

一口嚥下と咀嚼嚥下における嚥下時の筋活動

日本大学大学院歯学研究科歯学専攻

長 島 有 毅

(指導：植田 耕一郎 教授)

要旨

目的：摂食嚥下は日常的に行われる動作であるが、一口嚥下と咀嚼嚥下という嚥下様式の違いによる嚥下反射時の筋活動について詳細に解析した報告はみられない。本研究の目的は、嚥下様式による筋活動の違いを明らかにすることである。

方法：健常成人 20 名を対象とした。一口嚥下として唾液嚥下と液体嚥下，咀嚼嚥下として固形物嚥下と混合物嚥下を行わせ，表面筋電図にて顎二腹筋前腹，胸骨舌骨筋，咬筋，側頭筋，および胸鎖乳突筋における嚥下反射時の筋活動時期と筋活動のピーク値を計測した。咀嚼嚥下では，咀嚼回数と嚥下反射に関与しない範囲での咀嚼時の各筋の筋活動のピーク値（極大ピーク値）も計測した。

結果：嚥下反射時には一口嚥下である唾液嚥下と液体嚥下，そして咀嚼嚥下である固形物嚥下と混合物嚥下の間では，各筋の活動時期と筋活動のピーク値に有意差はなかった。一口嚥下では嚥下反射に一致して各筋が活動していた。咀嚼嚥下では筋活動のピーク時期は咬筋，側頭筋，および胸鎖乳突筋の活動開始が顎二腹筋前腹活動開始の直前か直後に生じており，胸骨舌骨筋活動は遅れて生じた。また，咀嚼時において固形物嚥下で混合嚥下よりも咀嚼回数が多かったが，各筋活動の極大ピーク値に差はみられなかった。

結論：以上より，唾液嚥下，液体嚥下，固形物嚥下，および混合物嚥下という異なる嚥下におけるそれぞれの筋活動様式が明らかとなった。

キーワード：一口嚥下，咀嚼嚥下，表面筋電図，混合物嚥下，顎二腹筋前腹

Abstract

Purpose: Although swallowing is one of the daily activities, no reports elucidate muscle activations between discrete swallowing and chew-swallowing. The purpose of this study was to clarify the differences in muscle activities in these two swallowing manners.

Methods: A saliva and a water swallowing as discrete swallowing, and a cookie and a mixed swallowing as chew-swallowing were adopted in 20 healthy adult subjects. The timing and peak value during swallowing reflex were measured from the anterior belly of digastric, sternohyoid, masseter, temporal, and sternocleidomastoid muscles by using surface electromyography. In addition, the number of mastication and the average value of the local maximum during mastication in each muscle were also evaluated in chew-swallowing.

Results: During the swallowing reflex, there were no significant differences in the timing and peak values of the activities of each muscle between saliva and water swallowing, and cookie and mixed swallowing. Each muscle contracted in accordance with the swallowing reflex in discrete swallowing. In chew-swallowing, the peak timing during swallowing reflex occurred immediately before or after the initiation of the activation of the anterior belly of digastric muscle in the masseter, temporal, and sternocleidomastoid muscles, while it was delayed in the sternohyoid muscle. The number of mastication is more in a cookie swallowing than that in a mixed swallowing before swallowing reflex, but the local maximum values did not show the significant differences in each muscle.

Conclusion: In conclusion, we revealed the differences in muscle activations in saliva, water, cookie, and mixed swallowing.

Keywords : discrete swallowing, chew-swallowing, surface electromyography, mixed swallowing, anterior belly of digastric muscle

緒言

摂食嚥下は日常的に行われる動作であるが、一口嚥下と咀嚼嚥下では生理学的嚥下モデルが異なることが知られている（図1）。一口嚥下では口腔準備期、口腔送り込み期、咽頭期、および食道期の4期に分けられる¹⁾。この4期モデルでは、各期がほぼ重複することなく続く。一方、咀嚼嚥下はプロセスモデルで説明され、食物を捕食して臼歯部まで運ぶ第1期移送に続き、食物を咀嚼により粉碎して唾液と混和することで食塊を形成する **processing** となる。**processing** の途中で咀嚼された食物は順次咽頭へと送り込まれる（第2期移送）^{2,4)}。つまり、一口嚥下と異なり、**processing** と第2期移送がオーバーラップする。移送された食塊は中咽頭に達しても一口嚥下のようにすぐには嚥下反射が生じず、喉頭蓋谷に集積されて **processing** と第2期移送が継続される。そのため一口嚥下と咀嚼嚥下では、健常者においても嚥下反射開始時の食塊先端の位置は異なり、咀嚼嚥下においてはその位置がより深部になる^{2,3)}。さらに、日常の食事では固形物と液体が口腔内で混じり合うことも多く、そのような固形物と液体の混合物（二相性食物）を咀嚼嚥下（混合物嚥下）した時には嚥下反射開始時の食塊先端の位置はさらに深部となり、誤嚥のリスクが高まる⁵⁻⁷⁾。

一口嚥下と咀嚼嚥下のいずれにおいても、嚥下反射の生じる咽頭期においては舌骨上筋群の収縮により舌骨が前上方に急峻に挙上する。舌骨上筋群の中で顎二腹筋前腹、顎舌骨筋、オトガイ舌骨筋は下顎が固定されている場合には舌骨挙上の作用を持つが、それ以外の場合には下顎を引き下げる開口作用を持つ。一口嚥下では咽頭期に舌骨上筋群の収縮が

生じると下顎は固定されているために舌骨は挙上するが、咀嚼嚥下における咀嚼中は開口筋である舌骨上筋群と閉口筋である咬筋、側頭筋とは拮抗関係にあるため、交互に収縮を生じる。咀嚼から嚥下反射への移行時には、舌骨上筋群は開口作用から舌骨挙上作用へと切り替わる^{2,8)}。過去の嚥下時の筋活動パターンを調べた研究においては、液体嚥下時は顎二腹筋前腹と咬筋がほぼ同時に収縮後、胸骨舌骨筋の収縮が生じている⁹⁾。一方、固形物の咀嚼嚥下では、咬筋収縮が先行してその後に舌骨上筋群が収縮し、さらに舌骨下筋である胸骨舌骨筋が収縮するという報告と^{9,10)}、舌骨上筋群、咬筋、側頭筋の共収縮が起こるとい報告があり^{8,11)}、見解の一致を得ていない。また、混合物嚥下における筋活動解析、および一口嚥下と咀嚼嚥下という嚥下様式の違いによる嚥下反射時の筋活動の違いを詳細に解析した報告はみられない。本研究の目的は、一口嚥下として唾液嚥下と液体嚥下、そして咀嚼嚥下として固形物嚥下、固形物と液体の混合物嚥下について、筋活動の違いを明らかにすることである。

