

O-018

CPR 訓練システムを使用した胸骨圧迫姿勢における 手の置き方の分析

Influence analysis of hand placement during chest compressions using a CPR training system

山上泰樹* 皆月昭則*

釧路公立大学*

キーワード: CPR 訓練システム, Azure Kinect DK, 胸骨圧迫, 心肺蘇生法

1. はじめに

心肺停止という私たちの日常に潜むリスクへの対策として、心肺蘇生法（以下 CPR）という救命手法がある。しかし、他者の心肺停止の場面に遭遇して、CPR を適確に実行できる市民は少数であり、CPR の正しい手法については未解明な部分が多く、明確な科学的根拠はない。本研究で開発した CPR 訓練システムは Azure Kinect DK を用いて、正面と側面の 2 方向から、CPR における胸骨圧迫時の上肢・下肢の姿勢を可視化した。姿勢を意識させる CPR 訓練システムの開発によって、胸骨圧迫時の姿勢と圧迫（除圧を含む）の客観的評価を可能にした。訓練システムによる胸骨圧迫時の姿勢評価と、脈拍等のバイタルデータなどの指標をもとに、CPR 姿勢の正しい姿勢を解明する前段階として、手の組み方において利き手の上下の変更が及ぼす影響について分析を行った。

さらに、CPR 訓練システムは市民を対象として、CPR の実技教育・訓練を普及すると同時に、訓練記録データをもとに未解明部分が多い CPR 姿勢の適切な姿勢の形（カタ）の追究を目的としている。先行研究において未解明であった、CPR 時の胸骨圧迫を行う適切な姿勢を解明するアプローチとして、CPR 姿勢を部位ごとに分割し、それぞれの部位について科学的根拠のある適切な姿勢の分析を進めた。

2. CPR 姿勢の科学的根拠についての現状

現在、CPR の適切な姿勢として推奨されているのは、図 1 に示す日本蘇生協議会監修の JRC 蘇生ガイドライン（医学書院）にて推奨されている方法である。

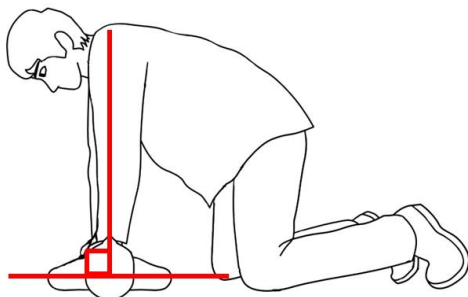


図 1 CPR の基本姿勢（イメージ図）

Influence analysis of hand placement during chest compressions using a CPR training system

Taiki Yamakami, Akinori Minaduki
Kushiro Public University Minaduki lab

ガイドラインの方法の中には、科学的根拠の確実性が低いものが含まれており、CPR の適切な姿勢については未だ解明されていないのが現状である。

3. CPR 訓練の NUI アプリケーション開発

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用いた Azure Kinect DK（以下 Kinect）は、Windows PC に接続する NUI（Natural User Interface）用入力センサーデバイスである。CPR 訓練時における姿勢の動作（形；カタ）の抽出、そして判定アルゴリズムの開発には、CPR を行う際に身体全体を入力検知して、ユーザーインターフェース化することが必要不可欠である。そのため、本研究では Kinect を使用して、CPR 訓練時の身体全体を捉えて、いわば身体全体を入力検知することで、全体から部分（肘、肩など）の変動を抽出して、CPR の姿勢の形（カタ）の正誤判定を行うための Kinect を用いた NUI アプリケーションを実装した訓練システムを開発した。

4. システムのインターフェース概要

インターフェースでは、AR（拡張現実）表示で被験者の訓練姿勢を可視化し、分析可能なシステムを開発した。また、Kinect の Body Tracking 検知データについては解剖学的知見に依拠した処理をした。よって、本システムはモーションキャプチャーなどでは必要とされるウェアラブルデバイスの装着をしなくても、CPR の正しい（あるいは誤った）姿勢の判定が導出可能である。図 2 のように正面の Kinect 表示インターフェースは、リアルタイムで左右の肘・肩の検知・評価を導出し、訓練者に認識しやすいように点数変換（100 点法）表示した。コメント表示は各関節の状態に応じて表示し、矢印マーカーのインターフェースは誤った姿勢を指摘し、修正すべき箇所に対して表示している。

