N-007

心停止者発見時の意思決定・実技訓練支援システムの開発

Development of a Decision-Making and Practical Training Support System for Discovering a Patient in Cardiac Arrest

皆月 昭則‡
Akinori MINADUKI

1. はじめに

心肺蘇生法（以下 CPR）で胸骨圧迫の正しい姿勢・動作に従うことは救命率の向上[1]につながる．本研究では CPR 訓練の諸課題に対応するために胸骨圧迫の姿勢と自動体外式除細動器 (以下 AED)の設置場所への誘導方法に着目した．

開発した胸骨圧迫の訓練システムの種類は，バランス Wii ボードと Kinect センサーカメラの機器などを用いて実装した．また胸骨圧迫を実施しながら AED の併用することは救命率を向上するという知見[2]がある．そこで AED 設置の場所へ誘導し，AED を発見する機能を実装したスマートフォンアプリケーションを開発した．システムを用いた実技訓練として，心停止者を救急隊に適切に引き継ぐまでの時間を考慮した救助者の交代を想定した訓練を試みた．これは複数人の救助者で胸骨圧迫を実施するリレー訓練形式（以下，胸骨圧迫訓練リレー）で実施した．

2. システム開発（意思決定支援と実技支援）

心停止者発見時の意思決定支援と実技支援システム開発は，心停止者への対応を疑似体験できるようにするため，2009 年～2019 年の開発において胸骨圧迫力の検知や姿勢検知センサーに市販のゲーム機デバイス（バランス Wii ボードや Kinect）を活用し，2020 年からの開発ではゲーム機に非対応のセンサーカメラを使用した．

2.1 システム 2009 の開発

2009 年の開発[3]では，模擬人形の胸骨への圧迫力を検知し，救命の連鎖ストーリの意思決定を体験し，胸骨圧迫の実技が可能なシステムを開発し医療系学生や非医療系学生・市民に公開し試用した．

システム 2009 の構成は，①任天堂製バランス Wii ボード，②Bluetooth 受信機，③Web カメラ，④Windows OS の PC，⑤圧迫力・重心を総合的に処理するアプリケーションであり，医療系学生や非医療系学生・市民を問わず心停止者を発見した時の意思決定から胸骨圧迫実技を疑似体験して学べるようにした．システム 2009 では心停止者の発見から救急車要請・救急隊員への引き渡しまでを 7 分間のアニメーションによる救命の連鎖ストーリで構成した．図 1 のように前半の 3 分間は「救命の連鎖」の意思決定に関するストーリで体験学習であり，後半の 4 分間は心停止者への気道確保や CPR における胸骨圧迫の実技ストーリで体験学習，そして AED の模擬使用が可能である．

†釧路公立大学　Kushiro Public University

図 1　意思決定ストーリ「救命の連鎖」体験学習

2.2 システム 2013～2019 の開発

2013 年の開発[4]では，胸骨圧迫時の姿勢データを取得するためにマイクロソフト社製のゲーム機向けセンサーカメラ（Kinect Version1）を使用した．

2013～2014 年まではセンサーカメラ（Kinect Version1）を使用して， 2015 年以降の開発システムは Kinect Version1 のセンサーカメラを Kinect Version2 に更新して，図 2 のように赤外線画像と高精細な姿勢の HD 画像（1920×1080）処理が可能になり，骨格の変位に対する関節角度の検知 25 カ所の取得が可能になった．また，拡張現実(AR)の高精細化が可能になり，両腕の可視化（スケルトン表示）と深度センサーのセンシング方式の高度化によって，胸骨圧迫時の動作の精密な姿勢変位（前方ぎみ・後方ぎみ）の検知が可能になった．

図 2　システム 2019

胸骨圧迫時の実技の判定では，バランス Wii ボードと Kinect を同期させたことで，圧迫力と腕の変化（屈曲位・

Copyright © 2025 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

伸展位）を判定し，AR 表示で実技中の姿勢を視認しながら，実技中でも訓練者自身の姿勢の誤り箇所を認識して修正することが可能になった．さらに追加機能では，心停止者の年代選択機能によって成人男性・成人女性・幼児・高齢者の圧迫力の加減訓練が可能になった．

2.3 システム 2020〜2022 の開発

2020〜2022 年の開発[5]では，胸骨圧迫の正しい姿勢・動作について 2019 年までのシステム構成では取得困難であったデータに対応するために新たなシステムを開発した．システム 2020 は胸骨圧迫の姿勢・動作の解明に特化するためにゲーム機器のセンサーカメラは使用しなかった．姿勢検知するセンサーデバイスの Kinect には図 3 のように AI（人工知能）処理が可能な Azure Kinect DK センサーカメラを用いて，訓練者の正面・側面の 2 方向に設置し，胸骨圧迫訓練中の身体の周囲から関節角度を推論することが可能になった．さらに胸骨圧迫時の圧迫と除圧がセットで成立しているのか判定するために，訓練人形から発せられるクリッカー音（金属音）を検知した音圧認識処理をし，圧迫と除圧がセットで成立した場合を適正な胸骨圧迫と判定することが可能になった．

