

Kinect・バランス Wii ボードを用いた心肺蘇生法の

可視化・可聴化による体験型学習システムの実現

Learning Tool-Kit for Cardiopulmonary Resuscitation of Visualization and Auralization
Using the Kinect and Wii balance board渋谷 卓磨[†] 皆月 昭則[†]

Takuma Shibuya Akinori Minazuki

1. はじめに

心停止の傷病者に対する緊急の処置方法である心肺蘇生(CPR)は,AED(医療機器)を用いる前後に実施する人間のなすべき術である.CPR の実施において,胸骨を圧迫する確かな姿勢は難しく,専門的な技術的実践の訓練学習が必要である.実際,的確な姿勢による CPR は,胸骨から心臓への動力(圧迫加重)が不足し,十分な圧迫深度が得られないため,蘇生が達成できなかったというエビデンスが報告されている[1].CPR および AED の使用方法の習得に際しては,文献の閲読や医療機関ならびに公共団体が主催する講習への参加が知られている.主に講習で使われている個人用蘇生人形(ミニアン Leardal 製)は,標準教材である.的確な胸骨圧迫を行ったときにクリック音が鳴るクリッカー機能によって,フィードバックされるため,全ての講習受講者が同時に圧迫の強さのみを知ることができる.しかし,過剰圧迫,的確な圧迫の方向,的確なテンポの質的評価ができない.

本研究では,ミニアンを用いて胸骨圧迫の質をリアルタイムで評価するシステムを開発した.システムには Kinect for Windows v2 と Wii balance board(Wii ボード)の機器を制御するソフトウェアを開発し,システムのインターフェイスには,訓練者の実施姿勢を実況モニターするために AR (拡張現実) 技術を用いた.システムは訓練しながら視覚的・聴覚的に補正が可能になった.そして,可視化・可聴化を可能にしたシステムは個人訓練用の学習機材として公開した.

2. OHCA の救命の連鎖

日本で普及している CPR は,米国心臓協会(American Heart Association:AHA)が作成した Basic Life Support(BLS)/Advanced Cardiovascular Life Support(ACLS)や,日本蘇生協議会と日本救急医療財団による BLS/ALS(Advanced Life Support)である.「ガイドラインアップデート 2015」では,院内心停止(in-hospital cardiac arrest, IHCA)と院外心停止(out-of-hospital cardiac arrest, OHCA)では明らかに状況が異なるため,OHCA 患者と IHCA 患者を分けて,それぞれに適した治療法を特定している.米国で報告される心停止の発生率および予後は,地域によって大きく異なるというエビデンスがある.また,本研究で成人を対象としたアンケート回答者 60 名に開発したシステムを用いた CPR 体験をさせた.的確な胸骨圧迫の達成(腕が垂直で正しい姿勢になっているかを判断する伸展位と屈曲位状態)については,CPR 講習経験者群と未経験者群を比較すると,両群に達成差はなく,的確な胸骨圧迫の達成は両群で半数で開発システムの有用性が明らかになった(図 1).OHCA 患者の 1 か月後の生存率は,その場に居合

[†] 釧路公立大学 Kushiro Public University

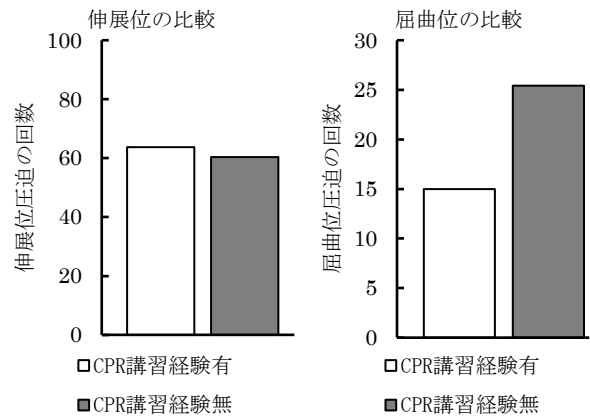


図 1 CPR 講習経験有と無のユーザーの伸展位と屈曲位の平均の比較

わせた人(バイスタンダー)による CPR および自動体外式除細動器(automated external defibrillator, AED)の使用が的確に行われることにより向上すると報告されている.バイスタンダーは医療者であるとは限らず,専門的な訓練を受けた緊急医療サービス(emergency medical service, EMS)プロバイダーチームが責任を引き受ける時点までは除細動(市民による除細動[public access defibrillation, PAD])を行わなければならない[11].以上のことから,OHCA 蘇生の地域・市民レベル向上が必須である.