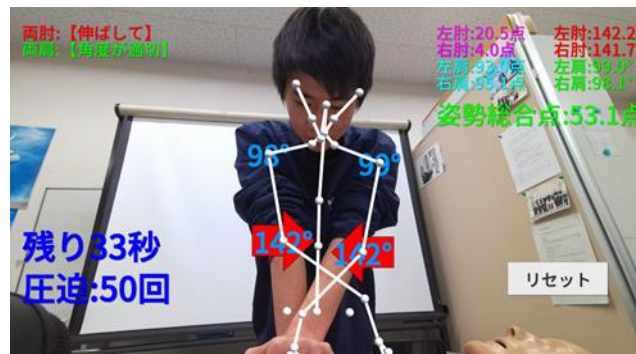


図 2 正面の Kinect の AR 表示

訓練時間は 1 分間で、画面左下に訓練の残り時間のカウントダウンが表示される。また、圧迫回数については、CPR 訓練用人形を適切な深さ (約 5 cm) まで圧迫・除圧した際に発生するクリッカー音 (金属音) 2 回を単一指向性マイクによって検知し、2 回のクリッカー音で 1 回の圧迫回数として計数処理している。

図 3 のように側面の Kinect 表示インターフェースでは、胸 (胸部)、へそ (腹部)、お尻 (臀部) の検知・評価をリアルタイムで実行処理して、正面インターフェースと同様に点数やコメント、修正すべき方向への矢印マーカーのインターフェースを表示した。これらのインターフェースをゲームエンジンである Unity を使用した NUI アプリケーションとして実装している。



図 3 側面の Kinect の AR 表示

5. 圧迫回数の係数処理と姿勢総合点との相関

本システムにおいて実装した圧迫回数の計数処理は前述の通り、CPR 訓練用人形を適切な深さまで圧迫した際に発生する圧迫・除圧時のクリッカー音の合計 2 回を単一指向性マイクによる音声入力で検知し、圧迫回数 1 回として計数処理している。このクリッカー音について、適切な深さに達していた場合とそうでない場合では音圧に差異が生じ、本システムではその差異を利用して、適切な音圧 (平均 77.9dB) のみを圧迫回数として音圧認識している。拙研究室の過去に実施した研究において、この圧迫回数と姿勢総合点の間には正の相関関係があることが証明されている。

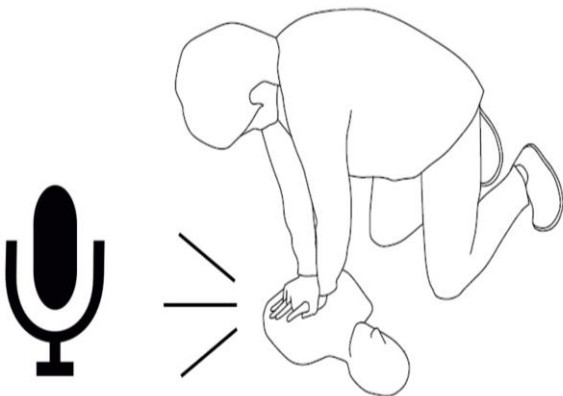


図 4 圧迫回数の音圧認識と計数処理イメージ

6. 圧迫姿勢と手の置き方(手のカタ)の関係性

本研究で開発した NUI アプリケーションの訓練時の特徴は、訓練者自身の CPR 姿勢をとらえながら、正しい CPR 訓練を自らの姿勢を修正しながら学習することが可能である。本システムを用いた従来の研究ではこの特徴を用いて、正面と側面から肘,肩,腰,胸の位置と角度について分析し、CPR を行う姿勢の基本形態のカタについて追究してきた。これまで分析を行っていなかった CPR の重要な要素の一つとして、手の置き方 (以下、手のカタ) が挙げられる。従来、手のカタに着目した CPR の効果への影響について言及されている科学的根拠に基づいた知見はなく、手のカタによって CPR の姿勢にどのような影響があるかは未解明であった。一方で、実際に CPR 訓練を行う際に、訓練者が手の部分をよく気にしており、訓練の途中で置き方・組み方を変える訓練者も見受けられてきた。