図 3　システム 2022

3. AED 探索アプリシステム開発

心停止者発見時の意思決定支援と実技支援システム開発の続きでは，胸骨圧迫に併用する AED を発見するためのアプリ開発である．公共施設や大規模商業施設などの屋内においては，心停止者の対応のために AED の設置が推進されている．しかし，AED を用いた心停止の処置には，救助者が AED の設置場所を知らなければ，使用できない．AED 設置場所に関しての市民の認知率調査では 22.7%（株式会社暁電工）[7]であり“多くの AED は人知れず眠ったまま…”という AED の屋外設置の広報提言がある．AED 使用率の調査では 4.5%（総務省消防庁: 令和 4 年版 救急・救助の現況）[8]であることから，AED 設置場所の市民の認知不足が明らかである．

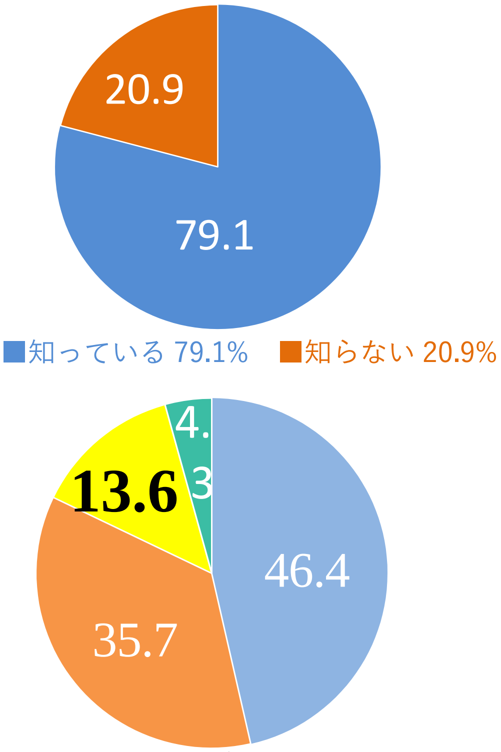
よって，本研究の開発では BLE(Bluetooth® Low Energy) 規格のビーコン（以下 BLE ビーコン）を用いて，一刻の時間の猶予が許されない心停止者への迅速な処置を実施可能にするため，AED 設置場所へ誘導する機能を開発した．開発した機能は，救助者が自らのスマートフォンを AED 探索に用いることで，屋内における位置情報を可視化(AED-救助者の位置関係)表示し，BLE ビーコンを設置した経路をたどることによって AED 設置場所へ誘導することが可能になった．

3.1 AED 設置場所でのアプリ動作確認

図 4 のように開発したアプリの指針矢印が設置した BLE ビーコンの方向を向くかどうかを動作検証した．

図 5 のグラフは 1 年間以上在籍して大学施設を利用している学生 211 人（回答数 177 人）を対象とした，大学内の AED 設置場所に関するアンケートをした．結果は，AED 認知率が 79.1%であり，AED 設置場所の 3 か所すべてを知っていると回答した学生は 13.6%であった．

図 4　AED 近傍に BLE ビーコン設置アプリ動作確認



・46.4%；AED 設置の 1 箇所を知っている
・35.7%；AED 設置の 2 箇所を知っている

Copyright © 2025 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

・13.6% ; AED 設置の 3 箇所を知っている
・4.3% ; AED 設置は知っているが場所は知らない

図 5　AED 設置場所に関するアンケート結果

3.2 AED 探索アプリに関する考察と結論

アンケート結果が示すように全ての AED 設置場所の認知率は低い．よって BLE ビーコンを用いて，建物内での位置情報を可視化し，心停止者を発見した場合に，スマートフォンを使って AED 設置場所へ誘導することが可能なアプリケーションを開発した．本アプリケーションを事前にダウンロードしておくことによって，心停止者を発見した場合に，迅速な CPR が期待できる．また，平時のアプリの使用では 全ての AED 設置場所の把握や胸骨圧迫の手法の学習として利用可能である．AED 認知率が低い現状から，建物内での AED 設置場所を再検討することや公共施設や大規模商業施設においても敷地面積に応じた AED の設置数が確保されていないことが問題である．これらの問題に対して，AED 設置場所を報知または気づかせることが可能な本アプリの有用性を活かして，AED の使用率向上のための解決策を提示していく必要がある．

