

嚥下運動の Automatic imitation

Automatic imitation of swallowing movement

松田 剛[†], 山脇正永[†]
Goh Matsuda, Masanaga Yamawaki

[†] 京都府立医科大学
Kyoto Prefectural University of Medicine
gmatsuda@koto.kpu-m.ac.jp

Abstract

We investigated whether observing or hearing other people's swallowing aids in one's own swallowing. Humans have a response tendency to unconsciously imitate the actions of other individuals, known as automatic imitation (AI). If AI of swallowing can be achieved, it would lead to the development of a simple and intuitive rehabilitation method for patients with dysphagia. The surface electromyography (EMG) electrodes were attached to the right suprahyoid muscles, and an electronic microphone was attached to the left side of the laryngeal prominence in 16 healthy adults (mean age, 23.1 years). The participants were asked to swallow 3 mL of water as soon as possible when the color of the white fixation cross changed to green. Simultaneously, one of the four experimental stimuli (a moving image of a man swallowing with a swallowing sound, a moving image without sound, a still image of a man with a swallowing sound, and a still image without sound) was displayed behind the cross. We calculated the swallowing reaction time (SwRT) from the amplitude of EMG and acoustic data under each condition. The SwRT was approximately 70 ms faster when the swallowing sound was played, while observing the action had no effect. In daily life, we rarely observe the laryngeal swallowing movement but commonly hear the swallowing sound. Therefore, a swallowing sound would have a greater effect on the AI.

Keywords — Swallowing, Automatic imitation, Electromyography

1. はじめに

嚥下は複数の筋が関わる緻密かつ連続的な運動あり、随意的および不随意的に開始・実行されている。そのため脳血管疾患などにより嚥下障害を起こし、リハビリで意識的に実行する必要がある際に、その実行方法（筋の動かし方など）の理解には困難が伴うことが多い。そこで本研究では、言葉では理解が難しい嚥下運動を見たり聞いたりすることで促進できる可能性を検討した。そのための根拠となる認知機能が Automatic imitation である。Automatic imitation 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認知機能のことであり、言い換えれば外部刺激と自身の運動の互換性による運動の促進効果のことで

ある[1]。例えば、人差し指のタッピング課題において、被験者に他者のタッピング運動と、指を逆方向に（下から上に）動かすリフティング運動の映像を見せた場合、タッピング運動を見せたときの方が反応時間が有意に早くなることが報告されている[2]。本研究では他者の嚥下場面を見たり聞いたりしているときの参加者の嚥下運動を筋電計とマイクによって記録し、Automatic imitation による嚥下運動の促進効果を検討した。

2. 方法

参加者は嚥下障害のない健康成人 16 名（男 8, 女 8, 平均 23.1 歳）であった。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 の位置に咽喉用マイク（SH-12iK, 南豆電機）を装着した。筋電は 1000Hz、音は 44,100Hz で記録した。

視覚刺激として事前に撮影した嚥下場面の動画（男性の横顔）と動画の 1 フレーム目を抽出した静止画を、聴覚刺激として嚥下音を用い、それら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 条件で測定した。実際の嚥下場面においては喉頭挙上よりやや遅れて嚥下音が発生するが、刺激のオンセットを揃えるため、動画・嚥下音条件では喉頭挙上と同時に嚥下音が提示された。視覚刺激は 23 インチ液晶モニタに提示し、聴覚刺激はヘッドフォンで提示した。参加者とモニタの距離は約 60cm とした。

1 試行の手続きは以下の通りである。実験者が 3ml の水が入った紙コップを参加者の前に置き、参加者はその水を口に含んだ状態で待つ。試行開始の合図として 450Hz の矩形波音が 100ms 提示され、同時にモニタの中央に注視点となる白い十字が提示された（図 1）。その 3 秒間後に十字の背景に男性の横顔が表示され、さらに 1.2 秒（または 2.4 秒後）に嚥下開始のキューとして十字の色が緑色に変化した。参加者は事前に十