本システムでは,OHCA の状況下での市民救助者による CPR を想定した訓練を対象とし,開発システムを検証した.

3. 胸骨圧迫の重要性と市民への期待

胸骨圧迫は,1 分間に 100 回以上かつ 5cm 以上の深度でたえまなく胸骨圧迫し続ける必要がある.胸骨圧迫は,CPR において現在最も重要な役割を担っている.心停止の傷病者に対し,迅速な対応が求められる.近年のエビデンスでは,人工呼吸よりも胸骨圧迫に対する重要性が示されており,訓練を受けていない市民救助者であっても胸骨圧迫を的確に行わなくてはならないと定められている.

3.1 圧迫テンポの重要性

図 2 では,除細動前の胸骨圧迫の中断時間とその後のショックが成功した割合を示している[1].図 2 は心肺停止 60 症例を対象とした研究結果である.除細動前の CPR の中断時間が長くなると除細動成功割合が減少している.よって,胸骨圧迫は一定時間絶え間なく行うことが重要である[1]~[10].

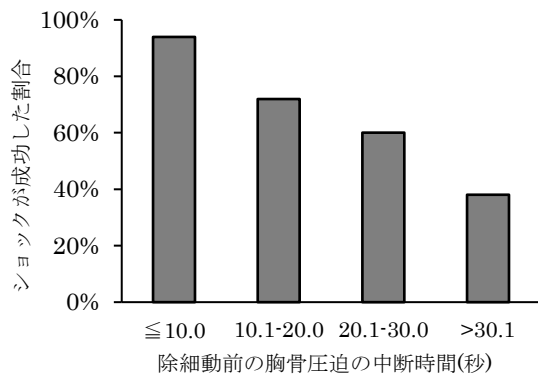


図 2 除細動前の胸骨圧迫中断時間と臨床的影響

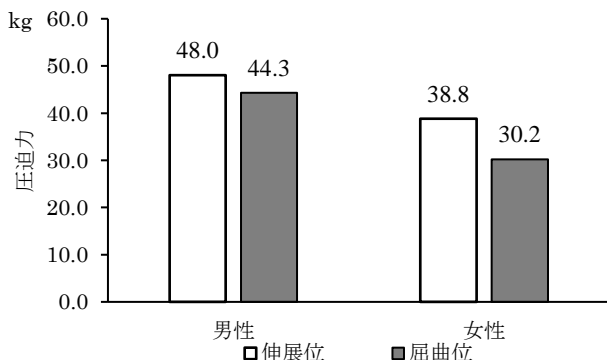


図 3 胸骨圧迫における伸展位圧迫と屈曲位圧迫の検証

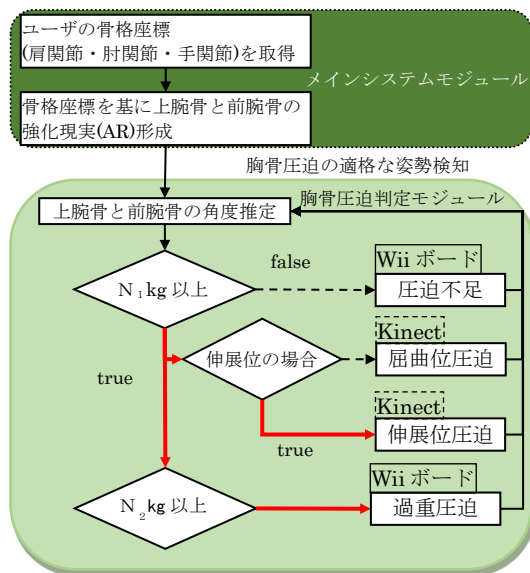


図 4 システムと胸骨圧迫判定処理概要

3.2 伸展位圧迫動作(姿勢)の導出概念

本研究では、バイオメカニクスの理論[12]をもとに上腕骨と前腕骨が伸展位(真っ直ぐに伸びた状態)と屈曲位(折り曲がった状態)と定義し、的確な姿勢での CPR の状態を伸展位圧迫、不的確な姿勢での CPR の状態を屈曲位圧迫として取り扱う。図 3 はパラメータを決定するための実験による胸骨圧迫における伸展位と屈曲位の圧迫力の比較である。

これによって、伸展位は屈曲位に比べ、圧迫加重値が大きいことがわかる。そのため、胸骨圧迫では、伸展位圧迫で実行することが的確な胸骨圧迫になることを確認した。

4. 的確な心肺蘇生術の要件とシステム化

的確な胸骨圧迫の要件は「胸骨の圧迫深度値 5cm, 毎分 100 回以上」, 最小の中断時間(数秒程度)で圧迫継続することである[13]。圧迫は傷病者の胸の真中に対して指先を胸壁にあたらぬように、肘関節から手掌基部へ外力が鉛直に加わるように圧迫することが必要である[14]。圧迫深度 5cm を実現するためには、平均して 50kg 以下の圧迫力が必要であるという報告がある[2]。本システムでは、上腕骨と前腕骨が伸展位と屈曲位を Kinect センサーで検出し、同時に圧迫時の圧力(kg)を Wii ボードセンサーで検出しメインシステムモジュールで集約処理し判定評価するシステムを開発した。

