

令和 7 年 6 月 11 日現在

機関番号：32692

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2024

課題番号：20K19256

研究課題名（和文）院内感染防止を目的とした手洗い法の運動学的リアルタイム評価

研究課題名（英文）Kinetic real-time evaluation of handwashing methods aimed at preventing nosocomial infections

研究代表者

上條 史記（Kamijo, Fuminori）

東京工科大学・医療保健学部・講師

研究者番号：80812726

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、院内感染を低減させる効果的な手法である手洗いに着目をし、手首の動作と手洗い前後の清浄度を定量的に測定し評価を行った。これにより、清浄度が高い手洗いを行った対象者の特徴は、利き手の横方向の動作を意識して行うことと手洗い法を遵守することであった。また、手洗い中の掌同士との密着度も評価し有意差を得ることは出来なかったが、清浄度の低い対象者は掌を押し付けて洗っている傾向があった。さらに、清浄度の測定を手首の動作から推定できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、手洗い動作の定量評価の確立である。既存の手洗い評価では、手洗いの清浄度の結果を確認することは出来ても、手洗い中の評価は出来なかった。しかし、運動学的に解析することで清浄度の高い動作を評価でき、動作に基づく教育フィードバックが可能となった。また、病院の感染対策だけでなく、感染症による死亡率の低減、医療コストの削減、福祉、食品業界での衛生管理の標準化や、労働現場の安全、効率向上に貢献することが出来ると考える。

研究成果の概要（英文）：The main threat to patients' lives from nosocomial infections is spread through the hands of healthcare workers. Based on the relationship between ATP removal rates and hand movements, the most important factor identified was "daily ATP concentration management," followed by "lateral movements" and "handwashing posture." The results showed that daily ATP concentration management is the most important factor, followed by lateral movement. It was demonstrated that it is important to minimize the difference between the standard hand position and the subject's hand position at each step. Additionally, subjects with lower cleanliness tended to wash their hands by pressing their palms against the surface. Furthermore, the possibility of estimating cleanliness based on wrist movements was suggested.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：感染予防 加速度 手首の姿勢 アデノシン三リン酸 筋電図 定量評価

## 様 式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

手洗いは医療行為による感染を防止するうえで重要な作業の一つである。医療行為によって引き起こされる院内感染は、死亡率の高い敗血症や難治性感染症を引き起こし、患者の生命を脅かす可能性がある<sup>1,2)</sup>。研究代表者が所属する大学は医療従事者の養成校であり、学内実習では感染対策についても行っている。感染対策、特に手指衛生について臨床工学科 3 年生を対象に World Health Organization (WHO) ガイドラインに記されている方法の手洗い(WHO 標準法)を行い、アデノシン三リン酸(ATP)値を前後で測定した。その結果、学生 48 名中 13 名しか合格基準値である 2000[RLU]以下にならなかった。通常、手洗いは医療従事者でなくとも誰もがおこなう特別な技術のいらない手技である。しかし学内実習の結果から、標準法に従った手洗い指導のみでは、有効な手洗いができないことが確認できた。手順を標準法に従って行うように指導しても、有効な手洗いが出来ない学生がいた。従って、同じことを医療施設で行っても、院内感染の低減には必ずしも繋がらない。手洗いの効果を上げるには、万遍なく必要な擦過力を加える手洗い法を指導するのを感じた。そこで対象者を良い手洗いをを行った群と不良な手洗いの群に分けて、手首の姿勢を加速度・画像などにより動作の相違を明らかにし、その結果に基づいて、良い手洗いの指導法を提案できると考えた。本研究により手洗いの質の量的判定による管理・指導が実現すれば、手洗いが的確に行われるようになり、院内感染率の低下が見込まれ、難治性感染性によって死亡する患者の低減が期待される。

### 2. 研究の目的

(1) 対象者を ATP 値により手洗い前後から算出される除去率の高い群と低い群に分類し、手首装着型モーションセンサ(加速度センサ)から得られた加速度データ結果を比較することで、効果的な手洗い動作を提案する。

(2) (1) で得られた「効果的な手洗い動作」を教育した群とそうでない群に分けての教育効果を確認する。

(3) 加速度センサから得られた信号情報から、除去率の高い群と低い群が示す特徴量を機械学習から得る。結果に基づいて、手洗い動作の良否判定をリアルタイムで行える教育用手洗い管理・指導システムを試作し、システムの評価を行い臨床評価用システムの開発に必要な知見を得る。

