

スマートグラスを用いた医療安全向上支援システムにおける 医療行為特定手法の評価

Evaluation of Medical Practice Identification Method in Medical Safety Improvement Support System Using Smart Glasses

外山 怜[†] 吉野 孝[†] 西川 彰則[‡]
Ryo Toyama Takashi Yoshino Akinori Nishikawa

1. はじめに

多忙な医療現場では、インシデント・アクシデント、医療事故などが発生しやすく、多くの医療施設では、その原因を調査、共有することで、インシデント・アクシデント、医療事故を防ぐ取り組み [1] をしている。しかし、医療行為をする際に、注意すべき事項を常に意識できるとは限らない。特に、医師が 1 人、もしくは医師と看護師 2 人といった少人数による医療行為は、即時の判断が必要であり、手順や判断を間違えることは重大な医療ミスにつながる。

死亡事故につながる医療事故として、手術部位を間違えたり、処方する薬を間違えてしまうことなどが考えられるが、検査段階のミスにより死亡事故につながることもある。経験の少ない検査や手技を実施する場合、知識不足、ヒューマンエラーが原因となり、検査時の患者の体勢の取り方や医療機器の使い方など、判断を誤ることで、患者に障害が残ったり、死亡事故につながったりする。事例の 1 つとして、骨髄液を採取して検査するための骨髄穿刺において、本来貫通すべきではない胸骨を貫通、上行大動脈を損傷させてしまうという事故 [2] がある。この事故の原因としては、麻酔針による長さ調整が十分ではなく、骨髄穿刺針が長すぎたためであり、発生要因として、医師の判断ミス、不慣れな部位への穿刺があげられる。このようなヒューマンエラーによる医療事故は、十分な経験がある医療従事者でも、心身の状況変化、疲労などにより不適切な手順で医療行為をしてしまうことで発生する可能性がある。

そこで我々は、検査や手技の実施時に、その医療行為について、医療安全情報に基づいた、注意すべき事項を医療従事者に提示する必要があると考え、検査の手順やガイドなどの注意喚起情報を提示するシステムを提案した [3]。本システムはスマートグラスを用いたシステムであり、拡張現実を利用できることから手技実施中の視界を妨げることを避けることができる。また、軽量のデバイスのため、長時間使用の場合でも装着する医療従事者の負担を軽減させた注意喚起情報の提示を実現できる。本システムでは、医療機器を認識し、認識結果から実施する検査・手技を特定することで、その医療行為についての注意喚起情報をスマートグラスのディスプレイに表示する。その結果、提示された注意喚起情報により、医療従事者のインシデント・アクシデント、医療事故を防止する。本稿では、提案するシステムの概要、医療機器の認識結果を用いた医療行為を特定する手法の評価について述べる。

2. 関連研究

スマートグラスを用いた医療支援の研究として、西尾らの研究がある [4]。この研究では、人工膝関節置換術に着目し、スマートグラスの映像を CNN[†] により画像分析を行い、手術器具と手技を認識する。そして、手術の進行度、使用器具を表示することで、器械出し看護師の支援を行うシステムを提案した。このシステムでは、医療機器の平均認識は 88% になっている。また、田仲は、スマートグラスを用いて、医療機器の組み立て手順とその注意喚起情報を表示するシステム (MARSS) を開発した [5]。これは、不確かな記憶のもと、医療機器の組み立てや操作などの医療行為を実行するリスクを回避することで、医療安全の向上を目的とする研究である。このシステムでは、従来手法より医療機器組み立ての精度が向上した。Heinrich らは針挿入タスクにおけるナビゲーション表示手法間の比較を行った [6]。この比較により、HMD などの AR 表示によるナビゲーションが有用であると示された。そこで本研究では、医療安全の観点から、主に少人数で行われる検査に着目し、医療機器の認識を行い、検査に関する注意喚起を表示する。

Rzayev らはスマートグラスにおける表示が社会的インタラクションにもたらす影響を調査した [7]。この調査で、ディスプレイの中心近くに情報提示をすることで実施中のタスクと並行して表示された情報を確認できることが分かった。また、Chua らはデュアルタスクシナリオ中のスマートグラスにおける表示による影響を調査した [8]。この調査では、長時間使用かつ 1 次タスクが優先的な場合、中心付近の表示が推奨されることが分かった。また、色付きの表示により情報の理解度が上がることも分かった。これにより、医療現場でのスマートグラスを用いた情報提示が手技を妨げず、表示の仕方によっては手技中でも十分に提示された情報を理解できると考えられる。