そこで、CPR 訓練を行う際に重要な部位であると考えられる手のカタについて、図 5 のように利き手の上下の変更が及ぼす影響について、訓練システム (正面・側面) からの姿勢総合点と運動負荷 (脈拍の増加量) の 2 つの視点から分析した。本実験は第 1 回実験として述べる。

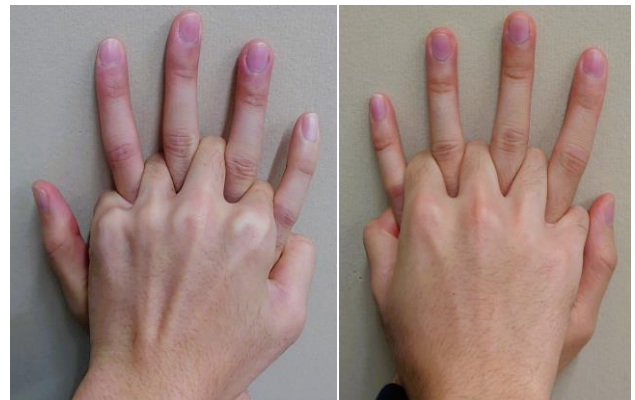


図 5 手のカタ (左:利き手を下 右:利き手を上)

7. 第 1 回実験の実験方法

第 1 回実験は 2023 年 2 月に 30 名 (18~24 歳) を対象として行った。実験方法の概要は以下の図 6 の通りである。

- ① 1 回目の血圧・脈拍測定
- ② 利き手を上にした CPR 訓練(1)
- ③ 2 回目の血圧・脈拍測定
- ④ 休憩(10 分以上)
- ⑤ 3 回目の血圧・脈拍測定
- ⑥ 利き手を下にした CPR 訓練(2)
- ⑦ 4 回目の血圧・脈拍測定

図 6 第 1 回実験の実験方法と手順

CPR は運動負荷が大きく、システムを使用した 1 分間の訓練でも相当の運動量が必要とされる。心停止の場面に遭

遇して救命活動を行う際、救急車が現場へたどり着くまで平均 8 分かかると言われており、救急隊へ心停止者を引き渡すまでの 8~10 分間以上、市民が CPR を実行することを考慮すると、より運動負荷を小さくすることが重要である。

第 1 回実験では CPR 訓練時に手のカタを変更することで、姿勢や運動負荷に変化があるのかを分析した。

図 6 の①,③,⑤,⑦については、運動時の負荷を表す指標として脈拍の増減を使用したため、CPR 訓練の前後で血圧・脈拍測定を行った。訓練前と訓練後の脈拍数を比較し、その増加量について、利き手を上にした場合と下にした場合の差を求めることで、どちらがより小さい脈拍増加量だったのかを分析した。

図 6 の②,⑥は CPR 訓練システムを使用した訓練を行い、利き手を変更した (1) (2) の訓練で正面・側面から姿勢総合点を分析した。

図 6 の④については脈拍による運動負荷の算出を行う上で、安静時の脈拍数を基準とするため、1 回目の利き手を上にして行った訓練による脈拍の上昇を下げるという目的のために 10 分以上の休憩を設けた。



図 7 第 1 回実験（画面は Kinect の AR 表示）

8. 第 1 回実験の実験結果

開発した CPR 訓練システムでは、CPR 時の正しい姿勢を客観的に評価することが可能である。第 1 回実験では新たに胸骨圧迫時の正しい姿勢を追究するため、圧迫を行う手のカタに着目した。

