

最適な圧迫深度・姿勢の組み合わせを評価する CPR 訓練システムの開発 A Development of CPR Training System to Evaluate Detecting of Compression Depth and Posture

石黒 銀河†
Ginga ISHIGURO

皆月 昭則†
Akinori MINADUKI

1. はじめに

心停止状態の救命手法として知られている心肺蘇生（以下、Cardiopulmonary Resuscitation, CPR）は、AED（自動体外式除細動器）が、その場がない場合の救命の基本であり、胸骨を圧迫する動作が最重要である。胸骨の圧迫は、深さが約 5cm～6cm（胸が約 5cm 沈むように圧迫するが、6cm を超えないようにする）で、毎分 100～120 回の速度で CPR を行うようにと JRC 蘇生ガイドラインに推奨されているが、これらの推奨閾値は個別的に求められた値である。最新の論文（Optimal Combination of Compression Rate and Depth During Cardiopulmonary Resuscitation for Functionally Favorable Survival, Sue Duval, et al, 2019）によると、心停止者に対する最適な胸骨の圧迫の深さは、4.7cm で毎分 107 回という値があり、心停止者の年齢・性別・心リズム・他介入によって変化しなかったという報告がある。

本研究では、最新論文報告に依拠しながら、最適な圧迫の深さ（曲げセンサと Raspberry Pi）と姿勢を検知する機能および CPR 訓練の圧迫動作・姿勢を振り返る機能（Azure Kinect DK）を用いた CPR 訓練システムを開発した。

2. CPR 訓練システムの姿勢の可視化技術

先行研究の開発では CPR 訓練時の身体の姿勢変化の入力検知センサーデバイスとして 2 種を使用していた。先行研究では姿勢を検知するために、図 1 の写真に示すような Kinect for Windows sensor を使用してきた。先行研究の開発システム（以下、旧システム）では、2012 年に発売された Kinect for Windows v1 と 2014 年に発売された Kinect for Windows v2 のセンサーを使用してきた。



図 1 Kinect v4（手前）と Kinect for Windows v1・v2（後）

KINECT は、家庭用ゲーム機「Xbox 360」の入力センサーデバイスとして開発されて、後に Windows PC に接続する NUI（Natural User Interface）用入力センサーデバイスにもなった。Kinect for Windows センサの SDK が提供されており、先行研究では、CPR 訓練システムの NUI アプリケーション開発してきた。CPR の訓練時の姿勢の動作判定評価は、身体全体の入力検知のユーザーインターフェース化が必要不可欠であり、キーボードやマウスによる入力デバイスによるシステム構成の訓練では要件を満たしていなかつ

たことから、KINECT を使用して CPR 訓練時の腕などを検知する NUI アプリケーションを 2013 年から開発してきた。

図 2 は旧システムによる市民への CPR 訓練の様子である。姿勢を検知する Kinect v1 から v2 の換装では、深度センサの方式、カラー解像度/深度解像度、深度センサの視野角、骨格検出数など仕様変更毎に開発実装の見直しを繰り返しておこなってきたが、圧迫の深さは検知できなかった。

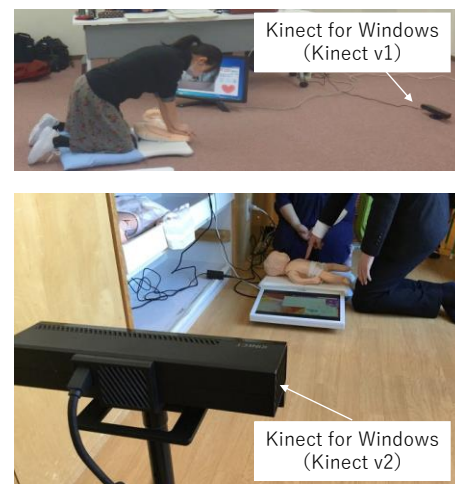


図 2 市民への CPR 訓練システムを用いた訓練の様子
（上段：Kinect v1・下段：Kinect v2）

3. 胸骨圧迫時の深さ推定技術

世界の救命のガイドライン（AHA）に述べられているように、実際の CPR において最も重要なことは、胸骨を圧迫する際に、体幹の個性（骨や筋肉の違いなど）を考慮した適切な深さに達しているかどうかである。したがって、訓練においても、圧迫の深さ変化を評価することが最も重要な課題である。旧システムでは、深さ変化を評価することができなかったため、圧迫力（加圧変化）変化を代替評価としてきたが、旧システムの訓練を続けたとしても、深さの変化を評価できないため、実際の CPR に向けた訓練者の実行的スキル（助けることができる CPR）は困難である。