材料および方法

頭頸部に機能低下を認めない健常成人 20 名 (男性 14 名, 女性 6 名: 平均年齢 31 ± 4 歳) を対象とし, 頭頸部腫瘍, 脳血管疾患, 神経筋疾患, および神経障害などの既往がある者は除外した。被験者には本研究の内容を口頭および文書で十分に説明し, 同意を得た。また, 本研究は藤田医科大学臨床研究審査委員会に承認を受け (CRB4180003), 臨床研究実施計画・研究概要公開システムへ登録した (jRCTs042190033)。

舌骨上筋群のうち, 筋活動の計測の対象としては最も表層にある顎二腹筋前腹を選択した。被験者の左側の顎二腹筋前腹, 胸骨舌骨筋, 咬筋, 側頭筋, および胸鎖乳突筋に心電図用表面電極レクトロードNP (積水化成工業, 大阪) を貼付し, MQ16 筋電計 (キッセイコムテック, 松本) に接続した。電極の貼付部位は, 顎二腹筋前腹はオトガイ隆起と左右オトガイ結節の midpoint と左右の舌骨小角を結ぶ線上で下顎骨下縁から 20 mm 上側, 咬筋は触知した筋の前後の中央で咬合平面と交わる点, 側頭筋は外耳道前縁より上方 40 mm, 前方 40 mm の点とし, 電極中央部の間の距離はいずれも 15 mm とした (電極の直径: 10 mm)¹²⁾。一方, 胸骨舌骨筋は上甲状切痕から 15 mm 側方, 胸鎖乳突筋相当部は胸鎖乳突筋の中央とし, それぞれ電極中央部の間の距離は 20 mm とした (図2)¹³⁻¹⁵⁾。

臨床における嚥下検査の際に, まず唾液嚥下を確認した後に, 液体や固形物の嚥下を評価する。そのため本研究も, 臨床における嚥下検査に則して行った。座位にて唾液嚥下, 液体嚥下, 固形物嚥下, および混合物嚥下の 4 種類の嚥下の筋活動様相の計測を行った。

唾液嚥下では、安静時に唾液嚥下を指示し、液体嚥下ではシリンジを用いて 10 ml の水を口腔底に注入して嚥下を指示した。固形物嚥下は、約 2 cm 立方のクッキー (Walkers, Aberlour, Scotland) 6 g を被験者の口腔内に入れ、自由に咀嚼嚥下させた⁹⁾。混合物嚥下は、クッキー 6 g を被験者の口腔内に入れた後に水 5 ml を口腔底にシリンジを用いて注入し、自由に咀嚼嚥下させた^{5,6)}。

筋電位の記録には KineAnalyzer (キッセイコムテック) を使用し、全波整流後にサンプリング周波数 1000 Hz, 周波数帯域は 20-500 Hz として 0.01 秒間隔で root mean square (RMS) を算出し、9 点の移動平均による平滑化を行った。振幅が筋収縮開始前の基線の最大値 +5 μV 以上となった時点を筋活動開始とし、筋収縮開始前の基線の最大値 +5 μV 以下となった時点を筋活動終了、筋活動開始から終了までの平滑化波形の最大値を筋活動のピーク値とした。さらに、固形物嚥下と混合物嚥下では、初回嚥下が起こるまでの咀嚼回数、全ての試料を飲みきるまでの咀嚼回数 (全咀嚼回数)、初回嚥下時の咬筋と側頭筋の筋活動の終了から嚥下後の咀嚼再開時の筋活動開始までの時間 (咬筋と側頭筋活動の停止時間)、および嚥下時の筋活動を除外した咀嚼時の各筋の筋活動のピーク値 (極大ピーク値) を計測した。咬筋活動と側頭筋活動の振幅が基線の +5 μV 以下の時にそれぞれの筋活動の停止とした。

各結果は箱ひげ図はで示した (上から最大値, 第三四分位, 第二四分位 (中央値), 第一四分位および最小値を示す)。Shapiro-Wilk 検定を行い、正規分布に従わなかったため、Bonferroni 補正を行った Wilcoxon 符号付順位和検定を用いた。有意水準は 5% とした。ま

た，統計処理には統計ソフト JMP12 (SAS Institute, Cary, NC, USA) を使用した。

結果

液体嚥下と咀嚼嚥下の代表例を図3と4に示した。全試行にわたり、被験者にむせ等の誤嚥を疑わせる徴候はみられなかった。顎二腹筋前腹の活動時間は、固形物嚥下が唾液嚥下と液体嚥下よりも、混合物嚥下が唾液嚥下よりも有意に長く、胸骨舌骨筋の活動時間は固形物嚥下が唾液嚥下と液体嚥下よりも有意に長かった(図5)。顎二腹筋前腹活動開始から胸骨舌骨筋活動開始までは0.09~0.46秒であり、4種類の嚥下間で有意差はみられなかった(表1)。顎二腹筋前腹活動開始から各筋の筋活動のピークまでの時間(タイミング)において、顎二腹筋前腹の筋活動のピークまでの時間までは4種類の嚥下でいずれも有意差はみられなかったが、胸骨舌骨筋の筋活動のピークまでの時間は固形物嚥下では一口嚥下よりも有意に遅く、咬筋の筋活動のピーク、側頭筋の筋活動のピークおよび胸鎖乳突筋の筋活動のピークは咀嚼嚥下では一口嚥下より有意に早期に生じていた(図6,表2)。各筋の筋活動のピーク値は、一口嚥下である唾液嚥下と液体嚥下との間、また咀嚼嚥下である固形物嚥下と混合物嚥下との間では有意差はなかった。しかし、液体嚥下と固形物嚥下の場合を除いて、咬筋の筋活動のピーク値は咀嚼嚥下では一口嚥下よりも有意に大きかった。咀嚼嚥下の咬筋、側頭筋収縮後の活動停止時間は平均1秒以上生じ、固形物と混合物の嚥下間に差はみられなかった(表3)。また、各筋の嚥下時の筋活動のピークのタイミングは、唾液嚥下と液体嚥下では差はみられなかったが、固形物嚥下では咬筋の筋活動のピークは顎二腹筋前腹、胸骨舌骨筋よりも有意に早期に生じ、側頭筋の筋活動のピークも顎

