

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：24303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01380

研究課題名(和文) Automatic imitationによる摂食嚥下リハビリテーション法の開発

研究課題名(英文) Development of dysphagia rehabilitation based on automatic imitation

研究代表者

松田 剛 (Matsuda, Goh)

京都府立医科大学・医学研究科・助教

研究者番号：70422376

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では他者の嚥下運動を「見る」または「聞く」だけで自身の嚥下運動が促進される新たな嚥下リハビリテーション法の開発を目指し、嚥下運動に関するAutomatic imitation(AI)の存在を3つ実験によって検討した。AIとは他者の運動を無意識のうちに模倣してしまう認知特性のことである。2つの行動実験の結果、嚥下運動を見ることによるAIは確認されなかったが、嚥下音を聞くことによるAIの存在が示唆された。そして近赤外分光法を用いた脳活動計測実験により、嚥下音によるAIには左下前頭回と右側頭回が関与していることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：We investigated whether one's own swallowing may be aided by seeing or hearing other people swallow. Humans have a tendency to unconsciously imitate the actions of other individuals, which is known as automatic imitation. If automatic imitation of swallowing can be achieved, it would lead to the development of a simple and intuitive rehabilitation method for patients with dysphagia. We performed three experiments. Two behavioral experiments indicated that automatic imitation of swallowing was elicited when the swallowing sound was heard, rather than when a swallowing motion was seen. A brain imaging study suggested the left inferior frontal gyrus and the right superior temporal gyrus were involved in automatic imitation elicited by the sound of swallowing.

研究分野：認知科学

キーワード：嚥下 Automatic imitation 嚥下音 リハビリテーション NIRS

## 1. 研究開始当初の背景

2011年に日本人の死因として肺炎が3位に浮上したが、その背景には高齢化に伴う誤嚥性肺炎の増加が考えられている。誤嚥性肺炎は病気や加齢などで嚥下機能が低下し、食道に移動すべき食物や唾液が気管に侵入してしまうことによって生じる。

嚥下は複数の筋肉が関わる緻密かつ連続的な運動であるが、通常は特に意識することなく実行されている。そのためリハビリなどで意識的に嚥下を実行する必要が生じた際に、その実行方法(筋の動かし方)の理解には困難を伴うことが多い。そこで本研究では言葉では理解が難しい嚥下運動を「見る」または「聞く」ことによって促進する方法を複数の実験を通して検討する。

そのための根拠となる人間の認知特性が Automatic imitation (以下 AI) である。AI とは目にした他者の運動を無意識のうちに模倣してしまう特性のことであり、実験的には外部刺激と自身の運動の一致による運動の促進効果として確認される。手や足、口の運動に関する AI の報告は既にあるが、嚥下運動に関する報告はない。

AI の神経基盤として有力なのは、運動を実行するときと他者が行う同じ運動を見たときに共通して活動するミラーニューロンである。当初はサルの脳で発見されたが、ヒトの運動前野や一次運動野などにも同様の反応を示す部位が存在することが報告されており、複数の部位に存在することからミラーニューロンシステムと呼ばれている。近年 fMRI や MEG を用いた研究 (Kawai et al., 2009; Ushioda et al., 2012) により、嚥下造形動画や他者が水を飲む映像を観察した際に、運動前野などの運動関連領域が賦活することが報告されており、嚥下に関連するミラーニューロンシステムが存在する可能性は高い。そしてその事実は嚥下運動に関する AI が存在する可能性も高いことを示唆している。

もし嚥下運動の AI が存在するのであれば、他者の嚥下運動を見るだけで自身の嚥下が促進されることになり、言葉による説明が不要で安全性の高い嚥下リハビリテーション法の開発に繋がることが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、嚥下運動に関する AI を行動、筋肉、脳の3つのレベルで解明することを目指す。

(1) 実験1 および実験2 では他者の嚥下運動を見たときや聞いたときの嚥下反応時間(嚥下 RT: 嚥下の指示が出てから嚥下を開始するまでの時間)と嚥下関連筋の活動を測定し、嚥下運動に関する AI の存在を確認する。