1 節で述べたように開発方策としては，意思決定支援と実技支援である．実技支援システムでは，胸骨圧迫を完遂するための教育支援機能を開発することで，同時に AED を探すアプリ開発であった．これらを使って胸骨圧迫を中心とした実践的な教育方法について次節で述べる．

4. システムを用いた教育現場への展開

システム 2020 の開発時期の総務省消防庁からの統計データによると，2024 年度の救急車の現場到着所要時間は,全国平均で 10.3 分である.救助者の疲労による胸骨圧迫の質の低下を最小にするために,救助者が複数人いる場合には一定時間ごとに胸骨圧迫の役割を交代する必要がある.JRC 蘇生ガイドライン 2020 では，胸骨圧迫の役割の交代目安時間は 1～2 分ごとに交代するようにと定められている．

システム 2020 では，救助者に正しい胸骨圧迫の姿勢を習得させるために 1 人ずつ訓練するソロモードの訓練形式を開発した.さらに実際に心停止者に遭遇した際の救急隊に適切に引き継ぐまでの時間を考慮した救助者の交代を想定した訓練形式として，複数人の救助者で胸骨圧迫を実施するリレーモードの訓練形式（以下，胸骨圧迫訓練リレー）を開発した．胸骨圧迫訓練リレーでは，図 6 のように開発した訓練システムを 2 セット使用した．使用した 2 セットをそれぞれ A セット（図6の左側）と B セット（図6の右側）として，救助に向かう訓練者が順番に交代して胸骨圧迫を実施するようにした．

胸骨圧迫訓練リレーでは，訓練者に対してレッド・ブルー・ブラックの 3 チームに分けて，1 チームあたりメンバーが 4 人いたとき，それぞれのチームは合計 4 分間（1 分～4 分）の胸骨圧迫を訓練システムに設定することが可能である．

図 6　胸骨圧迫訓練リレーの様子

5. おわりに

2009 年からの 16 年間の研究開発では，システムを Kinect センサーカメラなしで分類すると 2 種を開発し，Kinect センサーカメラありで分類すると１０種を開発し，救命実技支援システムの合計のラインナップは１２種を開発したことになる．開発種の増加には，バランス Wii ボードや Kinect が製造中止やバージョンアップされたことで更新が余儀なくされたことも理由であり，センサーカメラなどの技術に追従した開発をすることから，これから先も胸骨圧迫実技支援システムの完成はない．

課題としては，訓練システムから訓練者に出力される得点化である．システム 2022 では，1 分あたりの胸骨圧迫回数をガイドラインに従い 100 回，110 回，120 回の 3 モードを基準（過小：Too few←基準：Perfect→過多：Too many・Too much）に実装して，得点は各関節角度の閾値範囲内で同時に圧迫・除圧時の音圧が閾値範囲であった場合，適切な圧迫とみなして計数し得点化してきた．モード例では胸骨圧迫基準 100 回を 100 点に設定した場合，100 回は 100 点，110 回は 91 点（過多：Too many），120 回は 83 点（過多：Too much）になる．またモード設定で胸骨圧迫基準 110 回を 100 点にセットした場合，減点の割合は軽減され 120 回は 91 点（過多：Too many）になる．ガイドラインは 1 分間の胸骨圧迫 100 回～120 回が規定範囲であり，減点の矛盾を検討する必要があり，システムを使用しない訓練では 100 回～120 回の胸骨圧迫であれば，Perfect である．