本研究では手のカタが CPR を正しい姿勢で行う際にどのような影響があるのかを CPR 訓練システムでの姿勢評価点・圧迫回数と運動負荷の変化を比較分析し、それぞれの関係から統計学的な結果を導出した。

表 1 は 30 名を対象に行った第 1 回実験の結果である。正面・側面のシステムにおけるそれぞれの姿勢総合点数と訓練前後の脈拍の増減値について平均を算出し、その平均の差についてウィルコクソンの符号付順位和検定によって有意確率を求めた。

	1 回目	2 回目	差	有意確率	有意差
脈拍差の平均(回/1分)	9.8 回	13.4 回	3.6 回	P<0.05	有意差あり
側面総合点の平均	68.1 点	59.9 点	8.2 点	P<0.01	有意差あり
正面総合点の平均	80.1 点	74.0 点	6.14 点	P<0.1	有意傾向あり

表 1 第 1 回実験の実験結果

表 1 で示されているように、脈拍と側面システムの姿勢総合点の 2 つの項目で 1 回目（利き手を上にした訓練）と 2 回目（利き手を下にした訓練）の CPR 訓練の平均値には、有意差があることが明らかとなった。また、正面システムの姿勢総合点については有意差は確認できないものの、有意傾向を示しているという結果が得られた。

結果が示すように、脈拍については平均 3.6 回の運動負荷の差があり、側面姿勢総合点については平均 8.2 点の差が生じ、正面姿勢総合点についても平均 6.1 点の差が生じていた。以上の結果から、利き手を上に置いた場合は利き手を下に置いた場合と比較して、良好な CPR を実行できることが明らかとなった。

この結果から、CPR の最適なカタを解明する初期段階の実験として、CPR 時の手のカタとして、利き手を上にしたければならないということが判明した。

9. 第 1 回実験の結果による新たな課題

第 1 回実験を行い得られた結果は良好であったが課題は、利き手を上にした場合の訓練を先に行い、利き手を下に変更した訓練を行うという順序が各種項目に及ぼした影響や、同日中に 2 回の訓練を行ったため、血圧や脈拍に対しての影響を再検討する必要がある。

検証が必要な項目としては、利き手を上にした場合の訓練を先に行った後に、利き手を下に変更した訓練を行うという実験方法によって、姿勢総合点や脈拍についての有意差が生まれたのではないかと確認が必要である。

姿勢総合点については、訓練による運動負荷が大きいため、同日中に行った訓練であれば、1 回目の訓練による疲労などが 2 回目の訓練に対して、影響を及ぼすことが考えられる。一方で、2 回目の訓練についても、訓練を 1 度経験しているために、訓練者が姿勢を学習し修正してることが可能なため、1 回目の訓練よりも正面の姿勢総合点が上がりがやすくなる傾向があったのではないかと課題が導出された。

血圧・脈拍についても 1 回目の訓練後に脈拍を正常時と同等まで下げてから行ったが、1 回目の訓練と 2 回目の訓練を同日に実施しているため、2 回目の訓練時に疲労が影響している可能性があるかと推測された。

より正確なデータを所得するには、第 1 回実験の結果についての検証として、訓練の順序を入れ替えた上で、それ

ぞれの訓練を別日にするなどの対策を取った実験が必要となった。

10. CPR 時の最適な手のカタ解明の検証

第1回実験によって判明した CPR 時の手の置き方に関する結果について、その結果の有効性について検証を進めた。検証のために新たに実施する実験（以下第2回実験）は2023年5月から6月にかけて、33名（18歳～23歳）を対象として実施した。

第2回実験では、手の置き方についての調査に加えて、新たに被験者の体組成データ、背筋力、握力などを計測し、CPR 姿勢の分析に向けて様々な要因について検討した。

11. 第2回実験の方法と変更点

第2回実験において実施する実験方法と手順は以下の表2の通りである。

血圧・脈拍測定などの身体的データの計測は、看護師資格を有している医療者による監修の下で実施した。血圧脈拍を計測する上での注意点としては、計測前2時間以内の運動と食事を控えること、測定時の腕は原則同じ方の腕を使用すること、計測時の血圧に類似した緊張による数値上昇に十分配慮した計測を行うことなどに留意した。