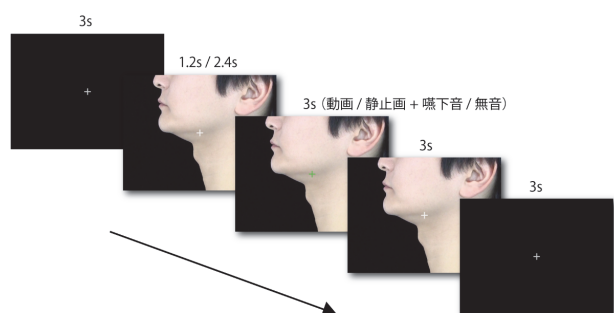


図1 各試行のシーケンス

字を見続け、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飲み込むように教示されていた。嚥下開始のキューと同時に条件に応じて動画または嚥下音が（動画・嚥下音条件のときは両方同時に）再生された。そしてその3秒後に横顔が消え十字が白色に戻り、さらに3秒後に試行終了となった。

各条件4試行ずつと、さらにキャッチ試行として十字が緑色に変わらない静止画・無音条件を2試行加えた計18試行を1ブロックとし、ブロック間に数分の休憩を挟んで2ブロック実施した。各ブロックの冒頭には練習試行を5回行い、条件の出現順序はランダムとした。

3. 解析

嚥下開始のキューから4秒間を解析区間とし、筋電および録音データのOnset（嚥下反応時間に相当）とOffset、継続時間（OnsetからOffsetまでの時間）、4秒間の平均振幅（筋電は全波整流値、音は1msごとのRMSを使用）を求めた。筋電は全参加者で明瞭な活動が見られた舌骨上筋群のデータを用いた。嚥下動画と嚥下音による嚥下運動への影響を検討するため、各測定データの嚥下反応時間、継続時間、平均振幅ごとに反復測定二要因分散分析〔映像（動画／静止画）×嚥下音（あり／なし）〕を行った。筋電と音の平均振幅は各参加者の静止画・無音条件の平均振幅が1となるように正規化してから分析を行った。

4. 結果

嚥下反応時間は筋電と音のいずれにおいても嚥下音の主効果が有意であり（筋電: $F(1,15) = 10.58$, $p < 0.01$; 音: $F(1,15) = 29.30$, $p < 0.01$ ）、嚥下音ありの方が反応時間が短かった（図2）。音の平均振幅では嚥下音の主効果が見られ（ $F(1,15) = 9.07$, $p < 0.01$ ）、嚥下音ありの方が振幅が大きかった（図3）。筋電の平均振

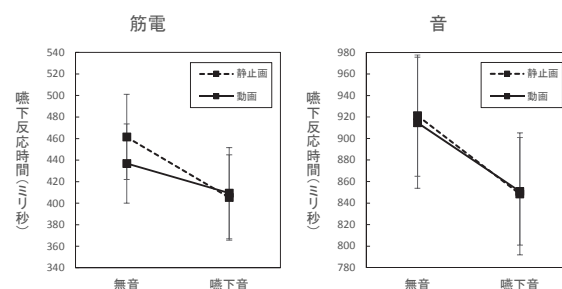


図2 各条件の嚥下反応時間

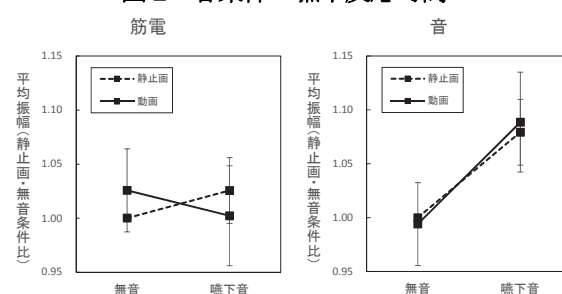


図3 各条件の嚥下反応時間

幅においては交互作用が見られ（ $F(1,15) = 5.21$, $p < 0.05$ ）、単純主効果検定の結果、静止画・嚥下音条件よりも動画・嚥下音条件の方が振幅が小さい傾向が見られた（ $p = 0.06$ ）。信号の継続時間には主効果や交互作用は見られなかった。

5. 考察

本研究では他者の嚥下を見たり聞いたりすることによる嚥下運動の促進効果を検討した。その結果、他者の嚥下音を聞くことで嚥下反応時間が短くなり、自身の嚥下音の音量が大きくなることが明らかとなった。

嚥下運動自体は延髄にあるパターンジェネレータによって制御される不随意な運動であるが、本実験のように意識的に嚥下運動を開始する場合、大脳皮質の嚥下関連領域からの遠心性の信号によってパターンジェネレータが駆動されることが知られている[3]。嚥下反応時間の短縮はこの遠心性の信号伝達が迅速に実施されたことを示唆しており、その背景にはミラーニューロンシステムの介在があるのかもしれない。脳磁図を用いた研究では、嚥下動画や嚥下音を視聴したときに運動前野が活動することが報告されている[4]。

