



下顎運動の計測・提示による咀嚼の支援

梶浦雅之¹⁾, 倉本尚美²⁾, 蜂須拓¹⁾

1) 筑波大学 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, kajiura, hachisu@ah.iit.tsukuba.ac.jp)

2) 茨城県立医療大学 (〒 300-0394 茨城県稲敷郡阿見町阿見 4669-2, kuramoto@ipu.ac.jp)

概要: 摂食嚥下において, 咀嚼は消化を円滑にするために欠かせない行動であり, 適切な咀嚼は下顎の鉛直方向による食物の粉碎だけでなく水平方向による食物のすり潰しの二次元運動が重要である. 特に小児に対してはこの下顎の二次元運動の言語的な指導が困難であることが確認されている. そこで本研究では日常的な咀嚼行動の支援のために下顎の二次元運動を計測し, 計測データをもとに可聴/可触化することで咀嚼への気づきを促す装着型デバイスの設計・開発を目的とする. 本稿では 5 人の実験参加者に対して加速度センサを用いた非咀嚼/咀嚼動作時における下顎の二次元運動を計測した. 本結果より, 咀嚼時において非咀嚼時の 4 倍程度の水平成分の実効値が観察され, 咀嚼指導において加速度センサを用いた評価が可能であることが示唆された.

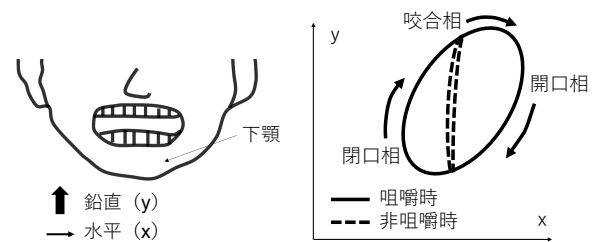
キーワード: ウェアラブルデバイス, 咀嚼, 感覚提示

1. はじめに

咀嚼は食物を粉碎し唾液によって凝集することで食塊をつくることであり, 誤嚥・窒息を避け円滑に消化するために重要である. Nabeel らの報告では, 小児期から青年期にかけて咀嚼行動が大きく変容する [1] ため, この時期の適切な咀嚼の指導方法の確立は社会的意義が大きいと言える. 一般的な嚙む回数に基づく指導に加え, Tagashira らは下顎の鉛直方向による食物の粉碎だけでなく水平方向による食物のすり潰しをとともなう楕円軌跡を描く回転運動の必要性を指摘している [2] (図 1a). また咀嚼周期は開口相, 閉口相と咬合相の 3 相で定義され, 食塊形成のためにはそれぞれの相においても水平方向の運動が重要である (図 1b).

一方で, 我々の歯科医や看護師に対するインタビュー調査では, これらの小児への言語コミュニケーションによる咀嚼指導が困難であることを確認している. これに対し, 我々は工学デバイスの利用により, 継続的かつ感覚的に咀嚼を指導することを考えた. 類似の研究で, Shin らは継続的な摂食量の計測を目的に, 眼鏡に装着可能な小型軽量デバイスにより使用者の快適性を損なうことなく下顎運動ともなう筋活動や振動から嚙む回数の計測を実現した [3]. Koizumi らは主に嚙むことによる食物の粉碎音を計測, 変調することで食感を拡張し食の楽しさを演出するデバイスを開発した [4]. 以上はいずれも嚙むことに着目した研究である一方, 咀嚼に必要な下顎の鉛直および水平方向への運動は十分に検討されていない.

本研究では, 日常的な咀嚼行動の支援のために下顎の二次元運動を計測し, 可聴/可触化することで使用者へ咀嚼周期における水平方向への運動の気づきを促す装着型デバイスの設計・開発を目的とする. 本稿では, デバイス設計の基礎検討として加速度センサによる咀嚼時の下顎の二次元運動計測について報告する.



(a) 水平 (x) と鉛直 (y) 方向の定義

(b) 下顎軌道

図 1: 咀嚼・非咀嚼時の下顎軌道について

2. 目的

本実験では加速度センサを用いて定型発達者の非咀嚼時と咀嚼時の下顎の二次元運動を計測し, 咀嚼時の楕円軌跡を検知可能か検証する.

2.1 システム構成

本システムは三軸加速度センサ (Analog Devices, ADXL337), マイクロコントローラ (Espressif Systems, ESP32-DevKitC), ホストコンピュータで構成した. 加速度センサは下顎に医療用両面テープを用いて貼付した. 鉛直方向と水平方向の加速度を 1 ksps でサンプリングした. また計測時にはカメラを用いて下顎の運動を録画した. 咀嚼時においてより大きな水平成分の実効値が観測されるという仮説を立てた.

