

令和 5 年 5 月 8 日現在

機関番号：13101
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2020～2022
課題番号：20K10069
研究課題名(和文) 摂食嚥下障害治療における咀嚼タスクの有効性検証

研究課題名(英文) Effect of chewing task on dysphagia

研究代表者

辻村 恭憲 (Tsujimura, Takanori)

新潟大学・医歯学系・准教授

研究者番号：00548935

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)：本研究は、よく噛むことが咀嚼嚥下に与える効果の検証を目的とした。被験者は8、12、16gのバリウム含有米飯を自由咀嚼とよく噛むの2条件で摂取した。嚥下造影と咬筋、舌骨上筋および甲状舌骨筋の筋電図から食塊移送と筋活動を評価した。初回嚥下時の下咽頭移送時間はよく噛むことで8gでは差はなく、12gでは短縮し、16gでは延長した。12gにおいてはよく噛むことで下咽頭食塊通過速度が速くなっていた。一方、16gではよく噛むことで自由咀嚼と比較して食塊量が増加し、その差は食道入口部通過時間の差と正の相関関係を認めた。よく噛むことが下咽頭通過速度に与える影響は摂取量に応じて異なることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、よく噛むことが咀嚼・嚥下に与える影響を目的として、健常成人を対象として行われた。咀嚼機能において、よく噛むことは、少量および中等量では咀嚼時筋活動を減少し、多量では筋活動に影響はないものの、初回嚥下量を増加することが確認された。一方、嚥下機能において、よく噛むことは、中等量では下咽頭通過時間を短縮し、多量では下咽頭通過時間を延長することが確認された。以上から、よく噛むことは、一口量に応じて咀嚼・嚥下機能に与える効果が異なることがわかり、このことは摂食嚥下障害患者における一口量と咀嚼動作の重要性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to investigate the effect of chewing well on chewing and swallowing. Participants ate 8, 12, and/or 16 g of steamed rice with barium sulphate under two condition; chewing freely (CF) and chewing well (CW). We evaluated bolus transport and muscle activity using videofluorography and electromyography of the masseter, suprahyoid and infrahyoid muscles. Hypopharyngeal transit time (HTT) at the first swallow for CW was significantly shorter and longer than FC in 12 and 16 g, respectively. HTT did not differ between two conditions in 8 g. Upper esophageal sphincter transit duration was significantly longer for CW than CF in 16 g. The hypopharyngeal bolus velocity for CW was significantly faster than FC in 12 g. The difference between CW and CF in the estimated swallowed bolus volume was positively correlated with that in upper esophageal sphincter transit duration in 16 g. We speculate that CW modulates HTT during swallowing depending on the ingestion volume.

研究分野：摂食嚥下障害学

キーワード：咀嚼 嚥下 一口量 食塊動態 筋活動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

増加し続ける要介護高齢者の死因の第1位は肺炎であり、高齢者肺炎の80%以上を占める誤嚥性肺炎は、食べる機能の障害(摂食嚥下障害)により引き起こされる。咀嚼は摂食行動における主要なステップの1つである。食物は咀嚼により咬断・粉碎・臼磨され、唾液と混合され食塊が形成された後、嚥下される。咀嚼の有無により食物の咽頭への流れ方が異なることから、摂食嚥下障害者にとって咀嚼は重要な機能といえる。近年、咀嚼機能と全身疾患の関連が注目されている。例えば、咀嚼能力の低下がメタボリックシンドロームや糖尿病の発生リスクをあげることが報告されている。“よく噛むこと”は全ての年代に広く推奨されているが、摂取量の違いによる咀嚼・嚥下機能への影響はよくわかっていない。

2. 研究の目的

本研究は、3つの異なる摂取量において、“よく噛むこと”が咀嚼・嚥下時の食塊移送と筋活動に与える影響を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者

12人の健康成人男性(平均年齢±標準偏差: 29.2 ± 11.2歳)を対象とした。研究開始の前に、歯科医師が歯数や歯の位置、顎関節や咀嚼に問題がないか確認を行った。本研究は新潟大学倫理審査委員会の承認を得て(承認番号: 2020-0173)、被験者から書面で同意を取得後に実施された。