ユーザ(訓練者)は Wii ボード上に設置された胸骨圧迫訓練用マネキンに対して胸骨圧迫を実施する。図 4 で示したように、メインシステムは Wii ボードで取得したユーザの圧迫力を定量評価し、同時に Kinect のセンサーカメラで取得した姿勢と両腕の状態を推定(角度取得判定)して、伸展位か屈曲位かを判定処理をする。システムは取得したユーザの両腕の位置を追尾し AR で仮想変換処理して、ユーザ側の視線前方直下の報知モニターに表示し、圧迫ごとの胸骨圧迫の状態変位の評価値(コメント付き)をリアルタイムで確認することができる。

5. システム全体構成

システムの開発環境は、Microsoft Visual Studio 2013, .NET Framework 4.5 の環境において C# 言語を用いた。システムは ① Kinect for Windows v2, ② バランス Wii ボード, ③ 床面設置の報知モニター, ④ MiniAnne(CPR・AED 学習ツールキット), ⑤ Bluetooth USB アダプター, ⑥ Windows OS 搭載ノート PC で構成されている。システムの基本設定イメージを図 5 に示す。

6. システムの主な機能

6.1 Kinect センサーによる腕の角度変位推定機能

ユーザの姿勢変位の状態推定判定は Kinect センサーが取得する 3 点(肩・肘・手首)の座標値を取得処理した。左肩から左肘の場合、図 6 のように左肩の座標の点 P(X1, Y1) から左肘の座標の点 Q(X2, Y2) で構成する線分 PQ の角度変位によって余弦値を導出して判定処理した。

6.2 圧迫姿勢における拡張現実(AR)表示機能

システムでは、Kinect センサーカメラからのユーザの姿勢映像に各種情報を AR によって重畳表示するようにした。図 7 のように、システム開始時にユーザの骨格情報を取得する際に、取得成功の確認機能として「両肩・両腕が白色ライン」で強調表示される。ユーザは腕や肩・頭の姿勢推定の AR 表示を意識しながら、腕が伸展位になる姿勢維持を目標に補正して、正しい胸骨圧迫姿勢を学習することが可能である。