3. 医療安全向上支援システム

3.1 システム概要

本研究では、スマートグラスを用いた注意喚起情報表示による医療安全の向上を目的とする。注意喚起情報を表示するにあたり、医師の負担を軽減させ、実施中の手技を妨げないこと、また、手動での操作を少なくすることでヒューマンエラーの防止が必要であると考えられる。そこで、本研究では、検査・手技を行う医療従事者がスマートグラスを装着し、搭載されたカメラにより医療機器が自動で撮影される。撮影された医療機器映像で医療機器を認識し、認

[†] 和歌山大学 システム工学部, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

[‡] 和歌山県立医科大学 輸血部, Faculty of Blood Transfusion, Wakayama Medical University

[†] Convolutional Neural Network(畳み込みニューラルネットワーク)

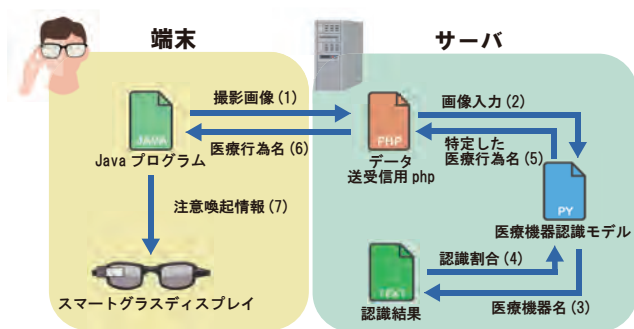


図 1: システム構成図



図 2: 注意喚起情報表示例 (左) とスマートグラス装着イメージ (右)

識結果から医療行為を特定することで、受動的な注意喚起情報の表示を可能としている。

3.2 システム構成

図 1 に、本システムの構成を示す。本システムは、医療機器認識から医療行為を特定、その注意喚起情報を表示するため、カメラを搭載、拡張現実を利用できるデバイスであり、軽量のため医師の負担を軽減できると考えられるスマートグラスを使用し、そのアプリ上で動作する。また、本システムは医療機器の認識をするため、リアルタイム物体検出アルゴリズムである YOLOv3¹⁾を用いた。

以下に本システムの流れを述べる。

(1) スマートグラス内のアプリを起動

医療従事者はスマートグラスを装着し、内部のアプリを起動する。医療従事者はあらかじめ、情報の重要度から 3 段階に分かれる注意喚起情報を何段階まで表示するかを、アラートレベルとして設定する。これは、行う医療行為における各自の経験量から判断する。この設定は手技開始前に設定し、変更は可能である。その後、端末に接続されているカメラが起動する。カメラを起動させたのち、1 秒に約 2 枚の間隔で画像を撮影、1 枚ごとにサーバへ送信する。

(2) 医療機器の認識と医療行為の特定

端末で撮影した画像がサーバに送信され(図 1(1)), 10 枚の画像が保存され次第、医療機器を学習させた物体検出モデルを実行し(図 1(2)), 医療機器を認識する。ここで、サーバに保存し、医療機器の認識をする画像は、撮影した画像にぶれが生じることを考慮して、医療機器認識の結果が十分に得られる画像枚数を撮影することが必要になると考えている。現段階では、暫定的に 10 枚の画像を保存しているが、必要に応じて変更することも考えている。認識した医療機器名がテキストファイルに保存され(図 1(3)), その結果から医療機器の認識割合を算出する(図 1(4)). 認識割合から医療行為を特定し、医療行為名を端末に送信する(図 1(6)).

(3) 注意喚起情報の表示

端末に送信された医療行為名から、アラートレベルに対応した、医療行為の注意喚起情報をスマートグラスのディスプレイに表示する(図 1(7)).

