

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K10040

研究課題名（和文）小型3Dカメラを応用した新規摂食嚥下機能検査システムの開発

研究課題名（英文）Development of novel swallowing detecting system applied with compact 3D camera

研究代表者

佐藤 秀夫（Sato, Hideo）

鹿児島大学・医歯学域鹿児島大学病院・講師

研究者番号：40507125

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：小型3Dカメラに搭載された赤外線センサーを使用して、顔面の動きを捕捉し、口腔内および咽頭内の咀嚼嚥下の動きを推定する検査システムの開発を実施した。小型3Dカメラと嚥下造影検査装置との同時撮影および各画像の同期システムは特許第6952365号（3Dカメラを用いた摂食嚥下機能検査システム）として知的財産化を達成した。本研究により、口唇の動きが、嚥下の時期、量に影響することが明らかとなった。さらに口腔内うがいにおける小児と成人の口唇の動きにも違いを認めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非接触方式により顔面の動きから咀嚼嚥下機能を予測、診断できる従来にはない新規の検査方法を確立する基礎研究を実施した。従来より実施されている、嚥下造影検査および嚥下内視鏡検査は大型の機器であり、熟練した技術が必要で、在宅医療で使用するのは困難である。本研究の発展により、嚥下機能の予測が可能となれば、将来的なオンライン診療および遠隔地医療に寄与することが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：We have developed an inspection system that uses an infrared sensor mounted on a small 3D camera to capture facial movements and estimate chewing and swallowing movements in the oral cavity and pharynx. Simultaneous imaging with a small 3D camera and a swallowing imaging examination device and a synchronization system for each image have been registered as an intellectual property as Patent No. 6952365. This study revealed that lip movement affects the timing and amount of swallowing. In addition, differences in lip movements between children and adults during mouse rinsing were observed.

研究分野：摂食嚥下リハビリテーション学

キーワード：小型3Dカメラ 非接触型バイタルセンシング技術 嚥下機能推定システム 口唇動態 在宅医療 スマートフォンアプリケーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

# 「様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)」

## 1. 研究開始当初の背景

超高齢社会である本邦において、肺炎は死因の上位に位置しており、摂食嚥下障害による誤嚥性肺炎も原因の一部である。さらに在宅医療も増加傾向にある一方で、近年では COVID-19 パンデミックによる病院への受診控えの傾向から、遠隔医療のニーズも急速に拡大している。在宅医療、遠隔医療においても誤嚥性肺炎の予防目的で摂食嚥下障害の検査、診断、治療は不可欠であることは言うまでもない。しかしながら、摂食嚥下リハビリテーション(以下、嚥下リハ)における検査、診断は嚥下造影検査、嚥下内視鏡に代表されるように侵襲性が高く、高度な技術を必要とする機器の使用がゴールドスタンダードであるが故に、遠隔医療実現に向けて克服すべき課題であることも事実である。そのため遠隔地から非接触方式で患者の嚥下機能を診断可能なシステムおよび機器の開発が急務である。遠隔地から検査・診断する方法としてカメラによる動作捕捉と解析は、患者の実際の状態を把握する上で有用な手法である。近年では、非接触型バイタルセンシング技術を有する小型 3 D カメラの開発普及が急速に進んでおり、リハビリテーション等、医療への応用も一部実現している。Microsoft Xbox One Kinect Sensor® (以下、Kinect) はゲーム用コントローラーとして用いられており、RGB カメラおよび赤外線カメラより構成されており、非接触で顔面上の動きを捉えることが可能である。

## 2. 研究の目的

本研究では、嚥下時の顔面動態の変化を Kinect にて捕捉し、嚥下動態との関連性の探索を試みた。

## 3. 研究の方法

嚥下時は口唇の両端である口角が収縮または伸展することが知られており、臨床的にはその動作の正常または異常を検出することで診断に寄与する。それゆえ、嚥下時の経時的口角間距離を測定すると同時に嚥下造影検査(以下、VF)による嚥下動態の撮影を行い、これらを同期・解析することで、口角間距離、嚥下時間、嚥下量の相互関係について検証を実施した。実験対象者として成人男性 14 名(平均年齢  $75.8 \pm 8.4$  歳)を選定した。被験者は肺炎、頭頸部の障害、神経疾患、アルコールまたは薬物の乱用の既往を認めないが、食事中にむせ等の経験があり、VF が必要と判断された者である。実験試料は 40 W/V %硫酸バリウム懸濁液を調整し、5mL、10 mL、15 mL、20 mL の 4 種類(SQ)とした。1 回目の電子音で試料を取り込み口腔内に保持し、2 回目の電子音で試料を嚥下させた。試料が食道を通過した後、測定を終了した。4 種類の試料を無作為に嚥下させ、これを 3 回ずつ繰り返した。Kinect から得られるマーカースレス 3 次元位置情報および映像と VF で得られる体内嚥下動態映像を音声情報に基づいて同期ソフトウェア(以下、ELAN)で時間同期を実施する。3 次元位置情報の口角間距離の変位量および VF 映像に基づいた試料通過時間を口腔相、口腔咽頭相、咽頭相、全相と定義し、関連性について解析した。