2.2 手続き

非咀嚼時は口腔内に何も入れない状態で, 参加者に歯を噛み合わせる動作を行うように指示した. 咀嚼時は, 継続した計測を行うため食塊が形成されないガムを口腔内に入れ, 参加者に咀嚼するように指示した. ただし咀嚼の開始時点では, ガムの糖衣の切断・破碎・粉碎による下顎の運動以外の影響を受けないよう事前に十分に糖衣がなくなる

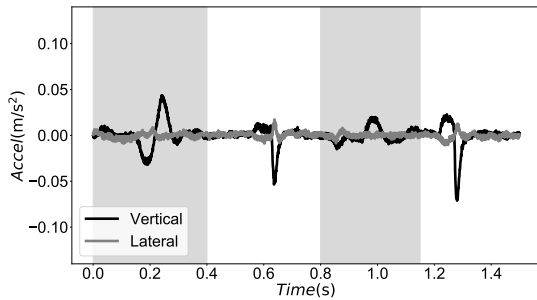


図 2: 非咀嚼時の加速度波形例

ように咀嚼しておくように指示した。実験者はカメラの録画開始後に合図を出し、参加者は 90bpm のメトロノーム音に合わせて噛み合わせ／咀嚼を 15 回行った。これにより参加者および条件間での下顎運動の周期を統制した。解析ではより自然な咀嚼を評価するため計測開始時より、最初の 5 回と最後の 5 回を除いた。次の実験者の合図で終了した。

5 名の参加者（平均年齢 24.6 ± 4.8 歳）に対し計測を行った。まず、計測において加速度の水平および鉛直成分から直流成分を取り除いた。次に、それぞれの実効値を求め、参加者間の非咀嚼／咀嚼時の平均値および標準偏差を求めた。

2.3 結果

本実験で得られた非咀嚼時および咀嚼時の代表的な下顎運動を図 2, 3 に示す。また得られた実効値の平均値と標準偏差を表 1 に示す。本結果より、仮説通り咀嚼時において非咀嚼時の 4 倍程度の水平成分の実効値が観察された。特に咀嚼時ではビデオでの下顎の動きに合わせて周期的な波形が観察された。鉛直方向に注目すると、非咀嚼時では開口と閉口によって生じる加速度変化が連続的に変化しているが（図 2）、咀嚼時では開口と閉口が不連続で加速度が変化していない状態が 0.1 秒間程度カメラ映像と加速度より確認できた。これは、開口後に下顎は水平方向に、閉口後には水平反対方向に運動しており、橢円軌跡で運動していることが示唆させる。またカメラ映像の目視によって咀嚼時では下顎の橢円軌跡の運動が確認できた。しかし非咀嚼時においても一部の参加者では水平方向の加速度が検出された。カメラ映像を観察したところ、目視では水平方向の動きが確認できなかったが、加速度センサの不十分な固定や重心のずれにより回転が生じ、変位量は小さいものの比較的大きな加速度が生じたと考えられる。

以上の結果より、定型発達者の咀嚼時において下顎の周期的な水平方向の加速度が観察されることが明らかとなった。したがって、咀嚼指導において下顎の二次元運動計測に加速度センサを利用可能であることが示唆された。

3. おわりに

本稿では、定型発達者の非咀嚼時と咀嚼時の下顎の二次元運動を加速度センサを用いて計測し、咀嚼時と非咀嚼時における下顎軌道の違いを検知可能か検証した。本結果より、咀嚼時において非咀嚼時の平均で 4 倍程度の下顎の水

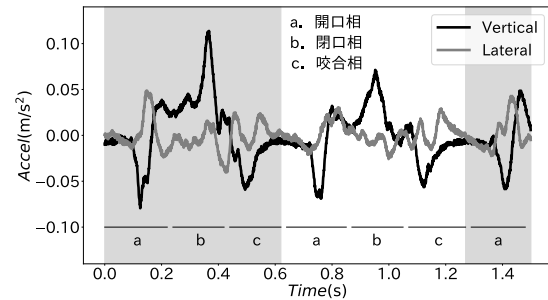


図 3: 咀嚼時の加速度波形例

表 1: 実験参加者咀嚼, 非咀嚼時の RMS 値平均

	非咀嚼	咀嚼
Lateral(m/s ²)	0.004 ± 0.002	0.016 ± 0.003
Vertical(m/s ²)	0.014 ± 0.003	0.030 ± 0.003

平方方向への周期性をもった加速度が計測された。また、非咀嚼時においては水平方向の加速度が確認されなかったため、咀嚼指導において鉛直方向への運動から得られる咀嚼回数を提示するのみでは十分な咀嚼指導を行うことができないことが示唆された。今後は水平方向の加速度成分を用いて咀嚼行動の支援を目的とした可聴／可触化を含む感覚提示を行う加速度センサによる下顎の二次元運動計測を基にした装着型デバイスの設計・開発を行う。

参考文献

- [1] Grigoriadis Anastasios Almotairy Nabeel, Kumar Abhishek. Effect of food hardness on chewing behavior in children. Clin Oral Investig, 2021.
- [2] Wakasugi Yoko Hara Koji Nakane Ayako Yamazaki Yasuhiro Matsubara Mariko Minakuchi Shunsuke Tagashira Itoe, Tohara Haruka. A new evaluation of masticatory ability in patients with dysphagia: The saku-saku test. In *Volume 74*. Archives of Gerontology and Geriatrics, 2018.
- [3] Jaemin Shin, Seungjoo Lee, Taesik Gong, Hyungjun Yoon, Hyunchul Roh, Andrea Bianchi, Sung-Ju Lee. Mydj:sensing food intakes with an attachable on your eyeglass frame. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery, 2022.
- [4] Naoya Koizumi, Hidekazu Tanaka, Yuji Uema, and Masahiko Inami. Chewing jockey: Augmented food texture by using sound based on the cross-modal effect. In *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '11*. Association for Computing Machinery, 2011.