3.3 医療機器検出モデルの作成と利用

物体検出アルゴリズムである YOLOv3 を用いた医療機器の学習と、その学習済みモデルを用いた検出の流れを述べる。

(1) 物体検出モデルの作成

認識対象の医療機器に関して、和歌山県立医科大学医師の協力のもと、4つの医療行為に関して、医療機器を模擬環境下で配置、使用を再現して撮影した動画から、画像を抽出する。学習データを訓練データ、検証データ、テストデータに分割し、医療機器を教師データとして、手作業によりアノテーションを付けたのち、YOLOv3 を用いて、学習データとアノテーションファイルから学習モデルを作成する。

(2) 物体検出モデルの利用

学習モデルに対して、Python プログラムを用いて、スマートグラスからの映像を入力し、画像として医療機器の認識をする。そして、認識された医療機器の名前から、現在の医療行為を特定し、スマートグラスに医療行為名を送信する。

3.4 注意喚起情報の表示

医療行為を特定したのちに、スマートグラスのディスプレイに表示する注意喚起情報の内容と、その提示方法について述べる。

(1) 注意喚起情報の表示

図 2 にスマートグラスの装着イメージと、そのディスプレイに表示される注意喚起情報の例を示す。ディスプレイには、特定した医療行為と、医療行為に関する注意喚起情報、その重要度を示すアラートレベルを表示する。これは、あらかじめ医療従事者が設定する経験の度合いに対応したアラートレベル 1 か

¹⁾YOLOv3: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

表 1: 医療行為特定手法 評価用データの詳細と実行結果

| 医療行為名 | 手技開始までの時間 | 抽出画像 | 実行回数 | 特定成功回数 | 特定失敗回数 |
|-------------|-----------|-------|------|--------|--------|
| 骨髄穿刺 | 43 秒 | 130 枚 | 13 回 | 2 回 | 0 回 |
| 腰椎穿刺 | 42 秒 | 129 枚 | 13 回 | 5 回 | 0 回 |
| 中心静脈カテーテル挿入 | 35 秒 | 108 枚 | 11 回 | 6 回 | 1 回 |
| 血液培養ボトル | 25 秒 | 75 枚 | 8 回 | 0 回 | 4 回 |



図 3: 医療行為場面例

ら 3 の注意喚起情報である。アラートレベルとして、レベル 1 は「経験が低い医療従事者にのみ表示」、レベル 2 は「経験が中程度以下の医療従事者に表示」、レベル 3 は「全員への表示」を想定しており、レベルが高いほど、その医療行為において注意すべき情報となる。また、注意喚起情報の内容は、医療機器の取り扱いや、患者の体勢などを想定している。また、各注意喚起情報は医師に協力のもと作成している。医療行為の特定に関して、重複する医療機器を使用することもあるため、複数の医療機器を認識することにより、特定が可能となる医療行為も存在する。

(2) 注意喚起情報の提示方法

注意喚起情報は医療従事者が設定する経験量により、表示される内容が変わる。経験量が高い場合、アラートレベル 3 の情報を表示、中の場合はアラートレベル 2 と 3 の情報を表示、低い場合はアラートレベル 1 から 3 の情報を表示する。本システムでは、3 段階のアラートレベルにおいて、重要度が高くなるに従い、表示される文字色を黄色、オレンジ、赤に変化させる。また、注意喚起情報の表示とともに、スマートグラスに搭載されたスピーカから音を出す。この音はアラートレベルが高いほどテンポの速い音になり、表示された注意喚起情報の重要度を直感的に把握できる。

3.5 医療行為特定手法

医療機器を学習させたモデルを用いた認識結果から、医療行為を特定する手法について述べる。

(1) 手法に使用するデータ

システム起動後、1 秒に約 2 枚の間隔で撮影される画像が、サーバに 1 枚ごと送信され、サーバに 10 枚の画像が保存される。その画像から医療機器を認識した結果が、医療行為を特定する手法に使用される。医療行為特定手法を実行したのち、保存された画像は削除される。医療行為特定手法による結果がスマートグラスに送信され次第、結果に応じた注意喚起情報の表示とともに、再度画像撮影を行う。短期間の画像撮影と医療行為の特定を繰り返すことで、システム起動から迅速な注意喚起情報の表示と、特定結果の修正を行えると考えている。

(2) 認識割合を用いた医療行為特定

医療機器を学習させたモデルを用いて、サーバに保存された 10 枚の画像から医療機器認識を実行した結果は、サーバ内のテキストファイルに保存する。10 枚の認識が終わり次第、テキストファイルに保存された医療機器名を読み込み、医療機器名ごとの認識割合を算出する。この認識割合が高い医療機器が必要となる医療行為が、実施している医療行為であると考え、医療行為特定手法の結果となる。また、複数の医療機器の使用が必須である医療行為に関しては、必要となる全ての医療機器の認識割合が上位にあることで特定可能となる。テキストファイルに保存される認識結果は、10 枚の画像における医療行為特定手法を行ったのち、削除される。この手法により特定された医療行為名が端末に返され、対応する注意喚起情報を表示する。