### 3. 研究の方法

本研究の目的(1)を達成するため実験を2段階にわたって行った。実験1は手洗い前後の ATP 値の測定と手洗い中の手首の加速度測定を行い、動作と手洗い結果の比較を ATP 除去率(除去率)で行った。実験2は実験1の結果を踏まえ、手洗い前の ATP 付着量を一定範囲にコントロールした上で手洗い前後の ATP 測定と手洗い中の加速度の測定を行い、除去率に対する運動学的検討を行った。

#### (1) 実験1

対象は本学臨床工学科に 2019 年度から 2022 年度までに在籍していた学生と医療従事者(男性 24 名：女性 17 名)の合計 41 名(82 手)である。

手洗い前に WHO 標準法をカラー印刷し、ラミネートした資料を対象者 1 名ずつに配布しそれぞれ読ませ、研究代表者が動作を指導した。その後、手洗いの前後で対象者の ATP 値を測定し除去率を求め、手洗い中の加速度を手首に装着した加速度センサで測定した。各工程の時間は管理せずに、全工程を WHO 法の指示に従って 40 から 60 秒程度で行うように指示した。ATP 値 2,000[RLU]以下を合格<sup>3)</sup>とした。

#### (2) 実験2

対象は本学臨床工学科に在籍し、実験1で対象者にならなかった9名(男性4名、女性5名、18手)である。まず対象者の前腕に筋電図を装着しキャリブレーションを行うため0.5kgのダンベルを、上向きにした掌で把持し水平位置から上下させて筋電図を記録した。持ち上げている期間の筋電図の実効値を測定し EMG0.5kg(mV)とした。次に手洗い前の ATP 値を一定範囲にするため、対象者の安全に配慮し超音波洗浄を行い ATP 値が 2,000[RLU]以下になるまで洗浄を行い、その後 ATP ローションを塗布して 20,000[RLU]程度の範囲にした。

そして、実験1同様に、ラミネートした WHO 標準法の資料を対象者 1 名ずつに配布しそれぞれ読ませ、研究代表者が動作を指導した。その後、研究代表者がタイマーを用いて手洗いスタート

を合図し、7 秒後に最初の工程終了合図、工程終了合図から 5 秒後（インターバル終了時）に次工程スタートの合図、以後工程毎に一工程 7 秒とインターバル 5 秒を繰り返した。すすぎは掌についた泡が無くなるまで流水で行うこととした。その後 ATP 値の測定を行った。

### （３）実験 3

上記の実験で得られた成果である、Y 軸方向へ強く擦過させることと手洗い法を遵守することを口頭と図を用いて教育した群と、教育していない群にわけ ATP の除去率と手洗い動作の比較を行った。対象は臨床工学科学生 20 名（男性 10 名、女性 10 名）とした。

### （４）実験 4

加速度センサの波形データを説明変数とし、良いまたは悪いという二値ラベルや除去率を目的変数とした分類タスクおよび回帰タスクでモデルをトレーニングした。具体的には、リカレントニューラルネットワーク（RNN）、次元畳み込みニューラルネットワーク（1D CNN）、ランダムフォレスト（RF）、サポートベクターマシン（SVM）および LightGBM を用いた。さらに、次元圧縮手法として特異値分解（SVD）および非負値行列因子分解（NMF）を適用し、各モデルの性能を比較した。

## 4．研究成果

### （１）実験 1

不合格者は、手洗い前の ATP 値が 6,000 から 180,000[RLU]程度に分布している。手洗い前の ATP 値が 100,000[RLU]を超えると除去率が 98%を超えても不合格となり、ATP 法による評価には限界があることが考えられる(図 1)。