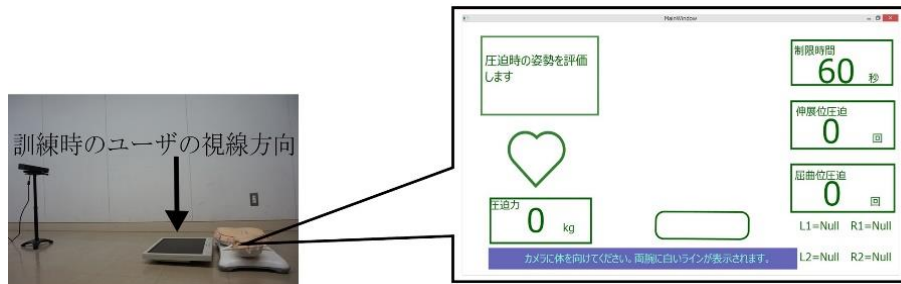


図5 システムの基本セッティングイメージ

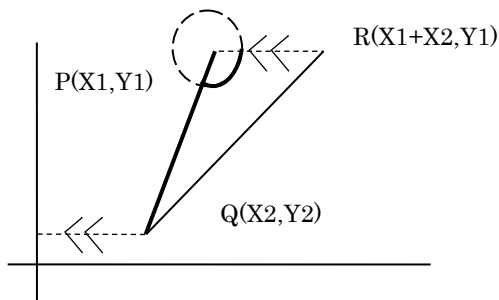


図6 左肩から左肘までの角度推定方法



図10 在宅医療用ベッドを想定したCPR訓練



図7 ARによる伸展位圧迫(左)と屈曲位圧迫(右)



図8 床面設置の平置き報知モニター表示例



図9 達成学習フィードバック画面遷移例

6.3 圧迫テンポの想起と圧迫力の実況機能

システム起動時に毎分100回のピープ音を報知するようにした。ユーザが胸骨圧迫を開始するとピープ音は消音し、報知モニターにハートマークオブジェクトで「Hot Pink, Light Pink, Black」の3色表示に変化することで視覚的に圧迫テンポが学習可能である。圧迫パラメータは図4の N_1, N_2 とし、Wiiボードを用いて検出した処理判定によって、 N_1 kg以下の圧迫の場合に「圧迫不足」、 N_2 kg以上の場合「過重圧迫」と判定表示される。過重圧迫と判定された場合、モニター全面が赤色に変化して警告する。圧迫不足、過重圧迫のパラメータ値は事前検証で設定した。

6.4 角度のアラート表示機能

本システムでは、Kinectセンサーが推定した角度(左肩から左肘、左肘から左手首、右肩から右肘、右肘から右手首)の構成を検知して、腕が伸展位状態と屈曲位状態を判定する。判定は両腕の4角度を基準にして閾値を導出設定しており、腕の角度が外れるごとに報知モニター上にARによってアラートを重畳表示する。

6.5 達成値の学習フィードバック保存機能

図8のように1分間の胸骨圧迫後、伸展位圧迫と屈曲位圧迫、過重圧迫それぞれの回数の各達成値に評価コメントを付加する達成学習評価モジュールを実装した。図9は伸展位圧迫や屈曲位圧迫の回数に応じて学習フィードバック表示でユーザに返され、同時にシステムに保存される。

6.6 アジリティ性の実現に向けた機能

システムでは、圧迫力パラメータ値を変更し、胸骨圧迫時の腕を両腕と片腕の両方に対応させており、小児に対するCPRの訓練も可能になった。また、在宅医療用ベッドでの急変時の訓練機能も可能にした。高齢者人口の増加や、近年では疫病や障害を抱えながらも自宅や住み慣れた地域で生活をする実態調査から在宅医療のニーズ対応した。よって、本システムのアジリティ性は、CPRをさまざまな場や人々に対応させた。