4. 評価実験

提案手法における医療機器認識モデルを用いた認識結果から、医療行為を特定する手法の評価について述べる。

4.1 実験概要

医療行為特定手法の評価に用いるデータの詳細と、評価結果を表 1 に示す。提案手法における医療機器認識モデルを用いた認識結果からの医療行為特定手法の評価を行った。正確な医療行為の特定が可能であれば、適切な注意喚起情報の表示が可能となる。そこで、現段階の学習モデルを用いた医療行為特定手法の評価を行うことで、本システムの実用化に向けた考察を行うことが可能であると考えている。特定手法の評価に利用する動画データは医療機器を模擬環境下で配置、使用を再現した映像となっている。また、評価に利用する動画データは図 3 に示す、医療行為場面例の

ような、医療機器をパッケージから取り出す場面から、医療機器を手に取り、手技を開始する場面までに限定している。そのため、表1に示す、手技開始までの時間は動画データの秒数であり、この時間内で可能な限り早く、医療行為を特定することが必要であると考えている。表1に示す、抽出画像の枚数と、その画像を用いた医療行為特定手法の実行回数は動画データの秒数に依存するため、医療行為によって異なる。システム利用時は、手技開始前の医療機器を準備する場面での医療行為特定が必要であると考えられるため、システムと同様に1秒に約2枚の画像を抽出、10枚ごとに医療機器の認識、その結果を用いて医療行為特定手法の検証を行った。

4.2 評価結果と考察

各医療機器に関して、評価用データを用いて医療行為特定手法を検証した結果と考察について述べる。

(1) 骨髄穿刺における結果と考察

表1に示すとおり、骨髄穿刺に関して、医療行為特定手法を実行した回数は13回で、内2回で骨髄穿刺と特定しており、動画データでは、骨髄穿刺の特定につながる骨髄穿刺針が、より早い場面で、目視により確認できたにもかかわらず、認識ができていないことで特定成功回数が少なくなっていると考えられる。最初に特定できたのは、43秒の評価用動画データにおける35秒であり、手技開始間際で特定されていることが分かる。実際のシステム利用を想定すると、より早い場面での特定が必要であると考えられる。より早い場面での骨髄穿刺針の認識ができなかった原因としては、図3のような、パッケージから取り出す場面を医療機器認識モデルに学習をさせていないことと、針部分にカバーをした状態の骨髄穿刺針の学習をさせていなかったことが考えられる。パッケージから取り出す場面をモデルに学習させることで、より早い医療行為特定につながると思っている。

(2) 腰椎穿刺における結果と考察

表1に示すとおり、腰椎穿刺に関して、医療行為特定手法を実行した回数は13回で、内5回で腰椎穿刺と特定しており、残りの8回は動画内で腰椎穿刺針が映っていない場面であり、腰椎穿刺針が映っている場面では腰椎穿刺針が認識され、腰椎穿刺の特定ができていたことが分かった。最初に特定できたのは、42秒の評価用動画データにおける15秒であり、パッケージから取り出してから、すぐに腰椎穿刺の特定が成功しているため、十分に早い段階での特定が可能であると分かった。また、モデルに学習させていない、パッケージから医療機器を取り出す場面での学習をすれば、より早い特定につながると思われる。

(3) 中心静脈カテーテル挿入における結果と考察

中心静脈カテーテル挿入は中心静脈カテーテルとガイドワイヤーの2つの医療機器が10枚の画像の中で認識され、両方の医療機器の認識割合が上位にあることで特定となる医療行為である。表1に示すとおり、中心静脈カテーテル挿入に関して、医療行為特定手法を実行した回数は11回で、内6回で中心静脈