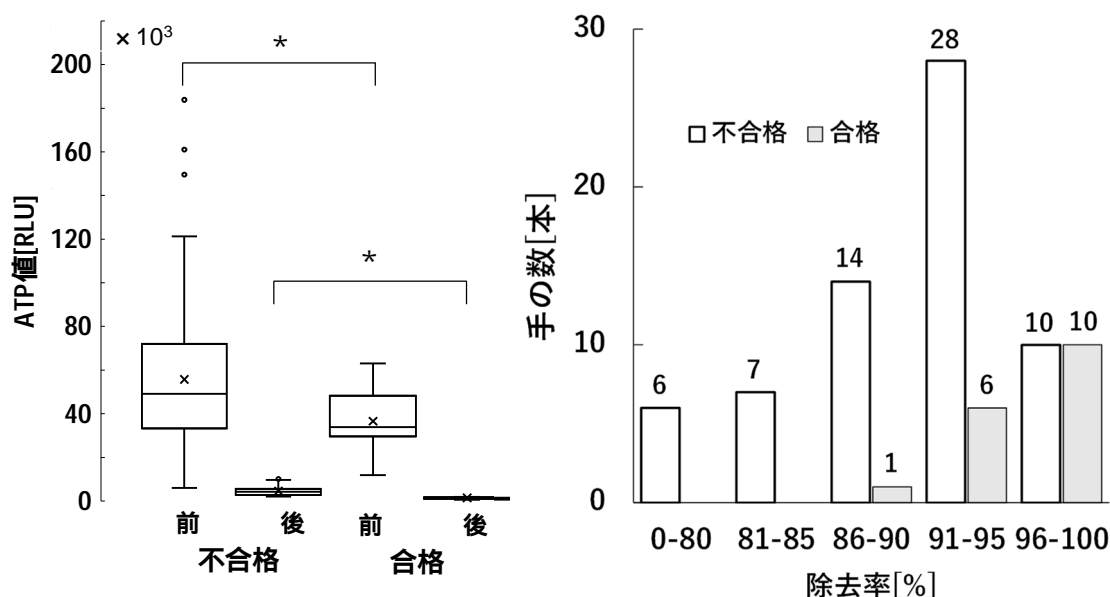


図 1 ATP 法の限界

### （２）実験 2 Y 軸基本波の比較

図 2 の除去率と Y 軸基本波の比較では、ATP の除去率を 80%以上と 80%未満の 2 群に分け、X 軸、Y 軸、Z 軸の FFT の最大振幅の比較を行った。有意差検定を行ったところ、対象者の Y 軸最大振幅で  $p=0.0269$  が得られ、有意差を持って Y 軸基本波の最大振幅が大きいと除去率が高かった。また、図 2、利き手・非利き手別の比較では、対象者は利き手を注意して動かして洗浄しており、非利き手はあまり注意を払っておらず、動かしていない傾向があり、利き手と非利き手の擦過動作に差がみられたが、除去率には大きな差がみられなかった。除去率を上げるには、手を Y 軸方向に強く動かすことが重要である。

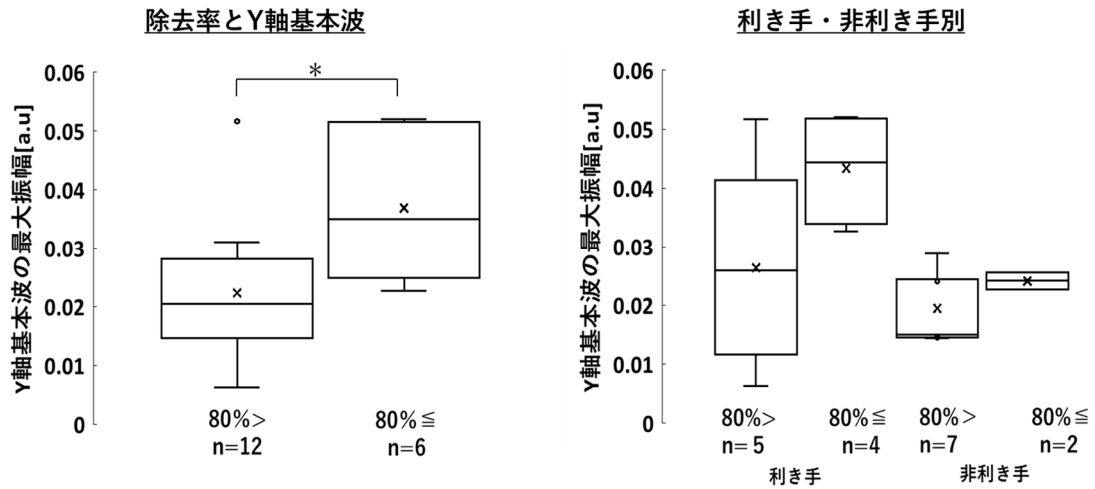


図2 Y軸基本波の最大振幅

### (3) 実験2 手首の姿勢誤差の比較

基本波の比較と同様に、ATPの除去率で2群に分け、さらに利き手、非利き手を分離して姿勢誤差を比較した。姿勢誤差は、除去率98%の対象者の手洗い工程ごとの波形の平均値と本実験で測定した対象者の波形の平均値の差分を求め、全工程の値を加算した値である。図3に除去率と姿勢誤差値と利き手の姿勢誤差値を示す。また利き手の姿勢誤差と除去率は $r=0.84$ で相関があった。また非利き手の姿勢誤差も利き手同様に合格者の方が小さかったが、非利き手の姿勢と除去率には相関が認められなかった( $r=0.02$ )。