二腹筋前腹，胸骨舌骨筋よりも有意に早かった。混合物嚥下では，咬筋，側頭筋の筋活動のピークはともに顎二腹筋前腹，胸骨舌骨筋よりも有意に早期であった。また，混合物嚥下では胸鎖乳突筋の筋活動のピークは顎二腹筋前腹，胸骨舌骨筋よりも早期であった（表 2）。

咀嚼嚥下において，混合物嚥下よりも固形物嚥下で，初回の嚥下が起こるまでの咀嚼回数，全咀嚼回数ともに有意に多かった。咀嚼時の各筋の極大ピーク値は固形物嚥下と混合物嚥下に有意差はみられなかった（表 4）。また，各筋の咀嚼時の極大ピーク値と嚥下時のピーク値を比較すると，固形物嚥下においては，顎二腹筋前腹では嚥下時に大きく，咬筋と側頭筋では咀嚼時に大きかった。混合物においては，咬筋で咀嚼時に大きかった（図 7）。

考 察

今回、嚥下反射時には一口嚥下である唾液嚥下と液体嚥下、そして咀嚼嚥下である固形物嚥下と混合物嚥下の間では、各筋の筋活動のタイミングと筋活動のピーク値に有意差はみられなかった。顎二腹筋前腹と胸骨舌骨筋の活動時間は咀嚼嚥下では一口嚥下よりも長かったが、顎二腹筋前腹活動開始から胸骨舌骨筋活動開始までの時間に差は生じなかった。各筋の嚥下時の筋活動のピークのタイミングは顎二腹筋前腹では一口嚥下と咀嚼嚥下で違いはなかったが、咬筋、側頭筋および胸鎖乳突筋の筋活動のピークのタイミングは咀嚼嚥下では顎二腹筋前腹活動開始の直前か直後に生じており、胸骨舌骨筋では遅延して生じていた。各筋の筋活動のピーク値も咀嚼嚥下は一口嚥下よりもほとんどの場合、有意に大きかった。一方、咀嚼嚥下における咀嚼の比較では、固形物嚥下は混合物嚥下よりも咀嚼回数が多かったが、咀嚼時の筋活動の極大ピーク値に差はみられなかった。

一口嚥下と咀嚼嚥下の違いについては、既にいくつかの報告がある。咀嚼嚥下では第 2 期移送により健常者でも嚥下反射前に食塊が咽頭に入り、混合物嚥下では嚥下反射開始前に食塊が下咽頭まで達することも多く⁵⁾、混合物嚥下は液体コップ一口嚥下よりも誤嚥のリスクが高いという報告もある⁶⁾。また、食塊が下顎骨下縁を越えてから嚥下反射開始までの時間は stage transition duration (STD) と呼ばれ¹⁶⁾、一口嚥下では STD が 1 秒以上のときに嚥下反射遅延と判断され誤嚥のリスク因子であるが、咀嚼嚥下では嚥下反射前に食塊は咽頭にあることから STD の延長は誤嚥の有無には関与せず、同一健常人であっても咀

嚼の有無で大きく STD が変化する^{7,17)}。また、一口嚥下の喉頭侵入または誤嚥の結果から混合物嚥下での喉頭侵入または誤嚥を予測することは困難であるとされている¹⁸⁾。しかし、表面筋電図を用いて一口嚥下と咀嚼嚥下の違いを詳細に解析した報告はない。

今回の結果では、嚥下反射時に一口嚥下では顎二腹筋前腹、胸骨舌骨筋の筋活動時間は咀嚼嚥下より短い、顎二腹筋前腹の筋活動ピークのタイミングは同じであり、顎二腹筋前腹活動開始から胸骨舌骨筋活動開始までの時間も有意差はなかった。一方、咀嚼嚥下では一口嚥下よりも咬筋、側頭筋および胸鎖乳突筋の筋活動ピークのタイミングは早く、胸骨舌骨筋では遅延して生じていた。また、咀嚼嚥下では嚥下反射時の各筋の筋活動ピーク値も大きかった。一口嚥下でも咀嚼嚥下でも胸骨舌骨筋の筋活動開始は顎二腹筋前腹の筋活動開始よりも遅延し^{9,13)}、表面電極やフック式ワイヤー電極を用いた埋め込み筋電図による計測でも唾液嚥下や液体嚥下において顎二腹筋前腹の筋活動開始から遅れて胸骨舌骨筋の筋活動が開始すると報告されており^{9,15)}、本研究でもこれらの報告を支持するものであった。また、一口嚥下では、顎二腹筋前腹、胸骨舌骨筋、咬筋、側頭筋および胸鎖乳突筋の筋活動ピークのタイミングに有意差は認めず、嚥下反射に一致して各筋が収縮していた。

咀嚼嚥下においては、咀嚼中には、開口筋である舌骨上筋群と閉口筋である咬筋と側頭筋が下顎の開閉に応じて交互に収縮を繰り返す⁸⁾。胸鎖乳突筋に関しては、咀嚼時には咬筋と同期収縮し、咬筋の筋活動量とほぼ比例して変化し、その値は咬筋、側頭筋、および顎二腹筋前腹よりも小さい^{12,14,19)}。本研究では、固形物嚥下は混合物嚥下よりも咀嚼回数

が多く、咀嚼時の筋活動の極大ピーク値は5つの筋ともに固形物嚥下と混合物嚥下で差はみられなかった。固形物嚥下と混合物嚥下に用いているクッキーの量は同じであるため、1回の咀嚼に要する筋活動には変化がないが、混合物嚥下では液体成分が混在するために少ない嚥下回数で食塊形成されて咽頭に流入したと思われる。