表 1 質問項目

	平均値	標準偏差
1. 心臓マッサージについて以前から知っており,実際にできますか	2.830	1.372
2. 今回の訓練で心臓マッサージについて理解できましたか	3.936	1.000
3. 自分の思い通りに心臓マッサージができましたか	2.957	1.382
4. スピーカ音を参考に圧迫することができましたか	3.128	1.312
5. モニター表示(自分の姿勢・圧迫力表示・回数表示)を参考にできましたか	4.213	1.041
6. モニター映像の方から腕(白い2本ライン)表示は参考にできましたか	3.851	0.978
7. モニター映像のハートマークの色を参考にできましたか	3.872	0.992
8. 心臓マッサージに必要な圧迫力の学習ができましたか	3.809	1.096
9. 姿勢や腕の角度を気にしながら圧迫できましたか	4.128	1.055
10. 今後のマッサージについて関心が持てるようになりましたか	3.426	1.211
11. 自分の腕・姿勢・テンポ(回数)の問題点に気づくことができましたか	3.809	1.135
12. 心臓マッサージについて関心が持てるようになりましたか	3.872	0.992
13. 訓練前,家族や知人が倒れ,呼吸が止まった客体など心停止と判断し,心臓マッサージはできますか	2.830	1.307
14. 今後(訓練後),家族や知人が倒れ,呼吸が止まった客体など心停止と判断し,心臓マッサージはできますか	3.553	1.299

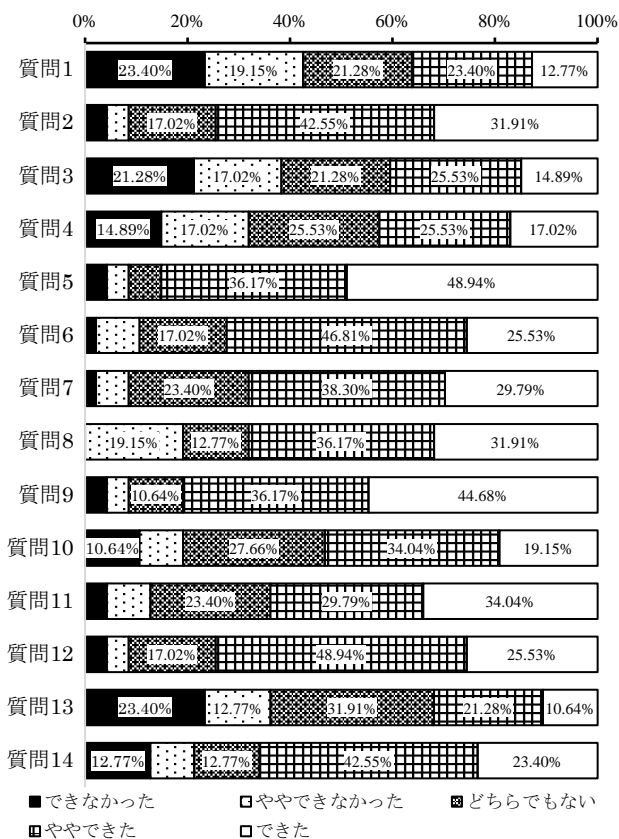


図 11 質問に対する 5 段階評価の回答率

7. システムの評価

7.1 評価方法

検証においては,事前に調査内容を述べ,同意を得られた48名被験者にした.CPR講習の内容は,CPRによる基礎知識とシステムの報知について説明したあとにシステムによるCPRを一人実施した.アンケート調査では,本研究で開発したシステムについての有用性についての質問とCPR行為についての学習・技能訓練の質問を対象にした.回答は5段階評価で回答を求めた.

7.2 アンケート調査結果

各項目,および平均値,標準偏差を表1に示し,図11には質問に対する5段階評価の回答率を示した.表1の質問4~7はシステムの有用性を確認するための質問である.

7.2.1 仮説検証における特徴的な例示抽出

システムによる訓練を用いることで胸骨圧迫は的確な姿勢で実行することで十分な圧迫加重が得られ,胸骨圧迫に必要なとされる圧迫深度を得ることができると仮説を提示した.しかし,十分な圧迫加重が得られる的確な姿勢で胸骨圧迫を実行しているにも関わらず,十分な圧迫加重を得ることができなかった被験者が認められたため,その特徴的な例を挙げる.