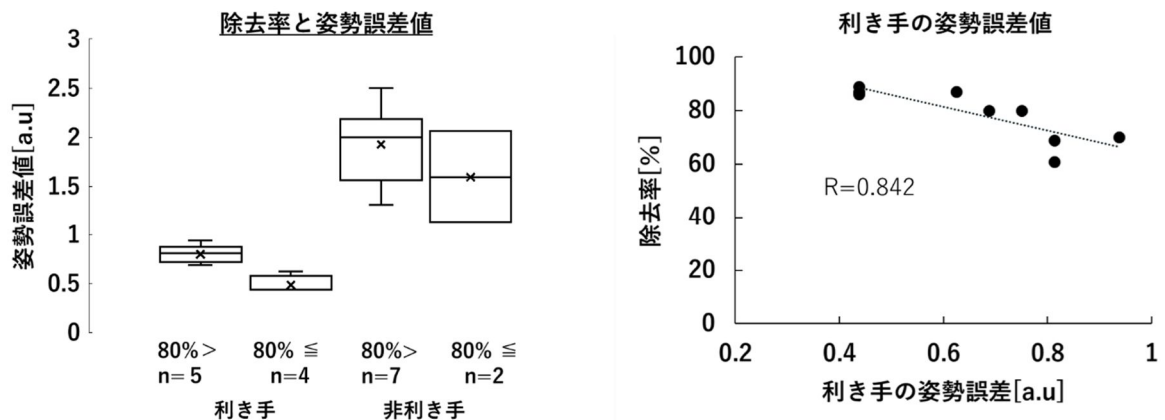


図3 姿勢誤差値

### (4) 実験2 掌同士の密着度

筋電図の値は大きいほど除去率が低い傾向があったので、掌の面と面が均一に密着していないことや無駄な力を使用している可能性が考えられたが、両手の接触状況についての把握手段がないので今回は検討しなかった。手洗い指導の際にWHOのそれぞれの工程は洗浄する場所が決まっているので、工程毎に洗浄する場所を指示したうえで手洗いを行わせることで補えると考ええる。

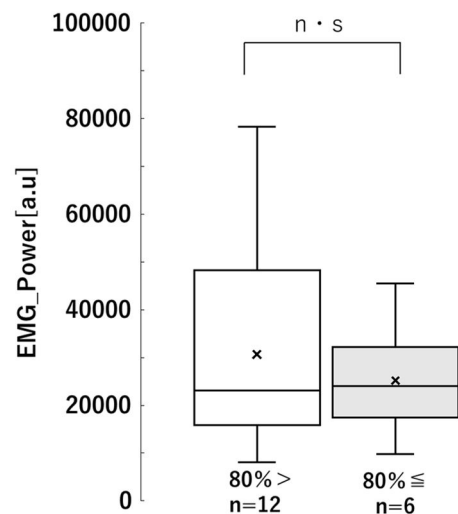


図4 除去率と筋電図の比較

#### (5) 実験3 教育群と非教育群の比較

以上の成果を教育した群(教育群)とそうでない群(非教育群)に分けて手洗いを行ってもらった所、除去率、Y軸基本波、姿勢誤差値に有意差は確認できなかった。従って、各工程の目標最大加速度と姿勢の波形をモニターに表示しながら教育を行うことが望ましいと考える。