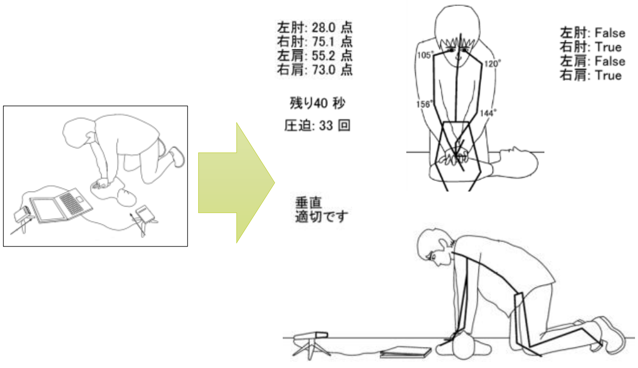


図 7　システム 2022 の減点の矛盾点を検討

Copyright © 2025 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

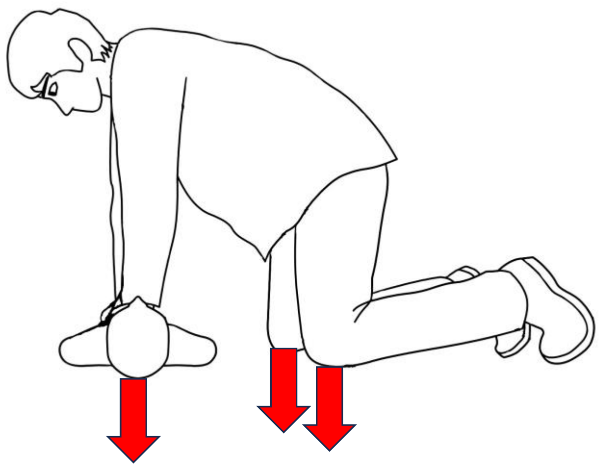


図 8　CPR 姿勢の kinetic chain

今後は運動連鎖の評価を見直す．運動連鎖とは複数の関節が連なっていることで，身体の特定の部位の動きが隣接する部位に波及していく現象であり，kinetic chain（OKC、CKC）を形成すると考えられる．kinetic chain は力学的な観点からの連鎖で、手や足を床面から離した非荷重位（OKC）と、手や足を床面に付けた荷重位（CKC）に分類される．

図 8 の CPR 姿勢が示すように，CPR 時には足部が外部抵抗と接している状態で，手や足の動きが制限される反面，体幹部の動きが重要であると考えられる．これは下行性運動連鎖であり，骨盤が後傾すると股関節は外旋し，骨盤が前傾すると股関節は内旋する運動連鎖であると想定される．

図 9　 CPR 姿勢の kinetic chain を解明する実験装置

表 1　実験のデータ

	1	2	3	4	5	6	7
正確率	94	69	78	94	79	71	85
平均深さ	5.9	5.2	5.5	5.5	5.1	5.1	5.3
平均実圧迫回数	106	103	122	116	105	99	116
平均圧迫リズム	106	103	122	116	105	99	116
合計回数	106	102	120	115	104	98	115
正しい回数	100	71	94	109	83	70	98
深過ぎた回数	5	0	2	1	0	0	0
浅過ぎた回数	0	30	7	4	21	18	16
誤った手位置回数	0	1	0	0	0	2	0
速過ぎたた回数	0	0	19	0	0	0	0
遅すぎた回数	0	2	0	0	0	9	0
剣状突起回数	0	0	0	0	0	0	0
不完全戻し回数	1	0	0	1	0	0	1
胸骨圧迫比率	61	72	73	86	69	64	75

実験途中であるが被験者 12 名から胸骨圧迫の正確率 69%以上になった表 1 が示すように 7 名を抽出した．今後は圧迫の正確率と姿勢に関連した分析評価をしていく．

図 10　日本航空・海上保安庁基地での訓練の様子

謝辞

本研究は，科学研究費事業の研究採択テーマ課題番号 23K11336 で，研究課題名「CPR における胸骨圧迫の最適な姿勢・動作の解明」の関連研究で実施した．本研究の 16 年間においては，のべ 750 名の被験者の皆様，図 10 のように海上保安庁様・日本航空様・空港関係の皆さまの協力に感謝します．

なお，開示すべき利益相反はありません．

参考文献

[1] M Holmberg, S Holmberg, J Herlitz . Effect of bystander cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest patients in Sweden,Resuscitation, 2000；47(1), 59-70

[2] Dana P. Edelsona,Benjamin S Abella, Jo Kramer-Johansen, Lars Wik, Helge Myklebust, Anne M Barry, Raina M Merchant, Terry L Vanden Hoek, Petter A Steen, Lance B Becker. Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest, Resuscitation Journal, Resuscitation, .2006；71(2), 137-45

[3] Naoya Fujioka, Masaya Suzuki, Satomi Toita, Hikaru Komukai, Hidehiko Hayashi, Kazuhiro Watanabe, Akinori Minaduki et al.. Development of Experience-Based Learning Support System for Realization of Exact Cardiopulmonary Resuscitation, Computer and Information Science 2010, Springer, Vol. 317, 153-163

[4] Keisuke Fukagawa, Yuima Kanamori, Akinori Minaduki . A Development of Agility Mode in Cardiopulmonary Resuscitation Learning Support System Visualized by Augmented Reality, ASTES(Advances in Science, Technology and Engineering Systems) Journal , 2018；Volume 3, Issue 6, ISSN: 2415-6698,136-139

[5] Taiki Yamakami, Akinori Minaduki. Analysis of Components and Effects of Chest Compression Posture using CPR Training System, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 2024；Volume 9, Issue 2, DOI: 10.25046/aj090203

[6] 市橋 則明．身体運動学−関節の制御機構と筋機能，メジカルビュー社，2017

[7] 株式会社 暁電工ホームページ.多くの AED は人知れず眠ったまま… AED の屋外設置を広めましょう（http://akatsukidenkou.com/product/aed.php）, (accessed 2025-5-30)

[8] 総務省消防庁：「令和 4 年版 救急・救助の現況」の公表ホームページ.（https://www.soumu.go.jp/main_content/000856261.pdf）, (accessed 2025-5-30)

Copyright © 2025 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.