(2) 表面筋電図と嚥下造影検査(VF)像

両側咬筋、両側舌骨上筋および両側甲状舌骨筋から表面筋電図を記録した。ディスプレイ電極を電極間距離2cmとして咬筋中央、顎二腹筋前腹、甲状舌骨筋相当部の皮膚上に貼付した。記録開始前に、咬合、開口、嚥下から、咬筋、舌骨上筋、甲状舌骨筋活動をそれぞれ確認した。またVF側面像を同時計測した。筋電図のサンプリング数は2kHz、VF像は30Hzとした。

(3) データ収集

最初に、被験者は最大開口、最大咬合、随意嚥下を2回行うよう指示し、それぞれの平均値を舌骨上筋、咬筋、甲状舌骨筋活動の基準とした。続いて、被験者に8、12、16gの20%バリウム添加米飯(Sato No Gohan, Sato Foods, Japan)を次の2つの条件で摂取するよう指示した。CF(Chewing Freely): いつもの通りに自由に食べる、CW(Chewing Well): よく噛んで食べ、自由に嚥下をする。12人のうち8人は、VF像を用いた食塊面積計測の妥当性を検証するために単回嚥下実験にも参加した。単回嚥下実験では、2、4、6、8、10gの米飯を自由に咀嚼して、1回で嚥下するよう指示した。全ての実験後に、8、12、16gのいずれが普段の一口量に近い聞き取りを行った。

(4) データ解析

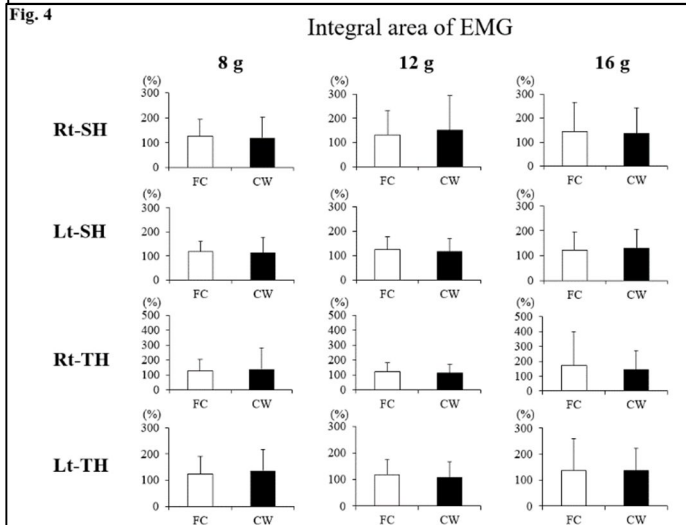
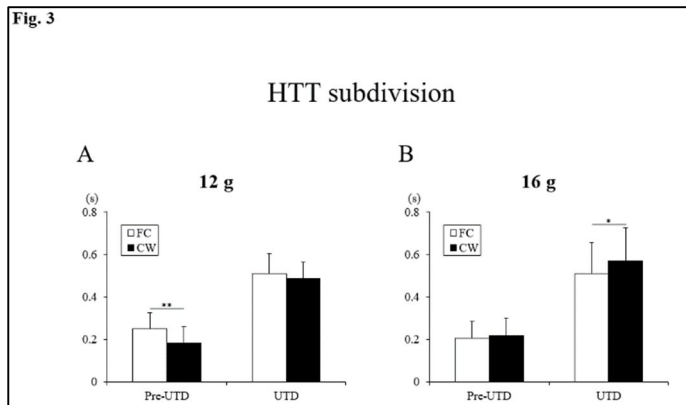
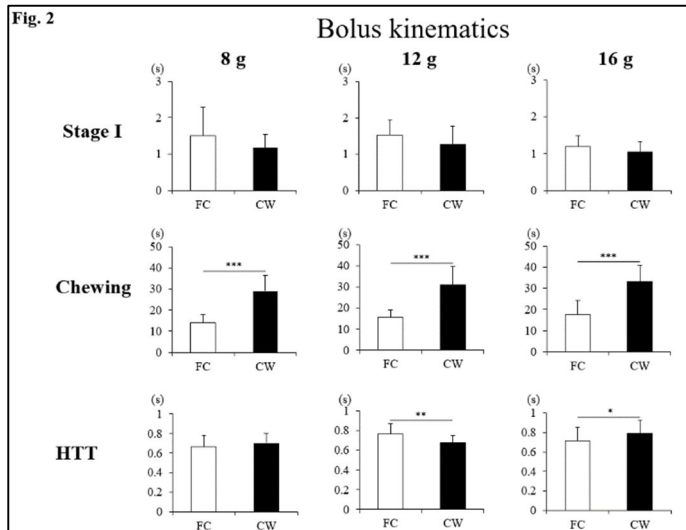
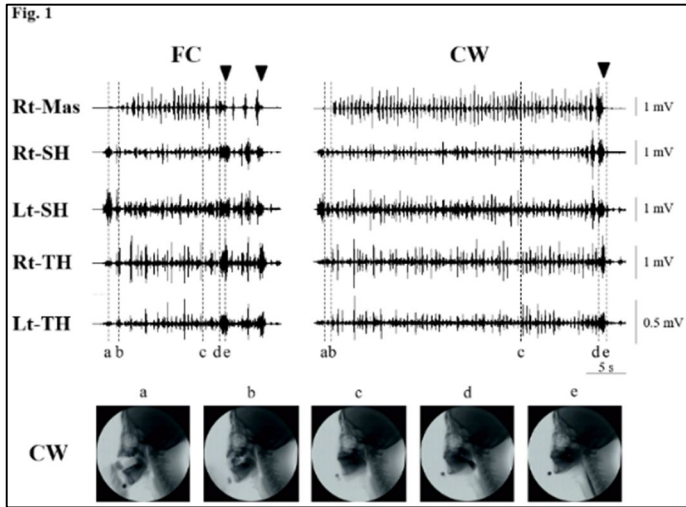
結果は、平均±標準偏差で標記した。VF像は以下の3つのステージに区分された。Stage I transport time: 食塊先端が下顎切歯を通過してから、咀嚼のために臼歯部に移送されるまで。Chewing time: 咀嚼開始から、嚥下咽頭期の開始を意味する舌骨の急速な前上方運動の開始まで。HTT: 舌骨の急速な前上方運動から食塊後端が声帯の高さで定義された食道入口部を通過するまで。HTTはさらに食塊先端が食道入口部を通過する前(Pre-UTD)と後(UTD)に区分された、舌骨運動距離を計測するために、第4頸椎の前下縁を原点、第2頸椎および第4頸椎の前下縁を通過する直線をY軸、Y軸に直交して原点を通過する軸をX軸に設定した。舌骨大角前下縁の座標点を舌骨位とし、原点からのX-Y座標点で舌骨位置を定め、舌骨の急速な前上方移動前の位置と嚥下時の最前上方位置から、初回嚥下時の舌骨移動距離を測定した。下咽頭通過速度は初回嚥下時の食塊先端位置から食道入口部までの距離をPre-UTDで除算して算出した。初回嚥下量の算出のために、VF画像の明るさとコントラストを調整して、食塊の外形がわかるように変更した後に各嚥下において開始時の食塊量と嚥下後の残留量の面積を計測した。推定初回嚥下量は、食塊面積から次の計算式によって求めた。

