

心肺蘇生法その場教示システムの実現に向けた 現実的な状況を考慮した教示法の評価

山本晃大^{†1} 大村廉^{†1}

概要: 救急医療の現場において、患者が心肺停止状態に陥った場合、その場にいる人（バイスタンダー）が心肺蘇生法を実行することにより、患者の蘇生率を飛躍的に高めることができる。しかし、実際に救急現場に直面した際に正しい心肺蘇生法を実行できる人はそう多くはない。そのような状況を改善するためにその場で心肺蘇生法をサポートするシステムを作成した関連研究がいくつか存在する。それらの研究においては静的な状況においてしか評価実験が行われていない。しかし、実際の現場においては雑音の存在、患者の容態の変化が発生する。そのため、動的な状況、つまり現実的な状況で評価実験をするべきである。我々は評価実験において、50dB 及び 80dB のノイズと、タブレット上の画像の変化により患者の容態変化を模して現実的な状況を仮想的に作成した。そしてその状況において、教示を伴う CPR 中の周囲への状況認識能力と、教示の効果を確かめるために「音声教示」、「視覚教示」、「音声とメトロノーム教示」、「音声と視覚教示」、「音声と視覚とメトロノーム教示」の結果を比較した。その結果、「音声教示」が現実的な状況に置いての CPR サポートに向いているという結果が得られた。

キーワード: 救急医療、心肺蘇生法、胸骨圧迫、ウェアラブルセンサ、スマートウォッチ

Evaluation of the Teaching Method That Takes Into Account a Realistic Situation Towards Realization of the Place Teaching System for Cardiopulmonary Resuscitation

KODAI YAMAMOTO^{†1} REN OHMURA^{†1}

Abstract: On serious accidental situations, such that there is a cardiac arrest patient in a city, giving quick cardiopulmonary resuscitation (CPR) by a bystander increases the resuscitation probability significantly. However, we cannot always expect that a person who can perform correct CPR exists on the location. There is a related research in order to improve it. These studies are the evaluation experiment in a static situation. However, the actual field is a dynamic situation (for example, noise, condition change of the patient). Therefore, it should be performed an evaluation experiment in a dynamic situation. We have created a realistic situation by preparing “noise of 50dB and 80dB” and “condition changes in the patient by the change of the image on the tablet” in the evaluation experiment. We compared the six teaching method in realistic situation. As a result, result obtained that the voice instruction is the best.

Keywords: Emergency medical care, Cardiopulmonary resuscitation, Chest compressions, Wearable sensor, Smart watch

1. はじめに

救急医療の現場において、患者が心停止状態に陥った場合、周囲にいる人（バイスタンダー）が心肺蘇生法（CPR）を実行することにより蘇生率を飛躍的に高めることができる。具体的な数値としては、心停止後、1 分以内に心肺蘇生法が実行した場合は 90% 以上の蘇生率となるが、その後 1 分経過毎に 7 から 10% ずつ低下していき、心停止から 8 分経過した時点での蘇生率は約 20% となるため、ほぼ蘇生の見込みが無くなってしまふ [1]。また、現在公表されている最新の救急車平均到着時間は約 8.6 分であり、その時間は年々増加傾向にある [2]。そのため、救急現場におけるバイスタンダーによる心肺蘇生法の実施は今後ますますその重要性が増加する。しかし、心肺蘇生法の訓練の機会の少なさから、実際に現場に直面した際に正しい心肺蘇生法を実行できる人はそう多くないと考えられる。

日本赤十字社（JRC）の心肺蘇生法のガイドラインによって基準が示されている [3]。

- 患者の胸部が 5cm 以上沈みこむ強さ
- 毎分 100 回以上のスピード

また、ガイドラインにおいて実行者の肘が胸部に対して真っ直ぐ伸びている姿勢が推奨されている。CPR をサポートするシステムにおいてはこれらを認識し、間違っていた場合にはそれに対する教示を行わなくてはならない。