嚥下音が増大した要因については、飲み込む食塊の量が増えると嚥下音の音量が大きくなることが示されているため[5]、もしかすると本研究のように同容量の水を口に含んだ場合でも、嚥下音を聞くことによって一度に咽頭に流れ込む水の量が増えていたのかもしれ

ない。嚥下音を分析した研究は複数存在するが[6, 7]、その多くは嚥下音の継続時間や成分数、周波数、またそれらの年齢差、男女差などに着目しており、個人内の同一容量の嚥下における音量の変化とその要因について検討した研究は見当たらない。そのため本研究において嚥下音が増大した要因については推測の域を出ず、その正確な解釈にはさらなる研究が必要である。

一方で、他者の嚥下を見ることによる顕著な効果は観察されなかった。今回は視覚刺激として喉頭隆起の上下運動のみを用いたが、四肢の運動と比べて規模が小さく、我々が日常生活において他者の嚥下運動を直視する機会はあまりない。むしろ嚥下音を聞く機会の方が多いため、聴覚刺激の方が効果的に働いたのかもしれない。

ただし筋電の平均振幅が静止画・嚥下音条件よりも動画・嚥下音条件のときに小さくなったという結果は、他者の嚥下運動の観察が自身の嚥下運動に何らかの影響を及ぼしている可能性を示している。筋電の振幅は筋肉の活動量に比例しているため、静止画を見ながら嚥下音を聞いたときよりも、動画と嚥下音を同時に視聴したときの方が嚥下に関する筋活動量が小さかったことになる。これは筋活動が不十分な嚥下運動が行われたという解釈も可能だが、嚥下反応時間や音量、継続時間に両条件間の差はなかったことから、いずれの条件においても同質の嚥下が実行されていたと考えることもできる。つまり静止画・嚥下音条件よりも、動画・嚥下音条件の方がより少ない筋活動量で同質の嚥下運動を実行できていたと解釈することが可能である。

また、統計的に有意ではなかったものの、図3を見ると無音条件間ではこの傾向が逆転しており、動画・無音条件よりも静止画・無音条件の方が筋活動量が小さいように見える ($p=0.11$)。もしかすると、静止画・嚥下音条件と動画・無音条件では、音と映像の不一致によって余計な認知的負荷がかかったため、嚥下の開始に本来よりも過剰な筋活動を生じさせる必要があったのかもしれない。

6. おわりに

本研究により、嚥下音を聞くことで自身の嚥下が促進されることが明らかとなった。ただし今回用いた聴覚刺激は嚥下音のみであるため、この結果が嚥下音によって惹起された Automatic imitation なのか、単なる聴覚刺激による反応促進効果なのかは不明である。また嚥下動画による筋活動の変化が観察されたものの、

嚥下音ほどの顕著な促進効果は見られなかった。今後は嚥下音とその他の音声の比較や、日常的な嚥下場面に近い視覚刺激を用いた実験を実施し、嚥下運動の Automatic imitation の存在とその効果についてより詳細に検討していく予定である。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 15K01380 の助成を受けている。

参考文献

- [1] Heyes, C. (2011). Automatic imitation. *Psychological bulletin*, 137, 3, 463-83.
- [2] Brass, M., et al. (2000). Compatibility between observed and executed finger movements: comparing symbolic, spatial, and imitative cues. *Brain and cognition*, 44, 2, 124-143.
- [3] Mihai, P. G., et al. (2014). Sequential evolution of cortical activity and effective connectivity of swallowing using fMRI. *Human brain mapping*,
- [4] Ushioda, T., et al. (2012). Visual and auditory stimuli associated with swallowing activate mirror neurons: a magnetoencephalography study. *Dysphagia*, 27, 4, 504-13.
- [5] Youmans, S. R. and Stierwalt, J. A. (2005). An acoustic profile of normal swallowing. *Dysphagia*, 20, 3, 195-209.
- [6] Boiron, M., et al. (1997). Exploration of pharyngeal swallowing by audiosignal recording. *Dysphagia*, 12, 2, 86-92.
- [7] Morinière, S., et al. (2006). Sound component duration of healthy human pharyngoesophageal swallowing: a gender comparison study. *Dysphagia*, 21, 3, 175-182.