咀嚼から嚥下反射に移行する際、舌骨上筋群の収縮は下顎骨を舌骨側に引き寄せる運動から、舌骨を前上方に挙上する運動へと、全く逆の運動となる⁸⁾。嚥下反射時には舌骨上筋群と咬筋および側頭筋の間に共収縮が起こるといふ岳田⁸⁾、Yonedaら¹¹⁾の報告と、咬筋と側頭筋の収縮よりも顎二腹筋前腹と胸骨舌骨筋の収縮が遅れるというInokuchi⁹⁾や相澤ら¹⁰⁾の相反する報告がみられるが、本研究では咬筋と側頭筋の筋活動のピークは舌骨上筋と舌骨下筋よりも有意に早期に生じ、Inokuchi、相澤らの結果を支持するものであった。したがって、それまで開口と閉口のために交互に生じた筋収縮の後に、まず咬筋と側頭筋の収縮により下顎が閉口位で固定され、その後舌骨上筋と舌骨下筋の収縮による嚥下反射が生じたと考えられる。嚥下反射時の咬筋と側頭筋の停止時間は、固形物嚥下と混合物嚥下において平均1秒以上であった。その後、舌骨上筋の収縮に続いて舌骨下筋の収縮終了により嚥下反射が終了し、次の咀嚼のための咬筋と側頭筋の筋収縮が生じていたと考えられる。また、咀嚼時の筋活動の極大ピーク値と嚥下反射時の筋活動のピーク値が、顎二腹筋前腹は嚥下時に、咬筋と側頭筋は咀嚼時により大きかったことから、顎二腹筋前腹は咀嚼時の開口作用よりも嚥下反射時の舌骨挙上作用の役割が大きく、逆に咬筋と側頭筋は咀嚼時には閉口筋として働き、嚥下時には下顎を固定させる作用を担っていると推測される。

本研究の限界としては、対象が比較的若年の健常成人であったため、いずれの試行においてもむせ等誤嚥を疑われる徴候はみられず、誤嚥のリスクが高い患者においても同様の筋活動が生じるかどうか不明である点と、今回は表面電極を用いているために他の筋からの筋活動である **cross-talk** 混入はある程度避けられない点が挙げられ、今後さらに解析を行う必要がある。

結 論

健常人を被検者として一口嚥下である唾液嚥下と液体嚥下，そして咀嚼嚥下である固形物嚥下と混合物嚥下について，それぞれの筋活動の違いを検討した。その結果，一口嚥下である唾液嚥下と液体嚥下，そして咀嚼嚥下である固形物嚥下と混合物嚥下の間では，嚥下時の筋活動はそれぞれ類似していたが，一口嚥下と咀嚼嚥下では筋活動のタイミングが異なることを見出した。

謝辞, その他の特記事項および利益相反学会発表

稿を終えるにあたり, 本研究に終始懇篤なるご指導およびご校閲を賜りました日本大学歯学部摂食機能療法学講座の植田耕一郎教授, 藤田医科大学医学部リハビリテーション医学 I 講座の加賀谷斉教授に謹んで心より感謝申し上げます。また, 本研究を通じ多大なるご協力とご助言を賜りました本学部本講座の阿部仁子准教授, 中山潤利准教授を始め, 本講座の皆様に深く感謝致します。

なお, 本研究に関して申告すべき利益相反はない。

文献

- 1) Logemann JA (1998) Evaluation and treatment of swallowing disorders. 2nd ed, Austin, Texas, 39-42.
- 2) Palmer JB, Rudin NJ, Lara G, Crompton AW (1992) Coordination of mastication and swallowing. *Dysphagia* 7, 187-200.
- 3) Hiiemae KM, Palmer JB (1999) Food transport and bolus formation during complete feeding sequences on foods of different initial consistency. *Dysphagia* 14, 31-42.
- 4) Matsuo K, Palmer JB (2008) Anatomy and physiology of feeding and swallowing: Normal and abnormal. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 19, 691–707.
- 5) Saitoh E, Shibata S, Matsuo K, Baba M, Fujii W, Palmer JB (2007) Chewing and food consistency: effects on bolus transport and swallow initiation. *Dysphagia* 22, 100-107.
- 6) Ozaki K, Kagaya H, Yokoyama M, Saitoh E, Okada S, González-Fernández M (2010) The risk of penetration or aspiration during videofluoroscopic examination of swallowing varies depending on food types. *Tohoku J Exp Med* 220, 41-46.
- 7) Kagaya H, Saitoh E, Shibata S, Onogi K, Aoyagi Y, Inamoto Y (2015) Delayed pharyngeal response in chew- swallow does not increase risk of aspiration in individuals with stroke. *J Am Geriatr Soc* 63, 1698-1699.

- 8) 岳田ひかる, 齋藤和也 (2015) 嚥下運動の相変換に伴う咀嚼筋の共収縮. 口腔・咽頭科 28, 159-163.
- 9) Inokuchi H, González-Fernández M, Matsuo K, Brodsky MB, Yoda M, Taniguchi H (2014) Electromyography of swallowing with fine wire intramuscular electrodes in healthy human: activation sequence of selected hyoid muscles. *Dysphagia* 29, 713-721.
- 10) 相澤秀夫, 佐々木啓一, 渡辺 誠 (2001) 自発嚥下時における顎筋,舌骨筋群活動の時系列的検討. 日補誌 45, 582-591.
- 11) Yoneda M, Saitoh K (2018) Modification of masticatory rhythmicity leading to the initiation of the swallowing reflex in humans. *Dysphagia* 33, 358-368.
- 12) 河村哲夫 (1983) 下顎運動時における頸部の筋の活動性に関する筋電図学的検討. 口病誌 50, 94-115.
- 13) Ding R, Larson CR, Logemann JA, Rademaker AW (2002) Surface electromyographic and electroglottographic studies in normal subjects under two swallow conditions: normal and during the Mendelsohn maneuver. *Dysphagia* 17, 1-12.
- 14) 猪子芳美, 清水公夫, 西川良彦, 渡邊文彦 (2011) ひと口あたり 30 回咀嚼が日本人若年成人の顎筋および胸鎖乳突筋の筋活動に及ぼす影響. 日咀嚼会誌 21, 111-117.
- 15) Mori H, Izumi S, Kagaya H, Oyama H, Abe G, Yashima K, Takagi T (2020) Evaluation of the myoelectric potential of the infrahyoid muscles as a means of detecting muscle activity of the suprahyoid muscles. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 11, 52-58.