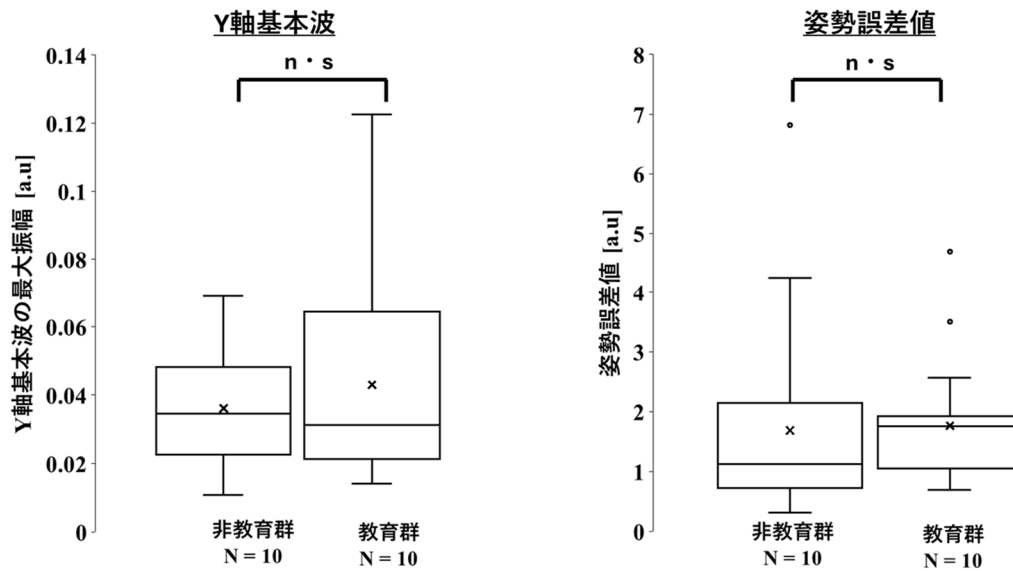


図5 教育群・非教育群のY軸基本波と姿勢誤差値の比較

#### (6) 実験4 加速度データからの特徴量の抽出

加速度センサの波形データを説明変数とし、良・悪の2値ラベルと除去率を目的変数とする分類タスクと回帰タスクで学習させた予測器から、重みの大きさに応じて重要な特徴を抽出し、手洗いの質をより正確に識別するための最適なアプローチを特定できることを示した。

#### (7) 本研究の成果

手洗いの新たな定量評価法として、加速度センサを用いた運動学的評価の確立を行った。加速度センサを用いた質評価を手洗い前後の除去率を基準に行うことで、運動学的評価は有効であると考えられる。これにより、手洗い中の姿勢誤差値から、除去率を推定できる可能性や、効果的な手洗い指導方法として、特定方向の振幅と姿勢が判明した。これらを用いることで、指導法が標準化できると考える。さらに、機械学習から対象者それぞれへの効果的なフィードバック方法が示唆された。これらの知見を基に、運動学的な手洗いのリアルタイム評価システム開発に寄与していきたい。

#### 参考文献

- 1) World Health Organization. Guidelines on Prevention and Control of Hospital Associated Infections. 2002.
- 2) 吉田正樹. 院内感染とは~その基本概念と対策~. 耳鼻咽喉科展望. 2013, Vol. 56, No. 1, pp. 38-43.
- 3) キッコーマンバイオケミファ株式会社:管理現場別 ATP ふき取り検査-運用方法-手指衛生. <https://biochemifa.kikkoman.co.jp/kit/atpfuki/iryou/top/>.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kamijo Fuminori, Takeda Sunao, Hinata Nae, Matsushita Soichiro, Shinohara Kazuhiko, Kyoso Masaki	4. 巻 94
2. 論文標題 A proposal for an improved handwashing education method based on the results of a kinetic analysis	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Iryou kikigaku (The Japanese journal of medical instrumentation)	6. 最初と最後の頁 306～316
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4286/jjmi.94.306	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 外圍 隆太郎、上條 史記、伏見 卓恭	4. 巻 132
2. 論文標題 加速度センサーデータからの手洗いの良し悪しを分かつ特徴量抽出の検討	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 人工知能学会研究会資料 知識ベースシステム研究会	6. 最初と最後の頁 07～12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11517/jsaikbs.132.0_07	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 上條 史記	4. 巻 94
2. 論文標題 Ingenuity in Medical and Educational Institutions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Iryou kikigaku (The Japanese journal of medical instrumentation)	6. 最初と最後の頁 557～565
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4286/jjmi.94.557	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 上條史記, 武田朴, 佐竹粹, 徳永龍之介, 伊藤奈々, 安藤ゆうき, 田中裕香子, 島峰徹也, 笠井亮佑, 加納敬, 荻野稔, 日向奈恵, 田仲浩平, 篠原一彦.	
2. 発表標題 感染低減を目的とした手洗い法のリアルタイム評価	
3. 学会等名 第97回日本医療機器学会大会	
4. 発表年 2022年	

1 . 発表者名 Masaya Uwabe, Sunao Takeda, Ryosuke Kasai, Kohei Tanaka, Soichiro Matsushita, Kazuhiko Shinohara, Nae Hinata, masaki Kyoso and Fuminori Kamijo
2 . 発表標題 Suggestions for superior hand washing methods -Based on kinematic studies-
3 . 学会等名 ICBME 2024 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2024年

〔 図書 〕 計0件

〔 産業財産権 〕

〔 その他 〕

-

6 . 研究組織			
	氏名 ( ローマ字氏名 ) ( 研究者番号 )	所属研究機関・部局・職 ( 機関番号 )	備考

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔 国際研究集会 〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------