CPR サポートシステムについての関連研究がいくつか存在する。雨宮らはスマートフォンを用いて CPR をサポートするシステムを開発した [4]。彼らは聴覚（音）と触覚（バイブ）による教示が CPR サポートにおいて有効であると示した。Gruenerbl らは、スマートウォッチを使用した CPR サポートシステムを開発した [5]。彼らの教示方法は画像を使用した視覚的なものであり、そのシステムを使用したところ CPR が改善されることが示された。Zhang らは、無線ネットワーク技術を利用した CPR サポートシステムを開

^{†1} 豊橋技術科学大学
Toyohashi University of Technology

発した[6]. この研究は、圧力センサ、加速度センサ、ECG 測定器から構成されるモジュールを使用する. このモジュールから無線によってサーバーへセンサから取得されたデータが送信され、サーバーはそのデータを解析して CPR 実行者へ結果をフィードバックするシステムである. また、PocketCPR という製品が存在する[7]. これは胸部の上に置いて使用する製品であり、CPR 実行者がその上から圧迫を行うことで押し込みが正しいかをフィードバックを行う. しかし、これらの研究においてはあくまでも実験的な、性的な状況でしか評価実験が行われていない. 実際の現場においては患者の容態変化や、周囲の雑音等が存在する. 1 次救命処置のフローには患者に変化が現れ、呼吸が回復したり、心臓が動き始めたことが確認された場合には回復体位へ移行することが定められている. そのため、CPR 実行者は CPR に集中するだけでなく周囲の状況変化に気付く必要がある. また、工場等の雑音が大きい場所においては CPR 実行者がシステムからの教示を認識できない可能性がある.

そのため、本研究においては、CPR をサポートするシステムを開発し、教示のパターンを複数用意する. そして、評価実験において、現実的な状況を考慮した条件設定を行い、その条件において、教示を伴った CPR を実行する. 最終的に評価実験の結果から現実的な状況においてどの教示が有効なのかを考察する.

2. 予備実験

我々は、腕に装着したウェアラブルセンサによって正しい CPR が認識できるかを調べるため、また、認識のための閾値を決定するために予備実験を行った. 予備実験には図 1 に示される、株式会社 ATR-Promotions 社によって開発された加速度計とジャイロを有するセンサである WAA-06 を使用した. また、心肺蘇生法訓練用人形として図 2 に示される株式会社ヤガミ社より発売されている JAMY-P を使用した. 心肺蘇生法訓練用人形は十分に胸が圧迫された場合に、クリック音が鳴る. 我々は両手首から加速度データを取得する際に、得られたデータが正しい押し込みであるかそうではないかを定義するためにそのクリック音を利用した.

図 3 は心肺蘇生法訓練用人形から連続的にクリック音が鳴る、つまり圧迫が適切な心肺蘇生法を行った時の合成加速度を示している. 合成加速度は以下の式により算出される.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

る.

また、図に示されているグラフにはローパスフィルターにより平滑化された後の値を示している.

図 4 は心肺蘇生法訓練用人形からクリック音が鳴らない、つまり不適切な心肺蘇生法を行った時の合成加速度を示し

ている. また、テンポについては図 4 または図 5 より、ローパスフィルターを通して平滑化した結果、周期毎の波形がほぼ正弦波の形で現れることが確認できた. そのため、一般的な周期の認識手法(具体的には波形が最小値を示してから次に最小値を示すまでの時間を一周期とする)を用いてテンポの認識を行う.