## 4. 研究成果

変位量、口腔相、全相の間に有意差を認めた( $P < 0.001$ ,  $P < 0.001$ ,  $P = 0.005$ )。嚥下量と変位量は 5mL と 15mL、20mL の間に有意差を認めた( $P = 0.013$ ,  $P < 0.0001$ )。嚥下量と口腔相は 5mL と 15mL、20mL、10mL と 20mL の間に有意差を認めた( $P = 0.001$ ,  $P < 0.001$ ,  $P < 0.001$ )。嚥下量と全相は 5mL と 20mL、15mL と 20mL の間に有意差を認めた( $P = 0.004$ ,  $P = 0.021$ )。3 D カメラと嚥下造影検査の同時撮影・同期システムは新規性、進捗性が特許庁より認められ特許として登録された(下記、特許情報)。3 D カメラである Kinect のソフトウェアである Face Tracking は、被験者を認識し、Kinect にて得られた対象の情報や、あらかじめ組み込まれている人体情報から、上半身ならびに顔面の位置関係を予測し、顔面上の特徴点を抽出し測定することができる。同期・解析システムの要素は、Kinect から得られた顔面の体表面情報、VF による内部嚥下動態、Kinect カメラの映像ならびに電子音である。VF ならびに Kinect は、30fps でデータを取得している。ELAN は、双方から抽出された電子音に波形を重ね合わせ、Kinect により記録された時間と Face Tracking データを一致させることでデータの同期が可能となる。本研究では、嚥下動態を口腔相、口腔咽頭相、咽頭相、全相の 4 つの時間に分類した。嚥下量の増加に伴い、変位量、口腔相、全相の平均値は増加した。変位量は嚥下時の口唇動作、口腔相は口腔期の嚥下動態を示しており、随意運動である。全相は口腔期から咽頭通過までの随意運動と不随意運動が混在している。嚥下

量と、変位置量、口腔相、全相は有意に差を認めており、2 変位置間で正の相関関係を認めている。嚥下量の増加は、口腔周囲の筋群をより大きく動かし、bolus を咽頭へ送り込む必要があると考えられた。より大きな筋の動きは、口腔期の嚥下時間の延長に關与する。従って、変位置量の増加や口腔相、全相の延長を認めたと考えられる。一方で嚥下量の増加に伴い、口腔咽頭相、咽頭相の平均値は減少した。口腔咽頭相は口腔期から咽頭期への移行、咽頭相は咽頭期の嚥下動態を示しており、不随意運動である。嚥下量と口腔咽頭相、咽頭相は2 変位置間で負の相関関係を認めている。嚥下量の増加は、咽頭部の嚥下圧を増大させ、咽頭の通過時間を短縮させると考えられた。従って口腔咽頭相と咽頭相の短縮が認められたと考えられる。嚥下量と変位置量は口腔期の bolus timing に關与し、嚥下量は、すべての bolus timing に關与していることが明らかとなった。すなわち、変位置量と嚥下量から、口腔期の嚥下時間を予測することが可能であることが示唆された。さらに、嚥下量は嚥下時間の予測に有効な指標であることが示唆された。現段階では、嚥下時における口角間距離の変位置量の測定にとどまっている。今後は、両側口角の3 次元的な位置情報をより詳細に取得し、分析可能となる新たな測定プログラムの開発を目指す。得られた変位置量の経時的な変動と嚥下動態の關連性の解明していく今後は嚥下機能評価の指標となり得る、口唇を含めた頭頸部の体表面情報を選択し、検討する。体表面情報と嚥下動態の關連性の解明を進めていくうえで、年齢、性差、疾患、摂食嚥下機能障害の有無等、さまざまな被験者に測定を実施し、同期・解析する。嚥下機能に問題のない被験者の体表面動作と異常のある被験者の体表面動作を比較し、スクリーニング検査としての応用が考えられる。応用例として、医療機関で本システムによる測定を実施する。その後、在宅での日常的な嚥下時の頭頸部の体表面情報をスマートフォン等の3 Dカメラで測定し、経時的に比較する。動作の異常や機能的異常を検知することで、早期介入や精密検査の必要性の有無を判断し、適切な介入時期を判断する情報とすることや、不要な被曝ならびに侵襲を防ぐことが可能であると考えられる。さらに、得られたデータをクラウドサーバーに保存することで、在宅医療における診断ツールとして活用することが可能である。将来的には、解析方法の改善やデータの蓄積により、口唇を含めた頭頸部の体表面情報から嚥下動態を予測し、機能評価が可能なシステムの構築を目指していく。また、匿名化されたビッグデータを活用して、人工知能により標準的な咀嚼嚥下機能のパターンを機械学習させることにより自動診断システムの構築が可能である。現在、我々は iPhone に搭載された赤外線カメラを活用したシステムの開発に取り組んでおり、2023 年中の実装を目指している。