第1回実験からの変更点と新たに加えた実験項目については以下に述べる。

実験日	実験項目
1日目 (各種基準データ計測)	①安静時の血圧・脈拍測定 ②体組成計による体重・筋肉量の計測 ③握力測定
2日目 (実験日①)	①利き手を下にした CPR 訓練 ②訓練後の血圧・脈拍測定
3日目 (実験日②)	①利き手を上にした CPR 訓練 ②訓練後の血圧・脈拍測定

表2 第2回実験の方法・概要

実験方法の1点目の変更点としては、第1回実験においては利き手の上下を変更して行った計2回の訓練データを比較するため、被験者は1日で2回の訓練を経験した。脈拍を扱うため、訓練の間で休憩を挟み、脈拍を正常時の値まで戻すという実験方法であったが、第2回実験においては各種基準値計測日（安静時血圧・脈拍、握力、体組成データ）、実験日①（利き手を下にした CPR 訓練）、実験日②（利き手を上にした CPR 訓練）というように3日（実験②は1週間後に実施）に分けて実験を行うことで、安静時、訓練後の脈拍値を第1回実験時よりも正確なデータを取得した。

実験方法の2点目の変更点としては、第1回実験時は利き手を上にした場合を先に行ったため、第2回実験では利

き手を下に置いた場合の訓練を先に行い、順番を変更することで第1回実験の実験結果に変化が起こるかを検証し、第1回実験における結果の確認をした。

実験方法の3点目の変更点としては、第1回実験では利き手について、アンケートによって調査を行っていたが、第2回実験において利き手の判別はチャップマンテストを使用した。チャップマンテストは13項目の質問に対して、右手・両手・左手の3択から選択し、回答する方式のテストである。右手であれば1点、両手であれば2点、左手であれば3点と換算し、その全13項目での合計点によって利き手の判別を行う。実験時に実際に使用してチャップマンテストの設問は、以下の図8に記載の通りである。合計点数の算出法は右利き13~17点、両利き18~32点、左利き33~39点である。

- Q1 文字を書く手は？
- Q2 ドライバーを使う手は？
- Q3 栓抜きを使う手は？
- Q4 ボールを投げる手は？
- Q5 金槌を使う手は？
- Q6 歯ブラシを使う手は？
- Q7 マッチを持つ手は？
- Q8 消しゴムを使う手は？
- Q9 はさみを使う手は？
- Q10 ラケットを使う手は？
- Q11 絵を描く手は？
- Q12 ペンキを混ぜる手は？
- Q13 ボールを打つときにキャッチャー側の肩は？

図8 チャップマンテストの設問

第2回実験では新規検討・調査した項目として、握力、背筋力、筋肉量（両腕、両脚、体幹部）、体脂肪率、身長、体重、性別による重心位置の差異、座高、膝の開き方、膝以後の部位の位置関係、頭の位置の計11項目（14項目）について実験前段階の計測・観察を行った。以上の変更点と新たな実験項目を追加して、第2回実験を実施した。

12. 第2回実験の結果

第2回実験によって明らかになった結果は、以下に述べる。

第1回実験によって得られた適切な手の置き方について、「利き手を上にすべき」という結果の検証である。詳細な数値については表3にまとめた。結論としては、第2回実験においても第1回実験と同様の結果が得られた。実験で得られた姿勢総合点（正面・側面）と運動負荷（脈拍の増加量）について、利き手の上下を変更した計2回の訓練のデータについてウィルコクソンの符号付順位と検定を行い、平均の差に有意差があることが明らかとなった。この結果から、第1回実験において得られた「CPR 姿勢において、