図 1 WAA-006



図 2 JAMY-P

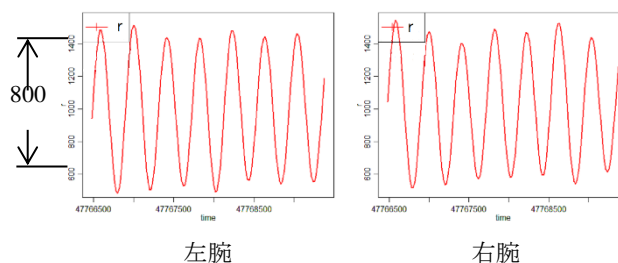


図 3 適切な圧迫を行った場合の合成加速度

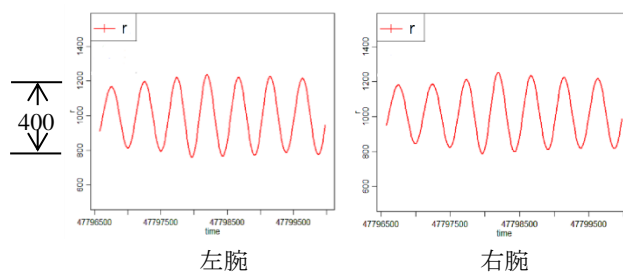


図 4 不適切な圧迫を行った場合の合成加速度

これらの結果から我々は以下の教示のための条件を設定する.

- 圧迫の強さに関しては、合成加速度の大きさによって判定を行い、それが 800mg 未満であれば、システムは強さを高めるために教示を行う

†1 豊橋技術科学大学
 Toyohashi University of Technology

- テンポに関しては、日本赤十字社のガイドラインに従い、1分に100回の速度で押し込まれていないことが確認された場合に押し込み速度を上げるために教示を行う

3. CPR 認識手法

前節で示した結果を使用してアルゴリズムを設計する。図5にアルゴリズムのフローチャートを示す。ウェアラブルセンサから加速データを0.02秒毎に受信し、そのデータをローパスフィルターにより平滑化を行う。その後、システムは判定部に蓄積されたデータを受け渡して、教示が必要かどうか判定を行わせる。以下にアルゴリズムの詳細を示す。

- 強さ判定アルゴリズム
 - Step1. 合成加速度の振幅を計算する
 - Step2. 振幅が800以上の場合は何も行わない
 - Step3. 振幅が800未満であれば圧迫強さを改善させるために、教示を行う
- テンポ判定アルゴリズム
 - Step1. ピークを検出することで1回の押し込みを検出する
 - Step2. 5回分の押し込みにかかる時間を取得する
 - Step3. 時間が3秒以下であれば何もしない
 - Step4. 時間が3秒を超過する場合はテンポを改善するために教示を行う

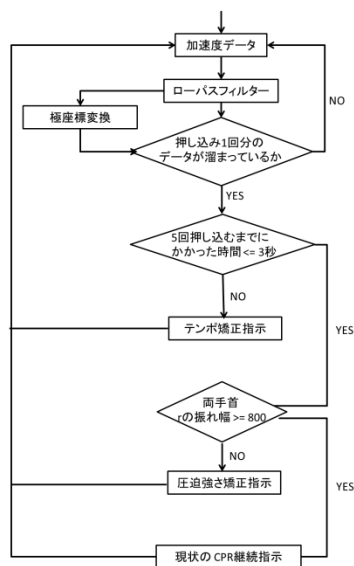


図5 フローチャート

4. 教示方法

我々は教示方法毎の評価実験の結果を比較するために、5

種類の教示を行うことが可能なアプリケーションをスマートフォンとスマートウォッチを用いて作成した。システムはスマートウォッチを腕に装着し、スマートフォンをCPR実行者に見える位置に置いて使用する。なお、教示システムは前節で示されたアルゴリズムを元に教示を行う。以下に各教示についての詳細な説明を記載する。

1. 音声教示

この教示方法では、音声によるCPRのサポートを行う。音声教示は、4つの音声教示パターンを持っている。

 - システムが起動した時：「教示を開始します」
 - 力が弱い場合：「もっと強く押ししてください」
 - テンポが遅い場合：「もっと早く押ししてください」
 - 問題が無い場合：「そのまま継続してください」

