当）の判定結果から多数決を取って体位を決定しています。

体位が変化したとき（例えば臥位→座位）、または上肢の屈曲が 3 分以上続いたとき、図 1 の右下のようにメールで医師に通知します。

OpenVINO™ ツールキットの構築や Python によるアルゴリズムの実装は、株式会社サイバーリンクス（本社・和歌山県和歌山市）が担当しました。同社の楠本嘉幹氏は、「和歌山県立医科大学附属病院で異常行動検知システムには一般的なスペックの第 10 世代 Intel® Core™ プロセッサ・ファミリー搭載 Intel® NUC ミニ PC（HDD 1TB）を採用していますが、体位の判定を含め十分な性能が得られています。また、OpenVINO™ ツールキットについては、インストールや人物姿勢推定モデルの活用を含めとくに問題はありませんでした」と述べ、さらに「高価な GPU のサーバーでなく、身近にある CPU の PC で AI プログラミングができることに新しい可能性を感じました」とも述べています。

図 3. 14 回の在宅輸血を対象に行った危険行動検知システムの運用結果



14 回の在宅輸血で試験運用を実施 体位の判定では 90% 前後の一致を確認

試作したシステムの試験運用は、在宅輸血に積極的に取り組んでいる赤坂クリニック（神戸市灘区）の協力のもと行われました。14 回の在宅輸血における結果を図 3 に示します。青いグラフはシステムが体位の変化を判定してメールを医師に送った回数、オレンジのグラフはそのメールを受けて医師が映像を確認したときに、患者が判定どおりの体位をとっていた回数です。

臥位および座位については判定と実際の体位との一致率が 90% 前後と高く、ほぼ問題ない精度で判定できていることが確認されました。一方、立位については通知後に映像を確認しても立ち上がり姿勢は認められませんでした。その理由について西川氏は、「据え付けたカメラの正面近くに患者が座ったときに、大腿部の角度がほぼ垂直に見えてしまうため、現状の人物姿勢推定モデルおよび判定アルゴリズムの組み合わせでは立ち上がってなくても立位と判定されるためと考えられます」と説明します。

図 3 の右欄に示すように、14 回の在宅輸血における平均メール数は 7.5 通でした。この程度のメール頻度であれば、他の患者の往診をしている医師でも十分に対応可能と西川氏は考えています。なお最大は 18 通と多めでしたが、上肢の屈曲が 3 分以上検出された場合は 3 分おきに医師に通知される運用になっていて、このときは屈曲の時間が長く件数が増加したためです。

上述のように若干の誤判定が認められていますが、「在宅輸血では患者付添人がいることが基本であり、本システムやバイタル・モニタリングはあくまでサポートとして位置付けられます。1 分 1 秒を争うような判定スピードが求められることもありませんので、基本的な機能や性能は今回の実証で確認できたと考えています」と西川氏は総括します。

以上の研究は、日本輸血・細胞治療学会臨床研究推進事業の支援を受けて実施され、その結果は 2021 年 6 月 6 日に開催された第 69 回日本輸血・細胞治療学会学術総会で発表されました。

西川氏は今後、転倒につながる可能性の高い急激な体位変化（起き上がりや立ち上がり）の検知などにも取り組んでいく考えです。また、現在は和歌山県立医科大学附属病院内の PC で危険行動の判定処理を行っています。OpenVINO™ ツールキットや判定アルゴリズムのほかバイタル・モニタリング機能も実装した小型 PC を患者宅に据え付けるいわゆるエッジ・コンピューティング的な運用についても検討を予定しています。

在宅輸血に関しては安全性や運用を含めたさまざまな議論が行われており、医療側の負担も高いため、まだ一般的とはなっていません。一方で高齢化が進んでいる日本では、訪問診療を受けながら自宅で過ごしたいというニーズが高まっていくと予想されます。今回紹介したシステムが患者のケアの一助となり、また、患者付添人の負担軽減と患者の安全性の向上につながれば、より多くの医療機関が在宅輸血に踏み切るきっかけになるかもしれません。西川氏の今後の研究が注目されます。

ディープラーニング・アプリケーションの開発を効率化する OpenVINO™ ツールキット

OpenVINO™ ツールキットは、TensorFlow Keras などのフレームワークで開発した推論モデルを、インテル® プロセッサーなどのハードウェア・プラットフォームに最適化を図ったのち、IR と呼ぶ中間表現フォーマットに変換するツールです。中間表現フォーマットは各ハードウェア・プラットフォーム用に提供される「インファレンス・エンジン(推論エンジン)」上で高速に実行されます。

ターゲットのハードウェアとしては、インテル® Xeon® プロセッサー、インテル® Core™ プロセッサー・ファミリー、インテル®

Movidius™ Myriad™ X ビジョン・プロセッシング・ユニット (VPU)、インテル® プロセッサー・グラフィックス (GPU) などがサポートされています。

OpenVINO™ ツールキットはインターネット上で無償で提供されています[*2]。サインアップののちダウンロードしてご活用ください。



*1: 一般社団法人日本輸血・細胞治療学会「在宅赤血球輸血ガイド」、2017年10月

*2: <https://docs.openvino toolkit.org/latest/index.html>



この文書は情報提供のみを目的としています。この文書は現状のまま提供され、いかなる保証もいたしません。ここにいう保証には、商品適格性、他者の権利の非侵害性、特定目的への適合性、また、あらゆる提案書、仕様書、見本から生じる保証を含みますが、これらに限定されるものではありません。インテルはこの仕様の情報の使用に関する財産権の侵害を含む、いかなる責任も負いません。また、明示されているか否かにかかわらず、また禁反言によるとよらずにかかわらず、いかなる知的財産権のライセンスも許諾するものではありません。

Intel、インテル、Intel ロゴ、その他のインテルの名称やロゴは、Intel Corporation またはその子会社の商標です。

その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

インテル株式会社

〒100-0005 東京都千代田区丸の内3-1-1

<http://www.intel.co.jp/>

©2021 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。

2021年6月

347447-001JA
JPN/2106/PDF/CB/BCG/YS