(2) 実験3 では嚥下運動の観察時および実行時の脳活動を近赤外分光法(NIRS)を用いて測定し、嚥下運動に関する AI の神経基盤を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1-1) 実験1

嚥下障害のない成人16名(男8, 女8, 平均23.1歳)が参加した。参加者の右舌骨上筋群と右舌骨下筋群上の皮膚に無線筋電計(WEB-1000, 日本光電)の電極を装着し、喉頭隆起の左4~5cmの位置に咽喉マイク(SH-12iK, 南豆電機)を装着した。筋電は1000Hz、咽喉音は44,100Hzで記録した。

参加者には画面中央の白い十字が緑色に変わったらできる限り早く口に含んだ水を嚥下する嚥下反応課題が課された(図1)。十字が緑色になると同時に課題とは無関係な刺激が提示された。刺激の種類は嚥下運動の動画(男性の横顔)と動画の1フレーム目を抽出した静止画、および嚥下音を組み合わせた動画・嚥下音条件、動画・無音条件、静止画・嚥下音条件、静止画・無音条件の4種類であった。

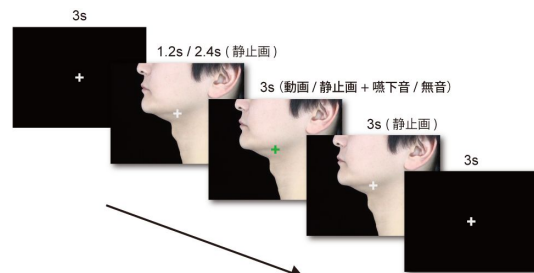


図1 1 試行のシーケンス

各条件を8試行ずつと、十字が緑色にならない静止画・無音条件(キャッチ試行)を4試行加えた計36試行を実施した。条件の出現順序はランダムとした。全試行終了後に参加者は動画と静止画、嚥下音と無音を比較し、どちらを見た、または聞いたときにより飲み込みやすく感じたのかを尋ねる質問紙に回答した。

筋電(右舌骨上筋群)と咽喉音のそれぞれについて、嚥下開始の合図から信号が立ち上がるまでの時間(嚥下 RT)と、立ち上がりから消失までの時間(嚥下時間)、合図から3秒間の平均振幅(筋電は全波整流値、音声はRMS)を求め、二要因分散分析[映像(動画/静止画)×音(嚥下音/無音)]を用いて嚥下動画と嚥下音による参加者の嚥下運動への影響を検討した。筋電と音の平均振幅は参加者ごとに静止画・無音条件の値が1となるように正規化してから分析した。質問紙の分析にはカイ二乗検定を用いた。

### (1-2) 実験2

実験1の結果を受け、嚥下音による嚥下促進効果をより詳しく調べる実験を行った。参加者は嚥下障害のない成人18名(男9, 女9, 平均25.4歳)であった。

課題とは無関係な刺激として2種類の嚥下音(A/B)と2種類のノイズ音(A/B)を用いること以外は実験1と同様の手続きで実施し

た。各音刺激の波形とスペクトログラムを図2に示した。嚙下音はいずれも同一の男性が水3mlを嚙下した際の咽喉音であり、嚙下音Aは実験1で用いた嚙下音と同一であった。ノイズ音はホワイトノイズに各嚙下音のエンベロープをフィッティングさせ、音量変化が嚙下音と完全に一致するようにした。これら4種の音刺激に無音を加えた5つの条件で測定した。

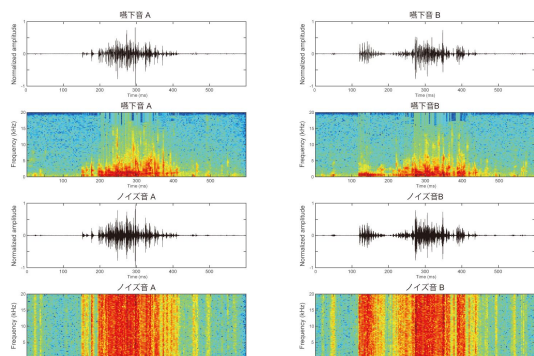


図2 音刺激の波形とスペクトログラム

各条件8試行ずつ、十字が緑色にならないキャッチ試行を4試行加えた計44試行実施した。各条件の出現順序はランダムとした。全試行終了後に参加者は各条件における主観的な飲み込みやすさを7件法で回答した。