- 16) Robbins J, Hamilton JW, Lof GL, Kempster GB (1992) Oro-pharyngeal swallowing in normal adults of different ages. *Gastroenterology* 103, 823-829.
- 17) Kagaya H, Saitoh E, Yokoyama M, Shibata S, Aoyagi Y, Kanamori D (2016) Initiation of pharyngeal response during discrete swallowing and chew-swallowing in healthy subjects. *Prog Rehabil Med* 1, 20160002.
- 18) Ogawa M, Kagaya H, Ozeki M, Kikumura K, Shibata S, Saitoh E (2019) The risk of laryngeal penetration or aspiration among discrete, sequential, and chew-swallowing. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 10, 77-81.
- 19) 牧野英明 (2004) 食品の硬さが咀嚼時の頭部運動に及ぼす影響. *奥羽大歯学誌* 31, 119-128.

図 (写真) および表

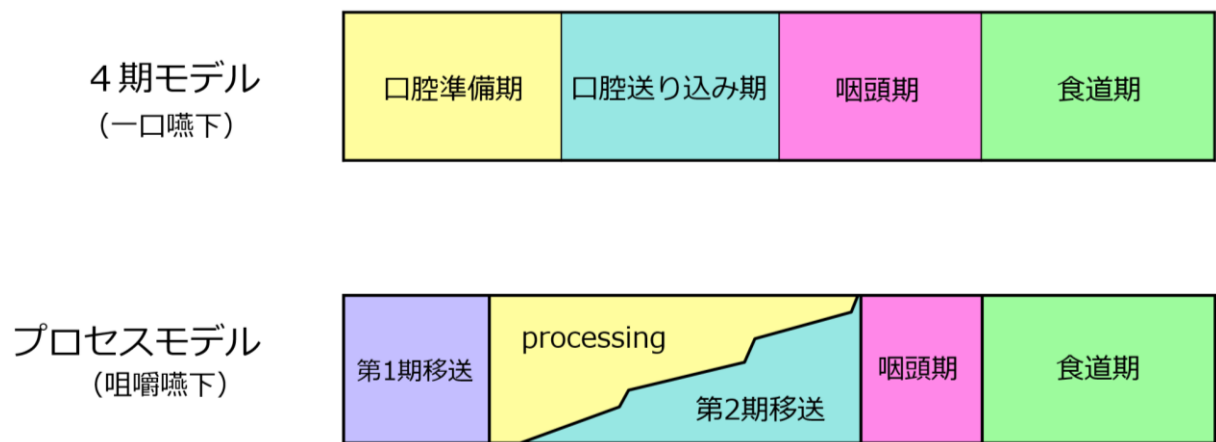


図1 生理学的嚥下モデル

一口嚥下は4期連続モデル，咀嚼嚥下はプロセスモデルで説明される。プロセスモデルでは第1期移送の後，processing と第2期移送がオーバーラップし，食塊が中咽頭に集積された後，咽頭期へ移行する。