利き手を上に置くべきである」という結果が検証された。

	1回目	2回目	差	有意確率	有意差
脈拍差の平均(回/1分)	13.5回	5.2回	8.3回	P<0.01	有意差あり
側面総合点の平均	62.8点	70.0点	7.2点	P<0.05	有意差あり
正面総合点の平均	73.4点	81.5点	8.1点	P=0.1	有意傾向あり

表3 第2回実験の結果

表3には第2回実験の結果について示す。第1回実験において有意差ありと判明した脈拍と側面システムの姿勢総合点について比較した。1回目のCPR訓練は「利き手を下」に、2回目のCPR訓練では「利き手を上」にして実施した結果である。検定方法はウィルコクソンの符号付順位和検定である。

脈拍の増減量の平均は、1回目の訓練では13.5回、2回目の訓練で5.2回となった。それぞれの平均の差は8.3回となり、この差について有意確率はP値が0.00061となり、P<0.01のため有意差ありと判明した。

側面システムにおける姿勢総合点の平均は、1回目の平均が62.8点、2回目の平均が70.0点、差は7.2点となった。この差について有意確率はP値が0.045になり、P<0.05より、有意差ありと判明した。

第1回実験において極めて高い有意傾向を示していた正面システムにおける姿勢総合点の平均は、1回目の平均が73.4点、2回目の平均が81.5点、差は8.1点となった。この差について、有意確率はP値が0.1になったため、有意差は確認できなかったが、有意傾向を示した。

第2回実験において判明したより詳細な結果については、登壇時に発表する。



図9 第2回実験（画面はKinectのAR表示）

また、第2回実験で実施したチャップマンテストの結果は、訓練者33名中26名(78.8%)が右利きに該当、7名(21.1%)が左利きに該当、両利きは0名であった。

本研究において行った2回の実験の観察結果として次の仮説が得られた。

1つは、CPRの手のカタとして「利き手を上」に置くことが重要であることが明らかとなったが、これは習熟度によって違いがあるのではないかと考える。未経験者やCPRが苦手な訓練者の場合、利き手側のみの腕力（筋力）で圧迫を行おうとするため、利き手を上に置いた場合に下の手（特に手首）を痛めてしまうか、力の伝達が不安定になっている様子だった。これらの観察知見をもとに、「利き手を上」にする場合の握り方として、上の手の手掌基部が下の手の甲に当たるように握りこむことが重要であると考えられる。

2つ目に、下にする手の指を密着させる必要性についての問題である。胸骨圧迫の際に手全体を当てるよりも、上から握りこんでいる手によって、下の手の指を浮かせるように下の手の手掌基部を胸骨部分に当てることで、力を分散させず一点集中で圧迫することができている様子であった。しかし、この知見についても性差や筋肉量・体重の個別性によって影響があるため、今後さらなる分析を進めていく。

3つ目に、本システムによって導出される数値について、正面総合点と圧迫回数は正規性が確認された。しかし、本研究においての実験サンプル数の問題や性差による影響の検討が必要のため、今回の実験ではノンパラメトリック手法を用いた。

13. 第2回実験における課題

第2回実験において、第1回実験時に判明した「利き手を上」に置かなければならないという実験結果の証明がされた。

その一方で、手のカタ以外の他の部位のカタについては第2回実験では姿勢の観察記録とデータ計測の段階にとどまっている。今後、第2回実験の結果をもとに、新たに解明すべき項目を抽出した上で、抽出項目に応じた実験を行っていく。

第2回実験において観察記録した項目の中で、今後の実験において実験を予定している項目は、CPR姿勢で地面につく膝の位置関係、頭の位置がCPR姿勢に及ぼす影響、筋肉量の優劣がCPRに及ぼす影響の3項目である。

14. 筋肉量データを使用したCPR姿勢解明

本研究において行った実験によって、CPRの適切なカタを解明する重要な項目としての手の置き方における利き手の上下の変更による影響について、利き手を上にすることで運動量を抑えながら、適切な姿勢を維持することが可能となることが明らかになった。本研究の今後の発展としては、CPRにおける姿勢について、部位別で実験検証を行い、こういった姿勢が適切であるのか、こういった姿勢がより運動量を抑えた胸骨圧迫を行えるのかを実験分析していく。