実験1と同様に筋電(舌骨上筋群)と咽喉音から嚙下RTおよび嚙下時間、3秒間の平均振幅を求め、二要因分散分析[音の種類(嚙下音/ノイズ音) × パターン(A/B)]と、無音と各音刺激の対比較(t検定)を行った。平均振幅は参加者ごとに無音条件の値が1となるように正規化してから分析を行った。質問紙の分析はウィルコクソン符号順位検定で行った。

## (2) 実験3

嚙下運動の観察時および実行時の脳活動を検討するため、48チャンネル(Ch)のNIRS装置(OMM-3000, 島津製作所)を用いて前頭前野から一次運動野にかけての領域(図3)の酸素化ヘモグロビン変化量(oxyHb)を測定した。

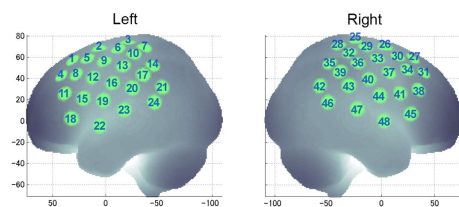


図3 測定部位(全被験者平均)とCh番号

参加者は嚙下障害のない成人24名(男11, 女13, 平均21.6歳)であった。観察条件では実験1, 2で用いた嚙下動画、静止画、嚙下音(A)、ノイズ音(A)およびそれらを組み合わせた動画+嚙下音、静止画+ノイズ音

の6種の刺激を観察した。実行条件では口に含まれた3mlの水を十字の色の変化に応じて嚙下した。

観察条件では画面中央に白い十字のみが提示される15秒または18秒間のレスト時間のあと、いずれかの刺激が8秒間繰り返し提示されるタスク時間を設け、これを1試行とした。実行条件ではレスト時間中に参加者の口に水を入れるため、25秒または28秒のレスト時間のあと、十字の色が緑に変化する8秒間のタスク時間を設けた。各観察条件は7試行ずつ、実行条件は9試行測定した。

血流動態分離法(Yamada et al., 2012)を用いてoxyHbから局所的な神経活動に由来する信号を抽出したあと、参加者ごと、Chごとに各条件の全試行平均波形を求めた。さらにベースライン区間(タスク開始前5秒間)の平均値が1、標準偏差が0となるようにz変換し、z値によるタスク時間中のoxyHbの平均値を算出した。

嚙下動画の観察に関連した脳活動を検出するために嚙下動画条件と静止画条件の比較を、嚙下音の聴取に関連した脳活動を検出するために嚙下音条件とノイズ音条件の比較を、嚙下動画と嚙下音の同時視聴に関連した脳活動を明らかにするために嚙下動画+嚙下音条件と静止画+ノイズ音条件の比較をt検定で行った。さらに実行条件のベースラインとタスク時間の平均値を比較し嚙下実行時の脳活動を求めた。

## 4. 研究成果

### (1-1) 実験1

映像の種類によらず、嚙下音条件の方が無音条件よりも筋電で平均59.1ms、咽喉音で平均76.6ms RTが短かった。

質問紙では無音よりも嚙下音を聞いたときの方が飲み込みやすかったと答えた人数が有意に多かったが、静止画よりも動画を見たときの方が飲み込みやすかったと答えた人数は過半数を超えたものの統計的有意とはならなかった。

これらの結果は嚙下動画によるAIは生じなかったものの、嚙下音によるAIは生じていた可能性を示唆している。ただし実験1では嚙下音と無音の比較しか行っていないため、この効果が嚙下音でのみ生じる効果なのかは不明である。そこで実験2では嚙下音とノイズ音の比較を行った。