この教示の場合はスマートウォッチは単なる加速度計として用い、音声はスマートフォンから発せられる。
2. 視覚教示

この教示方法では、スマートウォッチとスマートフォン上に画像表示させる視覚的なCPRサポートを行う。表示される画像以下の図6,7,8である。図6のように中心部が緑色の画像が表示された場合は適切な押し込みであることを示す。図7のように中心部が赤色の画像が表示された場合は押し込みが足りないことを示す。また、テンポに関しては直接的な教示はされないが、周囲の色を図8、または図9のような青色に変化させた後に黒に変化させることを交互に繰り返すことで1分間に100回のテンポをメトロノーム的に示す。



図6 力適切時画面

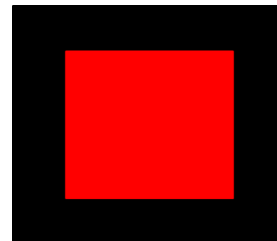


図7 力不適切時画面

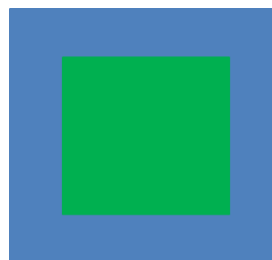


図8 力適切時画面2

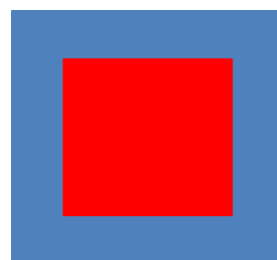


図9 力不適切時画面2

3. 音声とメトロノーム教示

この教示方法では、前述の音声教示に加えて1分間に100回のテンポを示すメトロノーム的な音流れる。CPR実行者は音声による教示だけではなく、その音を聞いてテンポを矯正することが可能である。

†1 豊橋技術科学大学
 Toyohashi University of Technology

4. 音声と視覚教示
 前述した音声教示と視覚教示を組み合わせて同時に行う教示方法である。
 5. 音声と視覚とメトロノーム教示
 前述した音声とメトロノーム教示と視覚教示を組み合わせて同時に行う教示方法である。
- これら5つの教示方法により CPR 実行者のサポートを行う。

5. 評価実験

前節にて解説をした CPR サポートシステムを用いて評価実験を行った。被験者は20歳から38歳の男性10人である。1人は心肺蘇生法に関する訓練を受けており、もう1人は一度も心肺蘇生に関する訓練を受けたことが無く、それ以外の被験者は免許取得の際に講習を受けたのが最後である。実験の方法として、1人の被験者は1分間の胸骨圧迫を合計12セット行う。これは、教示が無い状態での胸骨圧迫、前節にて解説した5種類の教示を受けた状態での胸骨圧迫で合わせて6種類、また、50dB(オフィス内程度)と80dB(工場内程度)の雑音を発生させた状態で実験を行うため、合計12セットとなる。最初に無教示の50dBと80dBを行った後は、被験者はどの教示が来るかわからないようにランダムに教示を選択する。また、胸骨圧迫は心臓蘇生法訓練用人形に対して行うのだが、患者の頭部と右腕を模するために人形の周囲にタブレットを配置し画像を表示する。各セットが始まると1分間の間に頭の画像が9回、右腕の画像が9回、合計18回変化する。画像の変化のパターンは図10に示されている。本評価実験に置いては正しい押込みで胸骨圧迫がされた回数、1分間の胸骨圧迫の回数、周囲の画像変化に反応した回数、変化してから反応するまでにかかった時間を測定する。正しい押込みの回数は人形に取り付けられたカウンターによって、1分間の押込み回数は動画を確認することにより人力でカウントした。反応回数、反応時間はタブレットにタッチすることでカウント及び時間の算出をする機能を持たせることで測定した。