初回嚥下時の食塊面積 / (各嚥下時の食塊面積の総和 - 各嚥下後の咽頭残留面積の総和)
表面筋電図の活動は、全波整流・平滑化した波形が安静5秒間から計測されたバックグラウンド活動の平均値+3標準偏差を超えたときと定義した。咀嚼時および初回嚥下時の両側咬筋、舌骨上筋、甲状舌骨筋の筋電図活動の持続時間、最大振幅、積分値を計測した。最大振幅と積分値は記録前の噛み締め(咬筋)、開口(舌骨上筋)、随意嚥下(甲状舌骨筋)を基準として標準化した。統計解析は、正規性と等分散性を確認後に、Paired t-test または Wilcoxon's rank sum test を使って検定を行った、また、相関の評価には、Pearson's correlation を用いた。p < 0.05 を統計的有意と判断した(図中の*は p < 0.05, **は p < 0.01, ***は p < 0.001 を表している)。

4. 研究成果

(1) よく噛むこと”の食塊移送への影響

Fig. 1にCFとCWの典型例を示す。開口に伴う大きな舌骨上筋活動(SH)に続いて、食塊は切歯を通過(a)し、臼歯部へと移送(b)される。続いて、咬筋(Mas)と舌骨上筋は咀嚼の間にリズム