### (1-2) 実験2

咽喉音による嚙下RTに音の種類とパターンの交互作用が見られ、嚙下音Aの方がノイズ音A条件よりも平均42.2ms RTが短かった。また筋電による嚙下RTでは嚙下音とノイズ音に差は見られなかった。無音と各音刺激の対比較の結果も踏まえると、嚙下音A条件はノイズ音Aや無音条件よりも有意にRTが短かったものの、嚙下音B条件とノイズ音B条件に有意差はなく、嚙下音B条件と無音

条件の差も有意傾向に留まる結果となった。

これらの結果から、嚥下音に限らず音刺激自体に嚥下運動の開始を早める効果があるものの、ノイズ音よりも嚥下音の方がその効果は強い傾向にあり、なおかつ嚥下音でも波形パターンによってその効果に差があることが示唆された。摂食嚥下障害専門の看護師による刺激音の印象評価では、嚥下音 B よりも Aの方が喉頭挙上から水が咽頭に流れ込むまでの時間が短く、勢いのある嚥下音に聞こえるとの評価を受けている。こうした音の持つ印象や物理的特性が嚥下運動の促進効果に影響を与えているのかもしれない。

主観的な飲み込みやすさの評価では、嚥下音 AB ともにノイズ音 AB よりも有意に点数が高く、飲み込みやすいと評価された。筋電の平均振幅がノイズ音条件よりも嚥下音条件の方が有意に小さかったことを踏まえると、飲み込みやすさの主観的評価は少ない筋活動量で嚥下できたことを反映しているのかもしれない。

## (2) 実験 3

嚥下音の聴取に関わる部位として左下前頭回 (Ch11, 18) および右上側頭回 (Ch48) が検出された一方で、嚥下動画に関連した活動部位は検出されなかった (図 4)。嚥下開始の促進効果が嚥下音で見られ、嚥下動画では見られなかった行動実験の結果と合わせて考えると、左下前頭回と右上側頭回が嚥下音による嚥下運動の促進効果に関与している可能性がある。

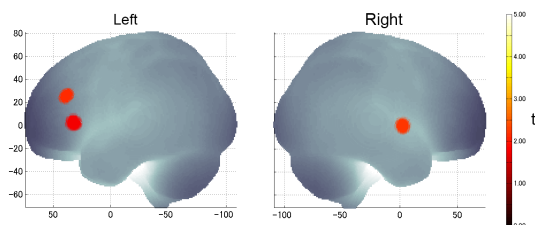


図 4 嚥下音 > ノイズ音となった部位

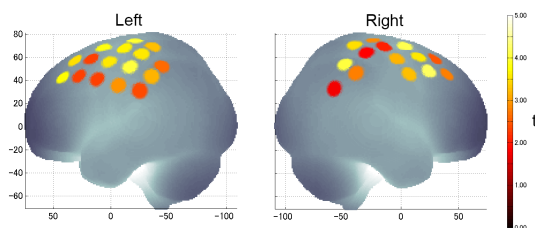


図 5 嚥下実行 > 安静となった部位

一方、嚥下実行時には前頭前野から一次運動野、一次体性感覚野にかけての広い領域で賦活が認められたが、賦活した部位は両側の背側部に集中しており、嚥下音聴取時に見られた下前頭回や上側頭回の賦活は見られなかった (図 5)。

左下前頭回はヒトのミラーニューロンシステムの一部として知られているが、嚥下実行時には賦活していなかったため、本研究で

見られた嚥下運動の促進効果がミラーニューロンシステムに由来するという解釈は難しい。ただし嚥下実行時には咬筋や側頭筋が活動し、前頭部や側頭部のデータにアーチファクトが混入しやすい傾向があったため、下前頭回や上側頭回の活動が正確には捉えられなかった可能性もある。

上側頭回は高次の聴覚処理に関わる部位であることから、嚥下音条件における賦活は嚥下音が意味のある特別な音として処理されていたことを示唆している。

## (3) まとめ

本研究によって他者の嚥下を「見る」ことによる嚥下促進効果は確認できなかったが、嚥下を「聞く」ことによる効果は確認できたと言える。これは普段我々が他者の嚥下運動 (喉仏の動き) を目にする機会よりも、自分や他者の嚥下音を聞く機会の方が多くことに起因しているのかもしれない。また、この嚥下音による促進効果には左下前頭回と右上側頭回が関与している可能性が示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