#### 特許情報

特許第 6952365 号， 発明の名称：3 Dカメラを用いた摂食嚥下機能検査システム， 特許権者：国立大学法人鹿児島大学， 発明者：佐藤秀夫， 山本祐士， 岩下洋一朗， 山崎要一， 出願番号：特願 2019-513590， 出願日：2018 年 4 月 12 日， 登録日：2021 年 9 月 30 日。

#### 文 献

1. Yamamoto Y, Sato H, Kanada H, Iwashita Y, Hashiguchi M, Yamasaki Y: Relationship between lip motion detected with a compact 3D camera and swallow dynamics during bolus flow swallowing in Japanese elderly men, *Journal of Oral Rehabilitation*, 47(4): 449-459, 2020.

2. 山本祐士, 佐藤秀夫, 金田尚子, 岩下洋一郎, 橋口真紀子, 伴 祐輔, 山崎要一: 小型 3D カメラと嚥下造影検査を応用した口唇動作ならびに嚥下時間の関連性の解明, 日摂食嚥下リハ会誌, 24(1):3-13, 2020.
3. Kanada H, Yamamoto Y, Sato H, Chinju K, Ariyasu Y, Kawaji M, Iwashita Y, Hashiguchi M, Yamasaki Y: Comparison of mouth rinsing performance between adults and children using a contactless vital sensing camera, Journal of Oral Rehabilitation, 50(1): 76-86, 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yamamoto Yushi, Sato Hideo, Kanada Hisako, Iwashita Yoichiro, Hashiguchi Makiko, Yamasaki Youichi	4. 巻 47
2. 論文標題 Relationship between lip motion detected with a compact 3D camera and swallowing dynamics during bolus flow swallowing in Japanese elderly men	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Oral Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 449 ~ 459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/joor.12916	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山本祐士, 佐藤秀夫, 金田尚子, 岩下洋一朗, 橋口真紀子, 伴 祐輔, 山崎要一	4. 巻 24(1)
2. 論文標題 小型3Dカメラと嚥下造影検査を応用した口唇動作ならびに嚥下時間の関連性の解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌	6. 最初と最後の頁 3-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kanada Hisako, Yamamoto Yushi, Sato Hideo, Chinju Kohei, Ariyasu Yuichi, Kawaji Maria, Iwashita Yoichiro, Hashiguchi Makiko, Yamasaki Youichi	4. 巻 50
2. 論文標題 Comparison of mouth rinsing performance between adults and children using a contactless vital sensing camera	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Oral Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 76 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/joor.13379	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤秀夫, 山本祐士, 橋口真紀子, 川路麻里亜, 山崎要一	4. 巻 48(7)
2. 論文標題 非接触型バイタルセンシング技術を活用したオンライン嚥下機能診断システムの開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Medical Science Digest	6. 最初と最後の頁 37 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本 祐士, 金田 尚子, 岩下 洋一朗, 橋口 真紀子, 伴 祐輔, 佐藤 秀夫, 山崎 要一
2. 発表標題 小型3Dカメラを応用した小児の口腔機能評価における基準点の検討
3. 学会等名 第58回日本小児歯科学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本 祐士, 佐藤 秀夫, 金田 尚子, 山崎 要一
2. 発表標題 小型3Dカメラを応用した嚥下時における口唇動作と口腔期嚥下時間の関連性の解明
3. 学会等名 第31回日本老年歯科医学会総会・学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金田 尚子, 山本 祐士, 岩下 洋一朗, 橋口 真紀子, 伴 祐輔, 佐藤 秀夫, 山崎 要一
2. 発表標題 小型3Dカメラを応用した口唇動作による口腔機能の定性化の検証
3. 学会等名 第58回日本小児歯科学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 3Dカメラを用いた摂食嚥下機能検査システム	発明者 佐藤秀夫, 山本祐士, 岩下洋一朗, 山崎要 一	権利者 国立大学法人鹿 児島大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6952365号	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔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
研究分担者	石崎 晶子 (Akiko Ishizaki) (00710386)	昭和大学・歯学部・講師  (32622)	
研究分担者	西 恭宏 (Yasuhiro Nishi) (10189251)	鹿児島大学・医歯学域歯学系・准教授  (17701)	
研究分担者	橋口 真紀子 (Hashiguchi Makiko) (10457658)	鹿児島大学・医歯学域歯学系・助教  (17701)	
研究分担者	岩下 洋一朗 (Iwashita Yoichiro) (70168566)	鹿児島大学・医歯学域歯学系・助教  (17701)	
研究分担者	森川 和政 (Morikawa Kazumasa) (70514686)	岩手医科大学・歯学部・教授  (31201)	
研究分担者	山本 祐士 (Yamamoto Yushi) (50878270)	鹿児島大学・医歯学域歯学系・助教  (17701)	

## 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