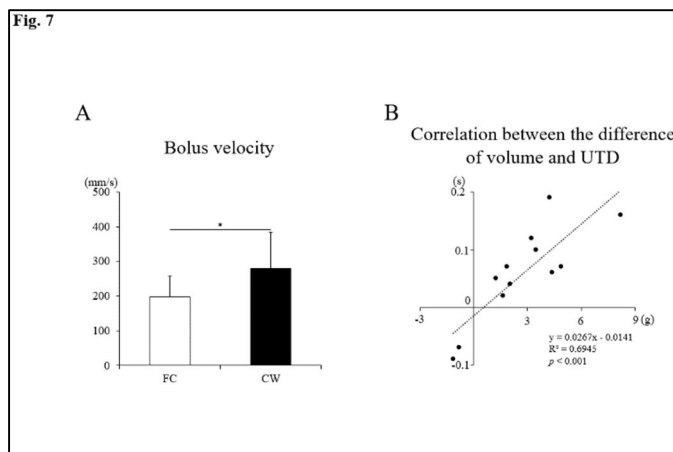
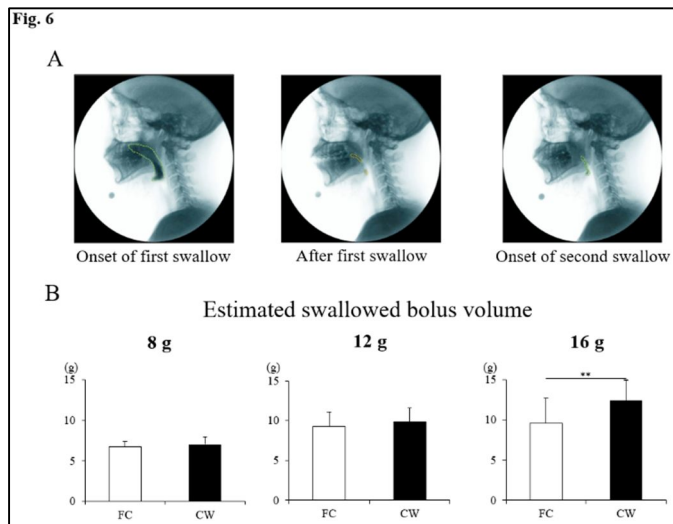
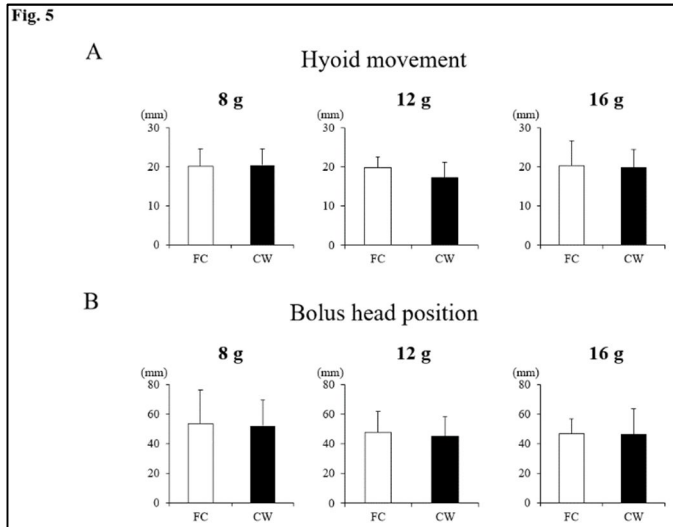
カルに交互に活動し下顎下縁を通過した後(c),急速な前上方への舌骨移動(d)と舌骨甲状舌骨筋発火を伴う嚥下が行われ,食塊は食道入口部を通過する(e).次に,食塊移送をFCとCWで比較した(Fig. 2). Stage I transport timeは全ての摂取量でFCとCWで差はなかった. Chewing timeは全ての摂取量でCWがFCよりも有意に長かった. HTTは摂取量によってCWの影響が異なっていた. 8gにおいては, HTTはFCとCWで差を認めなかった. 12gにおいては, CWがFCよりも有意に短かった. 一方, 16gにおいては, CWがFCよりも有意に長かった. 続いて, 12と16gにおいて, HTTを食塊先端が食道入口部を通過する前(Pre-UTD)と後(UTD)に区分した. 12gでは, Pre-UTDはCWが有意に短く, UTDには差がなかった(Fig. 3A). 16gでは, pre-UTDに差がなく, UTDはCWが有意に長かった(Fig. 3B). HTTに対するCWの効果について, 次の3つの仮説を立てた. CWは, 初回嚥下運動を促進する(12g), 初回嚥下時の食塊先端位置を食道入口部に近づける(12g) 初回嚥下時の食塊量を増加する(16g). これらを検証するためにさらなる解析を行った.