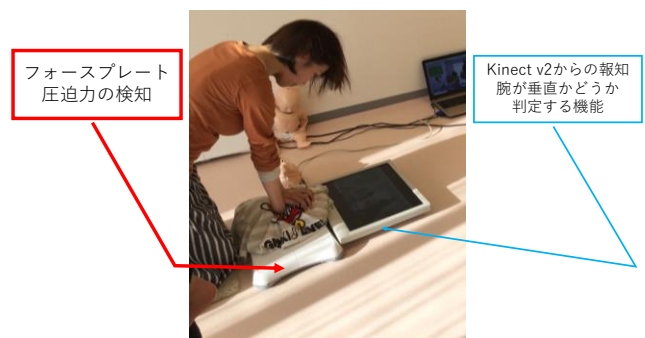


図 3 圧迫力（加圧変化）を検知していた旧システム

† 釧路公立大学, Kushiro Public University

3.1 圧迫時の深さ検知・推定する技術の開発

CPR 訓練に際して、訓練者が適切な深さで圧迫をしているのかを把握できるようなシステムを開発した。システムは、①小型シングルボードコンピュータと②曲げセンサを用いることで、胸骨への圧迫の深さを検知取得・推定処理し、訓練中に報知可能である。

①CPR 時の深さデータ処理するための制御ハードウェア

・Raspberry Pi 4 Model B 4GB RAM

②CPR 時の深さを検知する曲げセンサ

・Spectra Symbol 製 曲げセンサ

全長 112.24mm (センサ部 95.25mm) × 全幅 6.35mm

厚さ 0.43mm

電力定格 0.5W～最大 1.0W

寿命: 約 100 万回, 使用温度範囲: $-35^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$

曲げセンサの機械仕様と電気仕様は②のように、センサの面積の大半は抵抗になっており、検知は、曲がり具合に応じて抵抗値が増加 (180° 曲げ時で、平面時より最低2倍の抵抗値) する。センサの抵抗値はアナログ値であり、シングルボードコンピュータの Raspberry Pi 側で処理できないため、AD コンバータ (型番 MCP3208-CLP) を用いた。AD コンバータは、曲げセンサからアナログ抵抗値を 12 ビット (0~4095) のデジタル値に変換して、Raspberry Pi 側で処理することが可能になり、理論上、深さ変化は 4095 段階で計算処理できる。AD コンバータと Raspberry Pi の通信方式には、Raspberry Pi の GPIO 端子を接続した SPI 通信を用いた。

3.2 CPR 訓練用マネキンへの曲げセンサの実装

図 4 のように CPR 訓練用マネキン (Laerdal 製; CPR・AED 学習キット MiniAnne) にアクリルパネルを施して曲げセンサを取り付けた。図 4 のように、曲げセンサを湾曲させた状態でアクリルパネルへ取り付け、曲げセンサの先端部がマネキンの胸の中心裏側へ接触するように設置した。検知の仕組みは、CPR 訓練時のマネキンの胸骨部を圧迫するごとに、マネキン下部に取り付けられた曲げセンサが湾曲することで、抵抗値が増加するため、それを深さ変化とみなして、制御ハードウェアで処理している。制御ハードウェアの OS は、Debian Buster with Raspberry Pi Desktop (2020-02-12 リリース、2020 年 6 月現在で最新版) を使用して、プログラミング言語には Python3 系である Python3.7 を使用した。