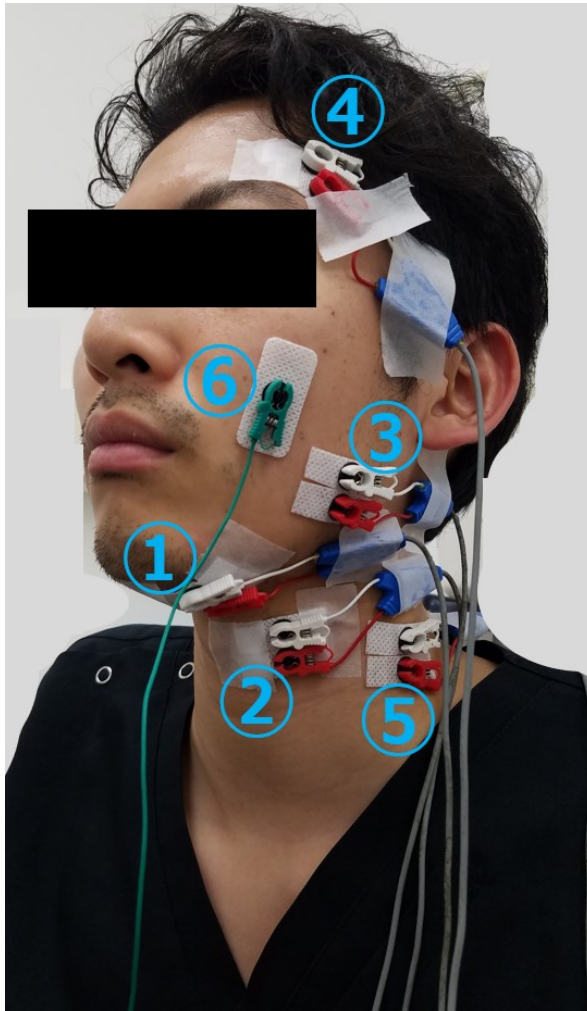


図2 各筋の電極貼付位置

被験者の左側の①顎二腹筋前腹，②胸骨舌骨筋，③咬筋，④側頭筋，⑤胸鎖乳突筋に表面電極を貼付した。また，⑥アース電極も貼付した。

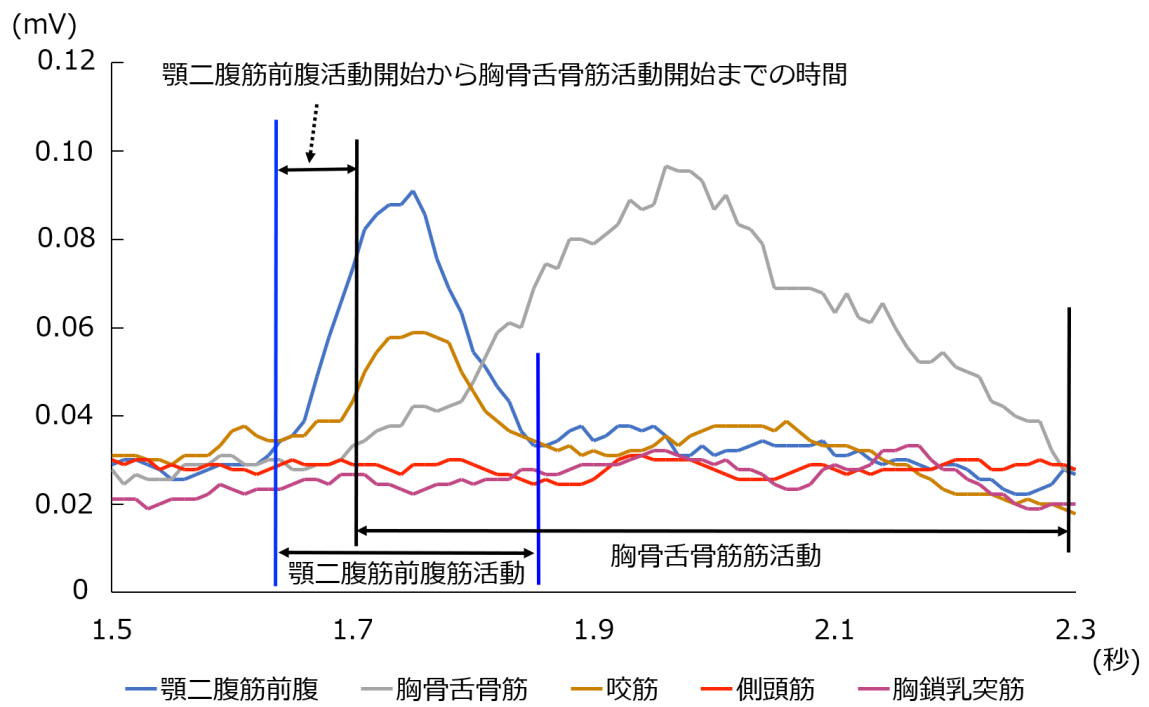


図3 液体嚥下の筋電図波形の1例

横軸を時間，縦軸を振幅とした。

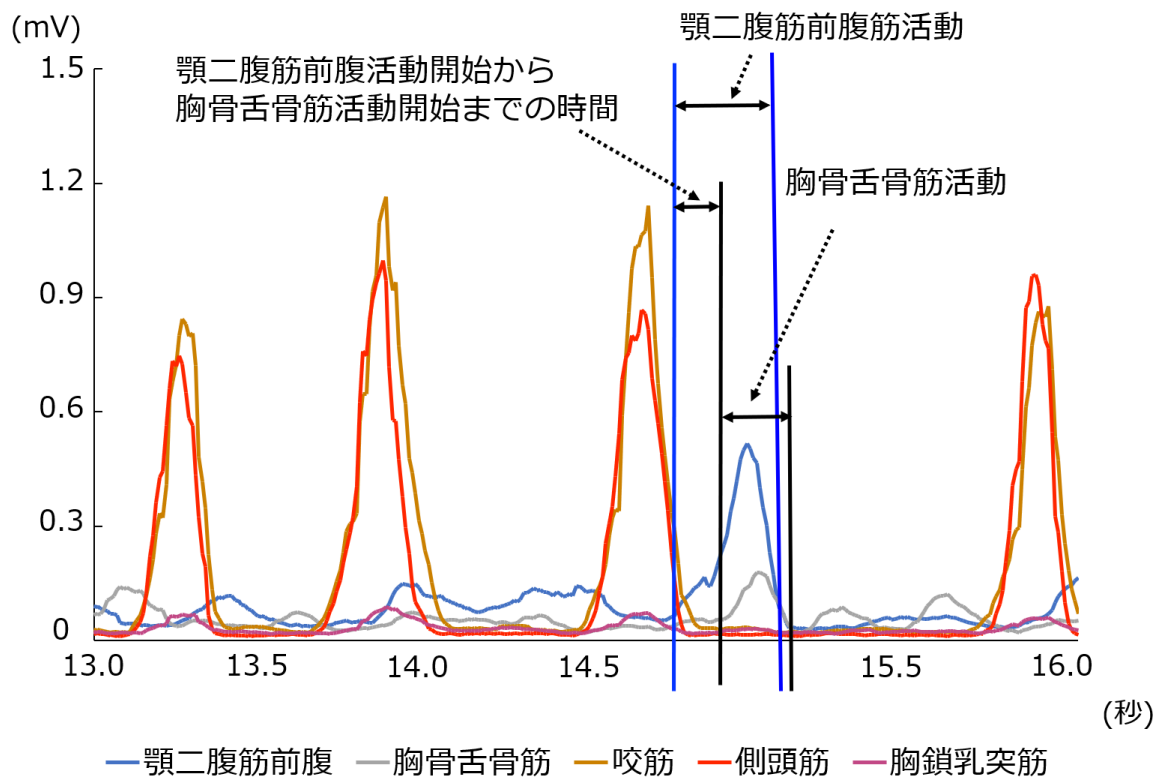


図4 固形物嚥下の筋電図波形の1例

横軸を時間，縦軸を振幅とした。

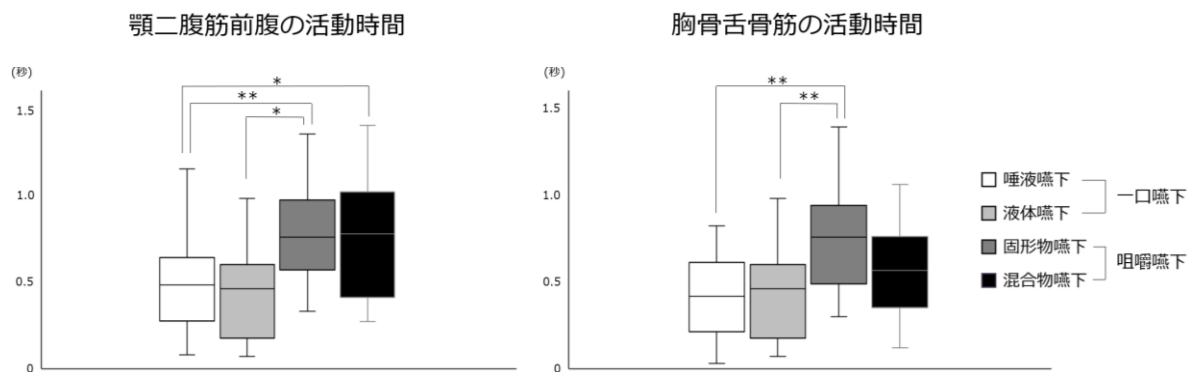


図5 顎二腹筋前腹および胸骨舌骨筋の活動時間

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, Bonferroni 補正を行った Wilcoxon 符号付順位和検定。