(2) 嚥下運動と食塊位置

嚥下運動に対するCWの効果の評価するため, 舌骨上筋および甲状舌骨筋筋電図活動, 舌骨運動を解析した. 初回嚥下時の左右の舌骨上筋および甲状舌骨筋の相対的積分面積は全ての摂取量でFCとCWに差はなかった(Fig. 4). この結果と矛盾なく, 初回嚥下時の左右の舌骨上筋および甲状舌骨筋の持続時間と相対最大振幅も全ての摂取量でFCとCWに差はなかった. さらに, 嚥下時の舌骨移動距離も全ての摂取量でFCとCWに差はなかった(Fig. 5A). 次に, 初回嚥下時の食塊位置を評価した. 食塊先端から食道入口部までの距離は, 全ての摂取量でFCとCWに差はなかった(Fig. 5B).

(3) 推定初回嚥下量の定量的計測

VF像を使った推定初回嚥下量の定量的計測の妥当性を評価するために, 最初に単回嚥下時の推定嚥下量を計測した. 8人から記録を取ったが, 1人は10g米飯を1回で嚥下できなかったため, 7人を解析対象とした. 嚥下量面積は摂取量と有意に正の相関を認めた. 相対



しれない。嚥下時の舌推進力の重要性は、健常者と舌切除後患者の比較から示されている。本研究では舌の位置や運動を評価していなかったが、CWにおいて増加した舌推進圧がHTTの短縮に寄与しているかもしれない。今後の研究において、嚥下時の食塊移送と同時に舌運動も評価すべきと考えられた。

初回嚥下時の推定食塊量は唾液を考慮していないので、本当の重量でないことは明らかである。それでも初回嚥下時の相対的食塊量面積と摂取量は強い正の相関関係があったことは、この推定食塊量の計測が相対的には正しいことを示唆している。16gでみられたCWによるHTTの延長が、増加した初回嚥下時の食塊量に起因していると示唆された。さらに、嚥下時の大きな食塊量が、UES開大時間を延長していた。咀嚼時間が長くなると嚥下時の食塊物性は変化するが、多量の米飯摂取時のCWによる下咽頭通過時間は、食塊量に大きく影響されたと推察できる。なぜなら、12人中の2人はCWで咀嚼時間が延長しているにもかかわらず、嚥下時食塊量が減少しUTDが短縮していたからである(Fig. 7B)、残りの10人はCWで嚥下時食塊量が増加し、UTDが延長していた。

(5) よく噛むことが咀嚼時筋活動に与える効果

最後に、よく噛むことが咀嚼時筋活動に与える効果について検証を行った。全ての摂取量にお

的嚥下量面積は0.967という高い相関係数を伴って、摂取量と有意に正の相関関係を認めた。さらに2人の評価者間信頼性を級内相関係数で調べたところ、0.945と非常に高い信頼性が確認された。これら結果に基づき、推定初回嚥下量の計算式を作成した。CWは16gのみCFよりも有意に推定食塊量が増えた(Fig. 6)。

(4) 下咽頭通過速度および初回嚥下推定食塊量とUTDの関連

12gにおいて、CWはPre-UTDがCFよりも短かった。Pre-UTDと食塊先端位置から食道入口部までの距離から下咽頭通過速度を計算すると、12gにおいてCWがCFよりも有意に速かった(Fig. 7A)。一方、16gでは両者に差はなかった。また、16gにおいてCWとCFの初回嚥下時の推定食塊量の差は、CWとCFのUTDの差と有意に正の相関関係を認めた(Fig. 7B)。一方、12gにおいては、両者に相関関係はなかった。

本研究では、90%以上の被験者が12gが一口量として適当だと判断しており、健常成人男性にとって、米飯8、12、16gはそれぞれ少量、適量、多量と考えられた。8および12gについては、CFとCWいずれも、初回嚥下でほとんどの量を嚥下しており、条件間で差はなかった。しかし16gについては、CFで60%が、CWで80%が初回嚥下で嚥下されており、両者に差を認めた。健常成人でさえ、嚥下する食塊量は習慣などで異なっているのかもしれない。

CWは12gではHTTを短縮し、16gではHTTを延長した。12gのHTTが短かったのは、Pre-UTDの短縮に起因しており、下咽頭通過速度が増加していた。12gの米飯は適切な一口量なので、CWはより容易に嚥下に適当な食塊を形成することができ、下咽頭通過速度が増加したのかもしれない。別の可能性としては、嚥下時筋活動や舌骨移動量に差は無かったが、舌操作の違いがあるかも