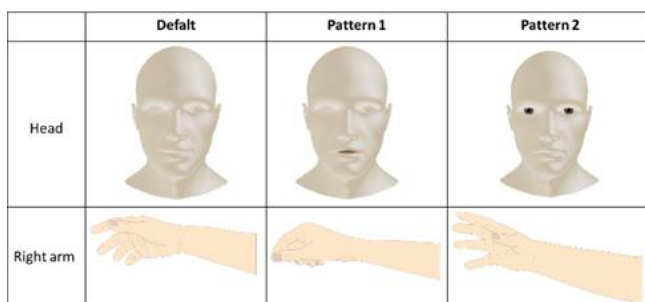


図10 画像の変化パターン

また、各セット毎に教示の主観的な評価を得ることを目的としてアンケートを行った。アンケート項目は以下の通りである。

- ① 強さについて、今回のシステムの教示方法のわかりやすさを10点満点で評価してください。
 (10点：非常にわかりやすかった, 0点：まったくわからなかった)
- ② 強さについて、自分の動作を修正することが容易であったかどうかを10点満点で評価してください。
 (10点：非常に修正しやすかった, 0点：まったく修正できなかった)
- ③ リズムについて、今回のシステムの教示方法のわかりやすさを10点満点で評価してください。
 (10点：非常にわかりやすかった, 0点：まったくわからなかった)
- ④ リズムについて、自分の動作を修正することが容易であったかどうかを10点満点で評価してください。
 (10点：非常に修正しやすかった, 0点：まったく修正できなかった)
- ⑤ 胸骨圧迫を行ないながら、周囲や患者の状況を意識することができましたか？
 (10点：十分に意識することができた, 0点：まったく意識できなかった)

これらに加えて自由回答の欄も設けた。

以下の表1に条件毎の適切な押込み回数を示し、表2に条件毎の1分間の押込み回数を示す。また、表3,5に条件毎の頭または右腕への反応回数を示し、表4,6には条件毎の頭または右腕への反応するまでの時間を示す。表7には条件毎のアンケートの得点を示す。示されている値は全被験者の平均となっている。

表1 適切な押込み回数の平均

	適切な押込み回数
無教示(50dB)	106.9
無教示(80dB)	117.4
音声教示(50dB)	129.5
音声教示(80dB)	136.6
視覚教示(50dB)	107.6
視覚教示(80dB)	108.9
音声メトロノーム教示(50dB)	133.4
音声メトロノーム教示(80dB)	110.2
音声視覚教示(50dB)	134.1
音声視覚教示(80dB)	123.4
音声視覚メトロノーム教示(50dB)	114.0
音声視覚メトロノーム教示(80dB)	116.9

表 2 1 分間の押込み回数の平均

	押込み回数
無教示(50dB)	144.0
無教示(80dB)	143.3
音声教示(50dB)	148.2
音声教示(80dB)	149.2
視覚教示(50dB)	139.9
視覚教示(80dB)	139.9
音声メトロノーム教示(50dB)	143.2
音声メトロノーム教示(80dB)	137.0
音声視覚教示(50dB)	143.8
音声視覚教示(80dB)	142.1
音声視覚メトロノーム教示(50dB)	138.8
音声視覚メトロノーム教示(80dB)	144.2

表 5 反応回数の平均 (腕)

	反応回数
無教示(50dB)	5.1
無教示(80dB)	6.2
音声教示(50dB)	7.3
音声教示(80dB)	7.5
視覚教示(50dB)	7.0
視覚教示(80dB)	7.4
音声メトロノーム教示(50dB)	7.6
音声メトロノーム教示(80dB)	7.7
音声視覚教示(50dB)	6.5
音声視覚教示(80dB)	6.7
音声視覚メトロノーム教示(50dB)	7.3
音声視覚メトロノーム教示(80dB)	7.0

表 3 反応回数の平均 (頭)