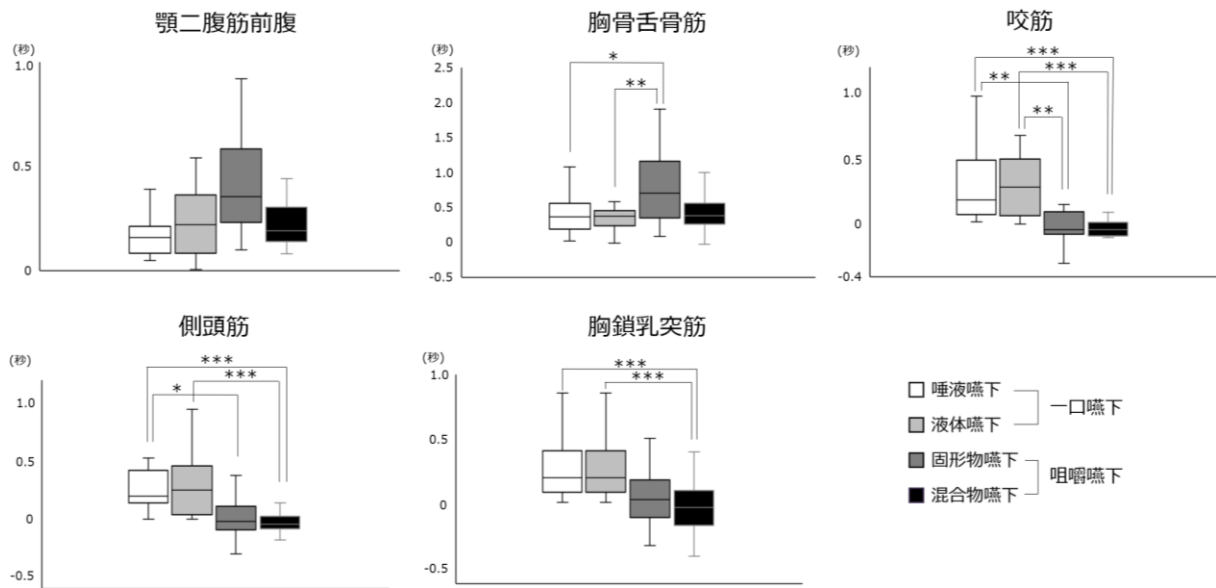


図6 顎二腹筋前腹活動開始から各筋の筋活動のピークまでの時間

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, Bonferroni 補正を行った Wilcoxon 符号付順位和検定。

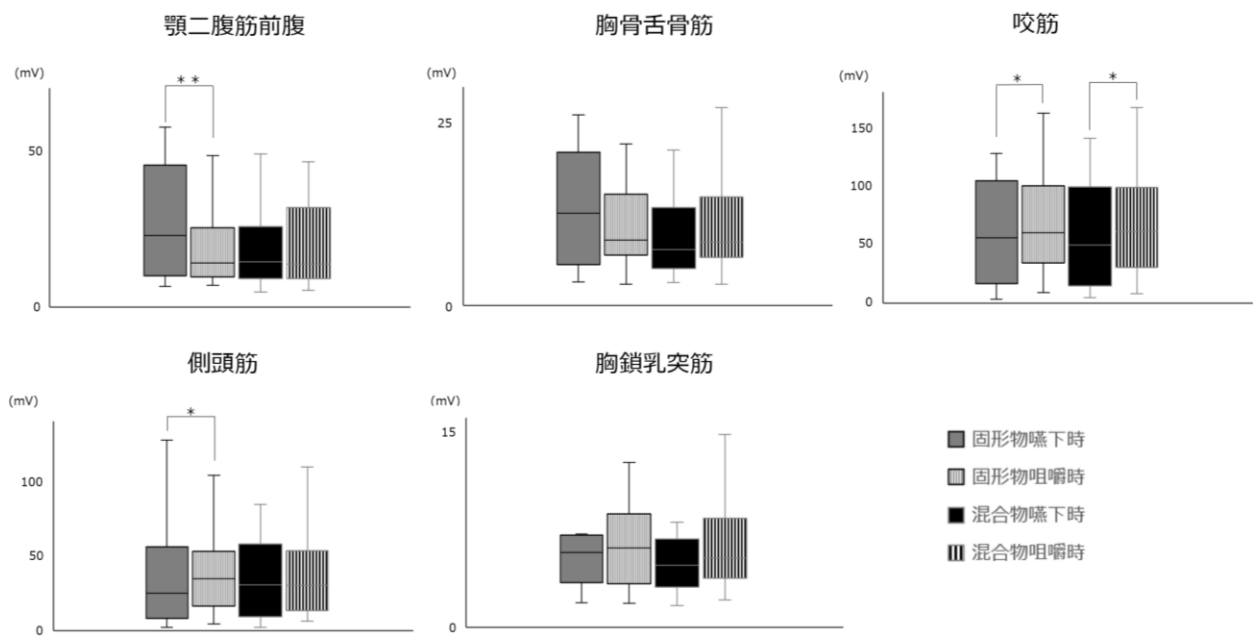


図7 各筋の嚥下時の筋活動のピーク値と咀嚼時の筋活動の極大ピーク値

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, Wilcoxon 符号付順位和検定。

表 1 顎二腹筋前腹と胸骨舌骨筋の活動時間

中央値（第一四分位 to 第三四分位）で示す。Bonferroni 補正を行った Wilcoxon 符号付順位和検定。

n.s.: not significant

	一口嚥下		咀嚼嚥下		<i>p</i> 値					
	唾液嚥下 (S)	液体嚥下 (W)	固形物嚥下 (C)	混合物嚥下 (M)	S-W	S-C	S-M	W-C	W-M	C-M
顎二腹筋前腹活動時間 (s)	0.48 (0.28 to 0.61)	0.50 (0.34 to 0.61)	0.76 (0.58 to 0.97)	0.80 (0.49 to 1.00)	n.s.	0.025	0.004	0.017	n.s.	n.s.
胸骨舌骨筋活動時間 (s)	0.42 (0.26 to 0.58)	0.46 (0.21 to 0.59)	0.76 (0.54 to 0.89)	0.57 (0.40 to 0.74)	n.s.	0.001	n.s.	0.005	n.s.	n.s.
顎二腹筋前腹活動開始 から胸骨舌骨筋活動開始 (s)	0.15 (0.05 to 0.31)	0.17 (0.07 to 0.26)	0.46 (0.03 to 0.68)	0.09 (0.02 to 0.27)	n.s.	ns	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