いて、CW は CF と比較して咀嚼回数および咀嚼時間は増加し、咀嚼サイクル時間は短縮した。咬筋活動量は 12g のみ CW が CF より小さくなった。一方、舌骨上筋群活動量は 8g と 12g で CW が CF より減少したが、16g では差がなかった。咀嚼後半の舌骨上筋活動は食塊形成に關与することが示唆されていることから、咀嚼時期を咀嚼回数に基づき前期・中期・後期に 3 分割し、舌骨上筋群活動を解析した。舌骨上筋活動量は、8g と 12g の全時期で CW が CF より減少したが、16g は全時期で差がなかった。舌骨上筋持続時間は 8g の中期・後期および 12g の全時期で CW が CF と比較して短く、舌骨上筋最大振幅は 8g の中期および 12g の中期・後期で CW が CF より減少した。初回嚥下時の推定食塊量は 16g のみ CW が CF より多くなり、摂取量に対する初回嚥下食塊量の割合は 16g の CF が他の 5 条件よりも少なかった。8g と 12g では、よく噛むことで中期・後期の舌骨上筋活動量が減少しており、よく噛むことで食塊物性や食塊位置が変わり、食塊形成が容易にできていると推察された。また、16g ではよく噛むことにより自由咀嚼でみられた相対的初回嚥下量の減少が改善されており、よく噛むことで混和される唾液量が増加し、食塊を大きくひとまとめにしてから、嚥下していることが示唆された。

本研究には、いくつかの制限がある。第 1 に、少数の健常成人男性のみを対象としたため、性差や年齢による違いを調査できなかったことである。高齢者や義歯など補綴処置を施された患者、嚥下障害患者などを対象とした調査が必要である。第 2 に、比較的柔らかくて粘着性のある米飯だけをテスト食品として用いたことである。異なる硬さや凝集性の食品を用いれば、異なる結果が得られるかもしれない。第 3 に、我々はただ単に“よく噛む”という漠然と指示をしたため、その意味は被験者によって異なったかもしれない。このことが結果に影響したかもしれない。第 4 に、本研究では“よく噛むこと”の即時的効果のみを調査したことである。将来的には、よく噛むという咀嚼の行動変容が行われた後に咀嚼と嚥下がどのように変調されるかを調査すべきと考えている。第 5 に、テスト食品はバリウムを含んでおり、放射線被曝のために施行回数が少なかったことである。これらの方法論的制限のために、実験条件と実際の食事場面の差を考慮しなければならない。我々の結果は“よく噛む”という指示において、適量な摂取量では下咽頭通過速度が増加し、多量な摂取量では嚥下時食塊量の増加に伴い負荷が増えていることを示唆する。摂食嚥下障害患者に対する咀嚼機能と一口量の重要性が示唆される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kojun Tsuji, Takanori Tsujimura, Shogo Sakai, Taku Suzuki, Midori Yoshihara, Kouta Nagoya, Jin Magara, Yoshihide Sato, Makoto Inoue	4. 巻 319(5)
2. 論文標題 Involvement of capsaicin-sensitive nerves in the initiation of swallowing evoked by carbonated water in anesthetized rats	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol	6. 最初と最後の頁 G564-G572
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1152/ajpgi.00233.2020.	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 Akiko Yawata, Takanori Tsujimura, Ryosuke Takeishi, Jin Magara, Li Yu, Makoto Inoue	4. 巻 15(12)
2. 論文標題 Comparison of physical properties of voluntary coughing, huffing and swallowing in healthy subjects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0242810
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0242810	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 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Takanori Tsujimura, Jin Magara, Akira Okubo, Nobuaki Saka, Yuta Nakajima, Makoto Inoue
2. 発表標題 Volitional chewing affects pharyngeal bolus transit time during swallowing
3. 学会等名 6th International Conference on Food Oral Processing（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻村恭憲, 真柄 仁, 井上 誠
2. 発表標題 筋電図を用いた顎口腔機能計測と臨床応用への期待
3. 学会等名 第28回 日本摂食嚥下リハビリテーション学会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022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
研究 分担者	井上 誠 (Inoue Makoto) (00303131)	新潟大学・医歯学系・教授 (13101)	
研究 分担者	上羽 瑠美 (Ueha Rumi) (10597131)	東京大学・医学部附属病院・准教授 (12601)	

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
---------	---------