	反応回数
無教示(50dB)	8.3
無教示(80dB)	8.5
音声教示(50dB)	8.9
音声教示(80dB)	8.9
視覚教示(50dB)	8.6
視覚教示(80dB)	8.7
音声メトロノーム教示(50dB)	8.7
音声メトロノーム教示(80dB)	8.5
音声視覚教示(50dB)	8.4
音声視覚教示(80dB)	8.2
音声視覚メトロノーム教示(50dB)	8.6
音声視覚メトロノーム教示(80dB)	8.5

表 6 反応するまでの時間の平均 (腕)

	反応時間[秒]
無教示(50dB)	1.73
無教示(80dB)	1.93
音声教示(50dB)	1.81
音声教示(80dB)	1.87
視覚教示(50dB)	1.98
視覚教示(80dB)	1.90
音声メトロノーム教示(50dB)	1.98
音声メトロノーム教示(80dB)	1.88
音声視覚教示(50dB)	1.85
音声視覚教示(80dB)	1.90
音声視覚メトロノーム教示(50dB)	1.81
音声視覚メトロノーム教示(80dB)	1.76

表 4 反応するまでの時間の平均 (頭)

	反応時間[秒]
無教示(50dB)	1.83
無教示(80dB)	1.88
音声教示(50dB)	1.81
音声教示(80dB)	1.86
視覚教示(50dB)	1.92
視覚教示(80dB)	1.88
音声メトロノーム教示(50dB)	1.93
音声メトロノーム教示(80dB)	1.85
音声視覚教示(50dB)	1.86
音声視覚教示(80dB)	1.82
音声視覚メトロノーム教示(50dB)	1.86
音声視覚メトロノーム教示(80dB)	1.77

表 7 アンケート結果の点数の平均

	①	②	③	④	⑤
無教示(50dB)					6.2
無教示(80dB)					6.8
音声教示(50dB)	7.7	7.6	7.5	7.3	7.7
音声教示(80dB)	6.6	6.6	6.6	6.0	7.2
視覚教示(50dB)	7.3	6.8	6.4	6.6	6.8
視覚教示(80dB)	6.5	6.1	5.1	5.3	6.9
音声メトロノーム教示(50dB)	7.4	7.3	7.0	6.7	7.4
音声メトロノーム教示(80dB)	6.0	5.9	5.9	6.0	6.4
音声視覚教示(50dB)	7.5	6.9	7.8	7.2	7.3
音声視覚教示(80dB)	7.5	6.7	6.8	6.3	6.0
音声視覚メトロノーム教示(50dB)	7.5	7.6	7.7	6.9	7.2
音声視覚メトロノーム教示(80dB)	7.7	7.7	7.9	7.8	6.3

表 1, 2 より, 無教示の時点でも基準に対して適切な押込みが十分に行われていることが確認できる. これの理由として, 講習を受けて十分に心肺蘇生法について熟知している被験者, 免許取得の際に受けた講習を覚えていた被験者数人が(つまり, 教示を必要としなかった被験者), 各セットで 150 回以上の押込みを達成していたためである. しかし, 一度も講習を受けたことが無い被験者は無教示時の正しい押込み強さの回数が 30 回以下, 免許取得の際に受けた講習の内容を忘れてしまっていた被験者は無教示時の正しい押込み強さの回数が 100 回未満であった. それらの被験者は教示を受けることにより押し込み強さが改善され, 正しい押込みを 100 回以上行えるようになった. また, 1 分間の押込み回数 (テンポ) に関しては, 全ての被験者が 100 回以上を達成できていた. これの理由として, 胸骨圧迫は早く行うものであるというイメージを持っていたからであると考えられる. この表 1 と表 2 の結果に置いて最も注目すべき点は, 総押込み回数に対しての適切な強さの押込みの回数の占める割合である. 視覚教示の場合は 80% に満たないが, 音声教示(50dB,80dB)と音声視覚教示(50dB,80dB)の場合は 87% 以上となった. 最も高いのは音声視覚教示(50dB)の 93% であるが, これは音声がかき消えて修正できなかった場合にでも画面を見ることで教示が確認できるからであると考えられる. アンケートの自由回答にもそのような回答があったことも確認できた. しかし, 表 7 のアンケート結果を確認すると, わかりやすく矯正しやすいと感じた教示に音声視覚メトロノーム教示 (50dB,80dB) がある. 総押込み回数に対する適切な押込みの割合が高くないのにも関わらずこのような結果になっている理由として, 教示が複数あることにより教示に集中し辛くなる. それにより教示を理解しないまま胸骨圧迫を行い, 教示が複数あったから自分はきっと矯正できていただろうと錯覚することによる回答結果であると考えられる.