表2 顎二腹筋前腹活動開始から各筋の筋活動のピークまでの時間

中央値（第一四分位 to 第三四分位）で示す。Bonferroni 補正を行った Wilcoxon 符号付順位和検定。

n.s.: not significant

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ vs. 各嚥下における顎二腹筋前腹の筋活動のピークまでの時間

† $P < 0.05$, †† $P < 0.01$ vs. 各嚥下における胸骨舌骨筋の筋活動のピークまでの時間

	一口嚥下		咀嚼嚥下		p 値					
	唾液嚥下 (S)	液体嚥下 (W)	固形物嚥下 (C)	混合物嚥下 (M)	S-W	S-C	S-M	W-C	W-M	C-M
顎二腹筋前腹活動開始から										
顎二腹筋前腹の筋活動の ピークまでの時間 (s)	0.16 (0.09 to 0.20)	0.22 (0.09 to 0.33)	0.36 (0.24 to 0.51)	0.19 (0.14 to 0.30)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
胸骨舌骨筋の筋活動の ピークまでの時間 (s)	0.37 (0.19 to 0.49)	0.37 (0.25 to 0.45)	0.70 (0.37 to 1.15)	0.38 (0.30 to 0.53)	n.s.	0.017	n.s.	0.004	n.s.	n.s.
咬筋の筋活動の ピークまでの時間 (s)	0.19 (0.08 to 0.49)	0.29 (0.08 to 0.49)	-0.04**† (-0.07 to 0.09)	-0.04**†† (-0.08 to 0.01)	n.s.	0.001	<0.001	0.002	<0.001	n.s.
側頭筋の筋活動の ピークまでの時間 (s)	0.20 (0.14 to 0.38)	0.25 (0.06 to 0.43)	-0.02**†† (-0.09 to 0.10)	-0.05**†† (-0.08 to 0.02)	n.s.	0.021	<0.001	n.s.	<0.001	n.s.
胸鎖乳突筋の筋活動の ピークまでの時間 (s)	0.21 (0.10 to 0.41)	0.21 (0.10 to 0.41)	0.05 (-0.09 to 0.19)	-0.02**† (-0.12 to 0.11)	n.s.	n.s.	<0.0001	n.s.	<0.001	n.s.

表3 嚥下時の各筋の筋活動のピーク値および咬筋と側頭筋の停止時間

中央値（第一四分位 to 第三四分位）で示す。Bonferroni 補正を行った Wilcoxon 符号付順位和検定。

n.s.: not significant

	一口嚥下		咀嚼嚥下		p 値					
	唾液嚥下 (S)	液体嚥下 (W)	固形物嚥下 (C)	混合物嚥下 (M)	S-W	S-C	S-M	W-C	W-M	C-M
嚥下時の筋活動のピーク値										
顎二腹筋前腹 (mV)	0.08 (0.06 to 0.12)	0.09 (0.06 to 0.18)	0.23 (0.10 to 0.45)	0.15 (0.10 to 0.26)	n.s.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	n.s.
胸骨舌骨筋 (mV)	0.08 (0.04 to 0.12)	0.09 (0.06 to 0.12)	0.13 (0.06 to 0.20)	0.08 (0.05 to 0.11)	n.s.	<0.001	<0.001	<0.0001	<0.001	n.s.
咬筋 (mV)	0.09 (0.04 to 0.12)	0.07 (0.04 to 0.11)	0.56 (0.18 to 0.97)	0.50 (0.17 to 0.90)	n.s.	<0.001	0.002	n.s.	<0.001	n.s.
側頭筋 (mV)	0.03 (0.02 to 0.05)	0.03 (0.02 to 0.05)	0.25 (0.11 to 0.51)	0.30 (0.09 to 0.54)	n.s.	0.002	0.002	<0.001	<0.001	n.s.
胸鎖乳突筋 (mV)	0.03 (0.02 to 0.04)	0.03 (0.02 to 0.04)	0.06 (0.04 to 0.07)	0.05 (0.03 to 0.07)	n.s.	<0.001	0.002	<0.001	0.009	n.s.
咬筋停止時間 (s)	-	-	0.95 (0.67 to 1.24)	1.05 (0.67 to 1.64)	-	-	-	-	-	n.s.
側頭筋停止時間 (s)	-	-	1.02 (0.83 to 1.53)	1.06 (0.74 to 1.81)	-	-	-	-	-	n.s.

表 4 咀嚼嚥下での咀嚼回数および各筋の筋活動の極大ピーク値

中央値（第一四分位 to 第三四分位）で示す。Wilcoxon 符号付順位和検定。

n.s.: not significant

	固形物嚥下	混合物嚥下	<i>p</i> 値
初回嚥下までの咀嚼回数 (回)	25 (24 to 31)	20 (15 to 23)	<0.001
全咀嚼回数 (回)	33 (26 to 39)	26 (20 to 29)	0.003
咀嚼時の筋活動の極大ピーク値			
顎二腹筋前腹 (mV)	0.14 (0.10 to 0.23)	0.14 (0.10 to 0.24)	n.s.
胸骨舌骨筋 (mV)	0.09 (0.07 to 0.14)	0.09 (0.07 to 0.14)	n.s.
咬筋 (mV)	0.60 (0.34 to 0.99)	0.61 (0.32 to 0.96)	n.s.
側頭筋 (mV)	0.35 (0.19 to 0.52)	0.30 (0.15 to 0.53)	n.s.
胸鎖乳突筋 (mV)	0.06 (0.03 to 0.08)	0.05 (0.04 to 0.08)	n.s.