図12の例1,例2では特徴的な例,例3では理想的な胸骨圧迫の圧迫加重の変化値のデータを抽出した.例1では,不的確な胸骨圧迫の圧迫加重の値は的確な胸骨圧迫の圧迫加重の値よりも上回っており,例2では不的確な胸骨圧迫の圧迫加重の値は的確な胸骨圧迫の圧迫加重の最大値に

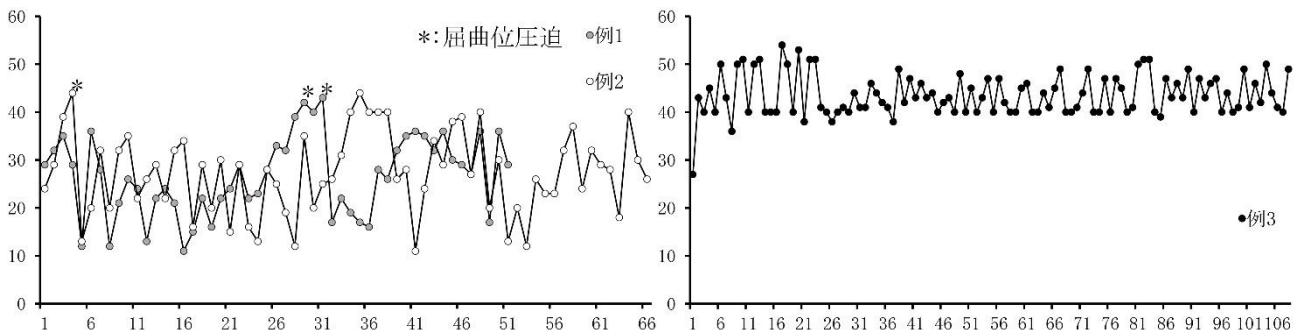


図 12 例 1~3 の胸骨圧迫の圧迫加重の変化値

表 2 高い相関が表れた質問項目

	質問 2	質問 3	質問 10
質問 3	0.50	1.00	
質問 10	0.54	0.48	1.00
質問 13	0.54	0.52	0.64

表 3 システムの有用性に関する質問における相関関係

	質問 5	質問 6	質問 7
質問 8	0.379	0.236	0.556
質問 9	0.766	0.419	0.265
質問 10	0.566	0.391	0.395
質問 11	0.398	0.187	0.336
質問 12	0.248	0.420	0.294
質問 14	0.436	0.098	-0.034
伸展位	0.278	0.432	0.178

近い値になっていることが判明した。例 3 では理想的な圧迫加重の値でたえまなく胸骨圧迫を実行している。例 1 と例 2 の圧迫加重の値の変化に着目すると、不的確な胸骨圧迫後、圧迫加重の不足状態は続いている。これらのデータから、この 2 つの例の被験者は圧迫加重を十分な値にするために、不的確な胸骨圧迫姿勢で圧迫加重を得ようとするため、効率の悪い圧迫加重(不的確な胸骨圧迫)によって被験者は疲労し、たえまない胸骨圧迫が困難になった。CPR はたえまなく胸骨圧迫することで、大きな効果を得られるので、無理な姿勢(不的確な胸骨圧迫)で一時的に高い圧迫加重を得られたとしても、たえまなく胸骨圧迫することが困難になるので、効果を得られない。結果、例 1~例 3 の胸骨圧迫の圧迫加重の変化値のデータより、たえまなく胸骨圧迫をするために的確な胸骨圧迫の可視化による訓練の重要性を明らかにした。

7.3 評価結果の考察

システムによる姿勢を意識した補正訓練を繰り返すことで、胸骨圧迫の熟練度が向上し、両腕の伸展位状態による圧迫回数が増えた。

表 2 では、高い相関を示す質問項目を抽出した。訓練後、実際に CPR が行えるかどうかについての質問の回答に対して、CPR についての理解度と自信、ユーザ自身が意図した胸骨圧迫の姿勢を実行することができているかが関係していることが証明された。