現在、分析を進めている項目の一部としては、CPRを实

行する際に力が入る体幹・左右の腕の筋肉量である。



図10 体幹・左右腕の筋肉量測定

特に背筋力、加えて全身筋肉量を計測し、CPR姿勢との関係性について検討を行っている。筋肉量が高い人と低い人の比較で、CPRにおける姿勢にどのような影響があるのかを解明することで、その差異を担保するためにどのような姿勢でどのような力の加え方をすれば、より良好な結果となるのかを実験していくことが新たな目的である。

また、第2回実験時に新規分析・検討を始めている計11項目（14項目）を始めとした、CPR姿勢に影響を及ぼすことが考えられる様々な要因についての分析・解明も進めていく。

15. おわりに

本研究ではCPRの適切な姿勢（形；カタ）を解明していく初期段階の研究として、胸骨圧迫を行う手に注目し、利き手の上下の変更がCPR姿勢全体に及ぼす影響について、訓練システムの姿勢総合点と運動負荷（脈拍の増加量）から解明した。結論としては実験の結果から、利き手を上に置くことで姿勢総合点と運動負荷の両方で優れた結果となることを明らかにした。

次段階の研究としては、CPR時の姿勢について、その姿勢を構成している各部位を要素として抽出し、それぞれの部位がCPR姿勢と圧迫回数にどのような変化をもたらすのか、運動量を低減するために部位ごとにどのようなカタが存在するのかを解明していく。また、1つの部位のみならず、隣り合う部位に及ぼす影響や、特定の部位が姿勢全体に及ぼす影響についてもさらに実験して解き明かしていく。

本研究はCPRという人命救助の最前線に関わる救命方法について、未解明である姿勢について解明していく地道な研究である。この研究が心停止に襲われた人々を救う一つの足掛かりになればと思い、地道でも確実に、CPRの適切な姿勢について解明していく。心停止は日常に潜むリスクである一方で、CPRによって対策ができるという側面もある。適切なCPR姿勢の解明によって、より多くの人命を救う一助となれるよう、今後も本研究を発展させていく。

16. 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2024年度基盤研究（C）科研費課題番号23K11336に採択されたテーマ「CPRにおける胸骨圧迫の最適な姿勢・動作の解明」の関連研究であり、国民の皆様はじめ関係各位に感謝いたします。また、第2回実験時に各種身体データの計測を監修していただいた釧路公立大学保健室の看護師である吉田幸子様、安田美幸様に感謝申し上げます。



図11 医療者監督による脈拍・血圧測定

参考文献

- [1] 山上泰樹, “CPR フォーム指導システムを用いた訓練の効果についての検討”, 2023.
- [2] 栗谷川知紀, “CPR 訓練システムの開発と評価”, 2021
- [3] JRC 蘇生ガイドライン 2020 作成編集委員会, “JRC 蘇生ガイドライン 2020”, 2021.
- [4] 土屋真人, “スポーツ・健康づくりの指導に役立つ姿勢と動きの「なぜ」がわかる本肩の筋編”, 2018.
- [5] 深代千之, “オールカラー骨・関節・筋肉の構造と動作のしくみ”, 2014.
- [6] 医療情報科学研究所, “フィジカルアセスメントがみえる第1版”, 2015.
- [7] マイクロソフト, “Azure Kinect DK のドキュメント”, <https://learn.microsoft.com/ja-jp/azure/Kinect-dk/>, 2023年6月リンク確認.
- [8] 厚生労働省, “血圧健康イベント&コンテンツ”, <https://www.smartlife.mhlw.go.jp/event/disease/pressure/>, 2023年6月リンク確認
- [9] ILCOR “2021 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendation.”, 2021
- [10] 国立研究開発法人 国立循環器病研究センター, “救急蘇生法：ハンズオンリーCPR”, <https://www.ncvc.go.jp/hospital/pub/knowledge/disease/cab/>, 2023年6月リンク確認