1. 山脇正永. (2017) 摂食嚥下運動の神経学的基盤. The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, 54, 652-656. (査読無)
2. 山脇正永. (2016) 高齢者の摂食嚥下障害とその食支援. Geriatric Medicine, 54(1), 7-10. (査読無)
3. 山根由起子, 山脇正永. (2016) 神経難病の摂食嚥下障害. 難病と在宅ケア, 22(6), 47-51. (査読無)
4. 山脇正永. (2015) 嚥下障害の神経メカニズム 加齢変化も含めて. 日本早期認知症学会誌, 8(2), 26-30. (査読無)
5. 山根由起子, 鎌倉やよい, 深田順子 et al. (2015) 脳卒中急性期における誤嚥性肺炎のリスク評価アルゴリズムの開発. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌, 19(3), 201-213. (査読有)

[学会発表] (計 13 件)

1. 松田 剛, 山脇正永. (2017) 嚥下音による嚥下運動の促進効果. 第 34 回日本認知科学学会大会, 金沢大学.
2. 松田 剛. (2017) 嚥下を測る. 日本脳機能イメージング学会 第 20 回学術大会, 星陵会館, 東京.
3. 檀 一平太. (2017) fNIRS の向かう道. 日本脳機能イメージング学会 第 20 回学術大会, 星陵会館, 東京.
4. Dan, \_\_\_\_\_ I. (2017) Functional near-infrared spectroscopy ready for

clinical application along with recent technical development for enhancing its potential. IEEE International Symposium on Biomedical Imaging, Melbourne, Australia.

5. Matsuda, G., Yamawaki, M. (2016) Automatic imitation of swallowing. 6th European Society for Swallowing Disorders (ESSD) Congress, Milan, Italy.
6. Yamawaki, M., Matsuda, G., Dan, I. (2016) Cortical mechanisms for the integration of posture and swallowing movement: A fNIRS study. 6th European Society for Swallowing Disorders (ESSD) Congress, Milan, Italy.
7. 松田 剛, 山脇正永. (2016) 嚥下運動の Automatic imitation. 第 33 回日本認知科学会大会, 北海道大学.
8. Dan, I. (2016) Update for spatial registration and statistics tools for fNIRS with emphasis on anchor-based registration, effective multiplicity approach and adaptive GLM. fNIRS 2016, Paris, France.
9. Dan, I. (2016) fNIRS-based neuropharmacological assessment on children with attention deficit/hyperactivity disorder. fNIRS 2016, Paris, France.
10. 山根由起子, ほか7名. (2016) 訪問嚥下回診前後の摂食嚥下能力グレードの変化. 第 18 回日本在宅医学会大会・第 21 回日本在宅ケア学会学術大会・合同大会, 東京ビッグサイト TFT ビル.
11. 山根由起子, ほか7名. (2016) 回復期リハビリテーション病棟における嚥下障害スクリーニングと嚥下食対応の状況. 第 53 回日本リハビリテーション医学会学術集会, 京都国際会館.
12. 山脇正永, 山根由起子. (2015) プライマリ・ケアにおける嚥下障害・誤嚥性肺炎予防への対応. 第 6 回日本プライマリ・ケア連合学会学術大会, つくば国際会議場.
13. 山根由起子. (2015) 脳卒中急性期における誤嚥性肺炎リスクのスクリーニング. 第 21 回日本摂食嚥下リハビリテーション学会学術大会, 京都国際会館.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

松田 剛 (MATSUDA, Goh)  
京都府立医科大学・医学研究科・助教  
研究者番号：70422376

### (2)研究分担者

山脇 正永 (YAMAWAKI, Masanaga)  
京都府立医科大学・医学研究科・教授  
研究者番号：30302855

### (3)研究分担者

山根 由起子 (YAMANE, Yukiko)  
京都府立医科大学・医学研究科・特任助教  
研究者番号：80745282

### (4)研究分担者

檀 一平太 (DAN, Ippeita)  
中央大学・理工学部・教授  
研究者番号：20399380