表 3 は、システムの有用性についての質問とその他の質問に対する相関を示している。によってシステムについての有用性を評価した。質問 5~7 は開発した平面置き報知モニター(AR 機能)についての質問である。訓練者が、直下の平面置き報知モニターを視認しながらシステムの圧迫姿勢のガイドを獲得する AR 表示機能は、ユーザの積極的な姿勢の補正意識動作を支援し、学習効果に結びついていたと考えられる。

8. まとめ

CPR の現在の研究課題として、OHCA 患者のバイスタンダーとなった市民救助者が最低限の救命補助を行える CPR 技術をシステムで学習すること、そして市民の CPR への意識の改善が挙げられる。上述したとおり、CPR に関する意識は低く、一般人には最低限の CPR の技術が普及しているとは言えない。

医療従事者は CPR に関して医療者や市民、地域医療への意識の改善、蘇生の実践や訓練への改善に積極的であり、その研究も盛んに行われている。AHA は、蘇生を行うプロバイダーおよび AHA インストラクター向けに、CPR のガイドラインを発行したりするなどして、その啓発に努めている。医療従事者向けに専門的 CPR の教育が行われていたり、機材としては「LUCAS2 自動心臓マッサージシステム」などの救急現場での強力なツールがあるが、一般市民への使用ができないツールである。

本研究では、一般の人の CPR への意識改善、CPR の技術を促進するため、リアルタイムでユーザの CPR 動作を評価するシステムを開発した。上述のようにユーザに対して CPR の意識改善、技術の向上は見られたが、永続的なものではなく、訓練を怠れば CPR の技術は後退し、CPR への意識低下も予想される。システムは社会へ浸透させて、ユーザの意識改革をするものになる必要がある。開発システムによる講習だけでなく、国や自治体などの組織による更なる CPR の周知・教育活動や、CPR の啓発が必要であると考えられる。具体的には、小学校や中学校等の義務教育の段階において CPR の教育を充実させ、CPR 教育を教育機関に浸透させることによって、社会に CPR への知識の定着を目指すというアプローチが重要である。



図 13 Tsunagu Project



図 14 CPR 講習の様子

特に、本システム機能の可視化・可聴化によって、体験型訓練を実現させたが、エンターテインメント性を用いたシステム機能も必要であると検討しており、エデュケーションとエンターテインメントを両立させることが今後の課題である。

9. Tsunagu Project

本システムによる訓練で正しい胸骨圧迫姿勢の会得が可能であり、救命現場での実践が期待できる。「TsunaguProject」は、図 13 のようにホームページによる手法の紹介やシステムの公開、活動報告等を通して、正しい心肺蘇生に対する関心を社会に浸透し、拡大することを目指している。

主な活動は、開発したシステムを実際に CPR の訓練に使用し、CPR の訓練講習と CPR への正しい知識を社会・地域に浸透させる 2 つの活動に大きく分けられる。

9.1 教育ツールとしての利用

図 14 は、実際に TsunaguProject の活動の一つであり、CPR 訓練講習会である。実際に CPR に対する知識をレクチャーし、システムによる CPR の訓練をしている様子である。

10. おわりに

従来の CPR 講習では、胸骨圧迫時の姿勢の矯正指導は難しい。蘇生を達成するためには、「圧迫深度・テンポ」の実現のための確かな姿勢が必要である。本システムでは、リアルタイムで姿勢を視認補正しながら胸骨圧迫の訓練学習が可能である。CPR に対する知識、理解を広めていくため、ホームページ等で情報発信している TsunaguProject 活動を拡大していく。