カテーテル挿入と特定しており、残りの5回は動画内で中心静脈カテーテルとガイドワイヤーが映っていない、もしくは片方だけが映っている場面であり、両方の医療機器が同時に映っている場面では、中心静脈カテーテル挿入の特定ができていたことが分かった。一方で、3枚の画像において骨髄穿刺針が誤認識され、1回の特定結果が骨髄穿刺となった。最初に特定できたのは、42秒の評価用動画データにおける15秒であり、パッケージから取り出してから、すぐに中心静脈カテーテルとガイドワイヤーが認識され、中心静脈カテーテル挿入と特定されているため、十分に早い段階での特定が可能であると分かった。中心静脈カテーテル挿入に関しては、10枚の画像で、必要な2つの医療機器が認識されなければ特定につながるが、片方だけが認識されることもあった。そのため、過去に認識した結果を蓄積し、認識数に応じて、以降の認識結果に反映することで柔軟な特定につながると思われる。また、骨髄穿刺が誤って特定されたことに関して、対象の医療機器はまだ画像内に映っていない段階で誤認識されており、対策としては骨髄穿刺の精度を向上や、一度認識された医療機器に対して、その医療機器のみを学習させたモデルを用いて、再度認識をさせた結果を用いることなどを考えている。

(4) 血液培養における結果と考察

血液培養は血液培養ボトルオレンジと青の2つの医療機器が10枚の画像の中で認識され、両方の医療機器の認識割合が上位にあることで特定となる医療行為である。表1に示すとおり、血液培養に関して、医療行為特定手法を実行した回数は8回で、いずれも血液培養と特定されなかった。しかし、7枚の画像において骨髄穿刺針が誤認識され、3回の特定結果が骨髄穿刺となった。また、1枚の画像において腰椎穿刺針が誤認識され、1回の特定結果が腰椎穿刺となった。血液培養ボトルは一度も適切に認識できず、原因としては、学習させたモデルに過学習があったことなどが考えられ、より特徴的な部分のみに絞った学習をさせることを検討している。また、骨髄穿刺と腰椎穿刺が誤って特定されたことに関して、対策としては骨髄穿刺の精度を向上や、一度認識された医療機器に対して、その医療機器のみを学習させたモデルを用いて、再度認識をさせた結果を用いることなどを考えている。

5. おわりに

本研究では、スマートグラスを用いた医療安全向上支援システムの実用化に向けた検討を目的として、医療行為を特定する手法の評価、考察を行った。今後は、モデルに学習させるデータの追加と、医療機器を誤認識した場合でも、蓄積した認識結果などから、柔軟に医療行為を特定するように手法を改善したのち、模擬環境下での使用感を検証、問題点の検討、改善を行っていく。

参考文献

- [1] 一般社団法人日本医療安全調査機（医療事故調査・支援センター）医療事故調査制度について，入手先 https://www.medsafe.or.jp/modules/about/index.php?content_id=2（参照日 2021 年 7 月 12 日）。
- [2] 一般社団法人日本医療安全調査機構 警鐘事例～事例から学ぶ～，入手先 <https://www.pmda.go.jp/safety/info-services/medical-safety-info/0012.html>（参照日 2021 年 4 月 17 日）。
- [3] 外山 怜, 吉野 孝, 西川 彰則：スマートグラスを用いた注意喚起情報表示機能を持つ医療安全向上支援システムの提案, 情報処理学会第 83 回全国大会講演論文集, Vol. 4, 5ZA-04, pp. 159–160 (2021).
- [4] 西尾 祥一, モアゼム ホセイイン, 新居 学, 平中 崇文, 小橋 昌司：畳み込みニューラルネットワークを用いた整形外科手術ナビゲーションシステム, 第 34 回ファジィシステムシンポジウム, pp. 360–365 (2018).
- [5] 田仲 浩平：臨床工学の新たなる視点, 医療 AR（拡張現実）支援システムの開発, 医機学, Vol. 8, No. 1, pp. 54–62 (2018).
- [6] Florian Heinrich, Luisa Schwenderling, Fabian Joeres, Kai Lawonn, and Christian Hansen : Comparison of Augmented Reality Display Techniques to Support Medical Needle Insertion, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 26, No. 12, pp. 3586–3575 (2020).
- [7] Rufat Rzayev, Susanne Korbely, Milena Maul, Alina Scharck, Valentin Schwind, Niels Henze : Effects of Position and Alignment of Notifications on AR Glasses during Social Interaction, Proceedings of the 11th Nordic Conference on Human–Computer Interaction, No. 30, pp. 1–11 (2020).
- [8] Soon Hau Chua, Simon T. Perrault Denys J. C. Matthies, Shengdong Zhao : Positioning Glass : Investigating Display Positions of Monocular Optical See-Through Head-Mounted Display, Proceedings of Forth International Symposium on Chinese CHI, No. 1, pp. 1–6 (2016).