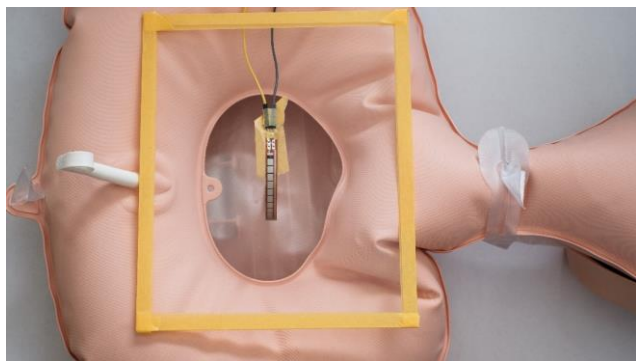


図 4 CPR 訓練用マネキンへの曲げセンサの実装

4. 結果

CPR 訓練時の深さの検出評価のために、訓練用マネキンに曲げセンサを取り付けた。曲げセンサの取り付け方法の検討で判明したことは、曲げセンサの検知が良好で、かつ胸骨への圧迫時の深さを正確に取得できるように実験した。また、実験では、訓練者の胸骨の圧迫の妨げにならないように取り付け位置を決めた。圧迫中の訓練者への報知方法として、規定の圧迫の深さを達した際に LED を点灯させることや、ブザー音で知らせることを検討した。

4.1 課題

研究で使用した訓練用マネキンには、気道確保・人工呼吸の訓練機能があり、人工呼吸時の肺を模倣した袋が内包されている。3.2 節のセンサ取り付け方法では、胸骨の圧迫と人工呼吸の訓練を同時に行った際 (実際の救命では特別のケースでない限り実施しない) に、この袋に干渉し、センサによる圧迫の深さ検知の正確な取得が困難である。

5. おわりに

CPR 訓練の振り返り (録画) 機能については、Azure Kinect DK で開発して実装した。2020 年 4 月に発売された Azure Kinect DK に関する技術開発に依拠するため、栗谷川 知紀の「Azure Kinect DK を用いた CPR 訓練システムの開発検討」論文を参照いただきたい。

謝辞

本研究は、日本学術振興会の科学研究費助成事業において 2020 年度 基盤研究 (B) に採択されたテーマ「救命の連鎖の開始点を担う市民が自ら考え実行できる CPR 実技の構成要素の抽出研究; 研究課題番号 20H04291」の関連研究で、国民のみなさまはじめ関係各位に深謝いたします。

参考文献

- [1] Sue Duval, PhD; Paul E. Pepe, MD, Tom P. Aufderheide, MD, et al; Optimal Combination of Compression Rate and Depth During Cardiopulmonary Resuscitation for Functionally Favorable Survival. *AMA Cardiol.* 2019;4(9): pp.900-908.
- [2] Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, et al; American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart disease and stroke statistics-2017 update: a report from the American Heart Association. *Circulation.* 2017;135(10):e146-e603.
- [3] Stiell IG, Brown SP, Nichol G, et al; Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. What is the optimal chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation of adult patients? *Circulation.* 2014;130(22): pp.1962-1970.
- [4] Idris AH, Guffey D, Pepe PE, et al; Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med.* 2015;43(4): pp.840-848.
- [5] Yannopoulos D, Aufderheide TP, Abella BS, et al. Quality of CPR: an important effect modifier in cardiac arrest clinical outcomes and intervention effectiveness trials. *Resuscitation.* 2015;94(3): pp.106-113.
- [6] Pepe PE, Schepke KA, Antevy PM, et al. Confirming the clinical safety and feasibility of a bundled methodology to improve cardiopulmonary resuscitation involving a head-up/torso-up chest compression technique. *Crit Care Med.* 2019;47(3): pp.449-455.
- [7] Azure Kinect DK の開発に関する技術情報, マイクロソフト <https://docs.microsoft.com/ja-jp/azure/Kinect-dk/>, 2020 年 6 月リンク確認
- [8] American Heart Association サイト: ガイドラインアップデート 2015 ハイライト, <https://eccguidelines.heart.org/wp-content/uploads/2015/10/2015AHA-GuidelinesHighlights-Japanese.pdf>, 2020 年 6 月リンク確認