今後は検証結果を踏まえた改良を継続していく。現状、一般人(医療者ではない)の心肺蘇生術は路上に倒れている傷病者(成人)に対して行うことを想定しているシステムは、アジリティ性によって成人と小児に対しての心肺蘇生の訓練も可能としており、今後、さまざまなシーン(場所)や姿勢状態、さまざまな傷病者に対しての CPR を想定した、システム開発を行っている。現在は幼児に対し、行う心肺蘇生術の訓練を可能としたシステムの検証を継続している。また、BLSO(病院外・病院前での妊産婦救急を想定した産科に関する基礎的なトレーニングプログラム[Basic Life Support in Obstetrics])の妊婦蘇生訓練機能への機能拡大を目指して医療者と取り組んでいる。

参考文献

- [1] Dana P. Edelson, Benjamin S. Abella, JoKramerJohansen, etc: *Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest*, Resuscitation. Volume 71, Issue 2, November 2006, pp.137-145
- [2] A.E.Tomlinson, J.Nysaether, J.Kramer-Johansen, P.A.Streem, E.Dorph: *Compression force-depth relationship during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation*, Resuscitation. Volume 72, Issue 3, March 2007, p.364-370
- [3] Christina M.Gilmore, MD, Thomas D.Rea, MD, MPH, Linda J.Becker, MA, and Mickey S.Eisenberg, MD, PhD: *Three-Phase Model of Cardiac Arrest: Time-Dependent Benefit of Bystander Cardiopulmonary Resuscitation*, The American Journal of Cardiology. Volume 98, Issue 4, 15 August 2006, pp.497-499.
- [4] Jo Kramer-Johansen, Lars Wilk, Petter Andreas Steen: *Advanced cardiac life support before and after tracheal intubation-direct measurements of quality*, Resuscitation. Volume 68, Issue 1, January 2006, pp.61-69.
- [5] Jo Kramer-Johansen, Lars Wilk, Petter Andreas Steen: *Advanced cardiac life support before and after tracheal intubation-direct measurements of quality*, Resuscitation. Volume 68, Issue 1, January 2006, pp.61-69.
- [6] Ting Yu,MD;Max Harry Weil,MD,phD;Wanchun Tang,MD;etc: *Adverse Outcomes of Interrupted Precordial Compression During Automated Defibrillation*, Circulation. 2002; 106: pp.368-372
- [7] Sato, Yoji MD;Weil,Max Harry MD, PhD, FCCM; Sun, Shijie MD;etc: *Adverse effects of interrupting precordial compression during cardiopulmonary resuscitation*, Critical Care Medicine. May 1997 - Volume 25 - Issue 5 - pp.733-736.
- [8] Michael J. Kellum, MD, Kevin W. Kennedy, MS, Gordon A. Ewy, MD: *Cardocerebral Resuscitation Improves Survival of Patients with Out-of-Hospital Cardiac Arrest*, The American Journal of Medicine. Volume 119, Issue 4, April 2006, pp.335340.
- [9] Heidrun Losert, MD; Fritz Sterz, MD; Klemens Kohler, MD; etc: *Quality of Cardiopulmonary Resuscitation Among Highly Trained Staff in an Emergency Department*, Arch Intern Med. 2006;166(21): 2375-2380. doi:10.1001/archinte.166.21.2375.
- [10] Robert A. Berg, Arthur B. Sanders, Karl B. Kern, etc: *Adverse Hemodynamic Effects of Interruption Chest Compressions for Rescue Breathing During Cardiopulmonary Resuscitation for Ventricular Fibrillation Cardiac Arrest*, Circulation. 2001;104: pp.2465-2470.
- [11] American Heart Association: *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/2015/10/2015-AHA-GuidelinesHighlights-Japanese.pdf>
- [12] Vladimir M. Zatsiorsky, Boris I. Prilutsky: *骨格筋のバイオメカニクス-筋繊維から運動協調性まで-*, 有限会社ナップ (2014).
- [13] 小野寺 憲治: *コメディカルによるバイタル異常・急変・ME 機器でのアラームサインへのアプローチ 緊急治療を要する疾患生理と薬物治療*, 薬事日報社 (2010),p.92.
- [14] JRC ガイドライン, 成人の二次救命処置 (2010), 日本蘇生協会 サイト: http://jrc.umin.ac.jp/pdf/G2010_02_ALS_120_208.pdf