表 3, 4, 5, 6 の反応回数と反応時間であるが, 全体的に十分な反応回数及び反応時間が得られていることが確認できる. 頭と腕両方の反応回数と反応時間を考慮した場合に周囲の状況に気づきやすい教示方法は, 音声教示(50dB) または, 音声視覚メトロノーム教示(80dB)であると言える. 音声視覚メトロノーム教示(50dB,80dB)の結果が良かった理由として, 前述した通り教示のパターンが 3 種類存在することにより, どれかの教示を聞き逃したり見逃したりしても他の教示があるから大丈夫だという安心感により特定の教示に集中し辛くなったことが考えられる. それにより全体を見渡しやすくなって周囲の状況の変化に気づきやすくなったのであると考えられる.

表 7 のアンケート結果を確認すると, 80dB 環境下の音声がかき消える教示についての回答は, 教示のわかりやすさ, 矯正のしやすさ共に低い回答結果になった. 低い回答結果にも関わらず 音声教示(80dB)が高い正解率を出せた理由と

して被験者の努力により微かに聞こえる教示の音声から推測することができたからであると考えられる. 今回作成したアプリケーションにおいては音声教示は非常にシンプルな内容となっている. そのため雑音環境下においても推測が可能であったと考えられる. そのため, 雑音環境下においての使用を考えた場合には, シンプルな教示にすることで雑音の影響を減らすことが可能だと推測される.

これらの結果から総合的に判断すると, 現実的な状況に適している教示方法は音声教示であると結論付ける.

6. まとめ

本研究に置いて我々は, 現実的な状況を考慮した場合の CPR サポートシステムの教示方法を評価した. その結果音声教示が総合的に高い数値を出すことができたため, 音声教示が現実的な状況に適していると考えられる. 今後は, 疲労により教示の必要性が増すため 1 セットの時間を長くした実験, 全く講習を受けたことのない被験者を増やした評価実験を行っていき, 現実的な状況において, より多くの人に適した教示方法を調査していく.

謝辞 本研究のためにご協力頂いた皆様に, 謹んで感謝の意を表す.

参考文献

- [1] “循環器疾患の救急医療
http://www.syg.co.jp/public/jcs_ps3rd/index03.html
- [2] “平成 27 年版 救急・救助の現況”.
http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h27/12/271222_houdou_2.pdf
- [3] <http://www.jrc.or.jp/activity/study/safety/airway>
- [4] 雨宮智浩, 前田太郎, “スマートフォンを用いた胸骨圧迫 CPR 動作の教示システムの開発と評価”, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol25 No4, pp.819-825
- [5] A. Gruenerbl, G. Pirkl, E. Monger, M. Gobbi, P. Lukowicz, “Smart-Watch Life Saver: Smart-Watch Interactive-Feedback System for Improving Bystander CPR”, ISWC '15, pp.19-26, OSAKA, JAPAN, September 2015.
- [6] G. Zhang, J. Zheng, H. Lu, C. Wang, Y. Wang, and T. Wu, “Design and implementation of a wireless chest compression monitoring and feedback system”, In Proceedings of the 8th International Conference on Body Area Networks (BodyNets '13), pp. 436-439, 2013
- [7] <http://www.pocketcpr.com/>