

## 3軸加速度センサによる咀嚼時下顎運動の定量化 Quantification of mandibular movement during mastication using a 3-axis acceleration sensor

大塚 佳代子\*・岩下 篤司\*・小西 有人\*\*・田中 昌博\*\*\*  
OTSUKA Kayoko, IWASHITA Atsushi, KONISHI Yuto, TANAKA Masahiro

### 要 旨

咀嚼運動の定量化は重要な課題であり、様々な機器を用いて客観的な計測方法が検討されている。しかし、それらの機器は身体の左右対称性の保持や口腔内での装着が必要であるなど、身体や咀嚼・嚥下に障害を有する者には適用が困難である。そこで本研究は、簡便に咀嚼運動を定量化する方法を検討する目的で、24歳から74歳の健常有歯顎者8名（男性5名女性3名 平均年齢48.8歳±16.8歳）を対象に、3軸加速度センサを用いて咀嚼時下顎運動の計測をおこなった。下顎運動の計測は、咀嚼嚥下訓練用食品を用いて、8等分した1片（約6g）を1口として3口摂取し、加速度センサを下顎オトガイ部に貼付して、加速度をサンプリング周波数20Hzにて計測した。得られた下顎部の上下・左右・前後の3方向の加速度信号は、全波整流平滑化処理を施し、開口から嚥下までの波形から面積を算出し、各方向への下顎の運動量とした。また、3方向の成分を合成したものを総下顎運動量とした。結果、摂取時間は摂取回数の増加に伴い減少したが、下顎運動量には明らかな差がみられなかった。今回、健常者において、3軸加速度センサを用いて簡便に咀嚼時の下顎運動の定量化が可能であったことから、今後、脳血管疾患により咀嚼・嚥下障害を呈した患者について、咀嚼能力の改善に寄与するため、咀嚼時下顎運動の様相を明らかにしていきたい。

### Abstract

Quantification of masticatory movement is an important issue, and objective measurement methods using various devices are being studied. However, any method is difficult to apply to people with disabilities, especially those involving mastication and swallowing. In this study, in order to assess a simple method for quantifying masticatory movements, we studied 8 healthy-dentate individuals aged 24 to 74 years (5 males, 3 females; average age, 48.8 years ± 16.8 years). Mandibular movement during mastication was measured using a 3-axis acceleration sensor. Movement was measured using food that are easy to masticate and swallow, taking three halves of one piece (about 6 g) as one mouthful, attached an acceleration sensor to the mentum, and measuring acceleration at a sampling frequency of 20 Hz. The obtained acceleration signals in vertical, lateral, anteroposterior directions of the lower jaw were subjected to full-wave rectification and smoothing processing, and the area was calculated from the waveform from opening the mouth to swallowing to obtain the amount of movement of the lower jaw in each direction. Total mandibular momentum was calculated by combining the components in three directions. The obtained results demonstrate that the intake time decreased as the number of intakes increased, but there was no clear difference in mandibular momentum. In this study, it was possible to quantify mandibular movement during mastication in healthy subjects using a 3-axis acceleration sensor. In the future, I would like to further clarify mandibular movement during mastication in order to improve masticatory ability in patients with dysphagia or other masticatory difficulties due to cerebrovascular disease.

キーワード：咀嚼，下顎運動，定量化，3軸加速度センサ，嚥下障害

keywords : mastication, mandibular-movement, quantification, 3-axis acceleration sensor, dysphasia

### I. 緒言

咀嚼能力は、先行研究において定量化の必要性が指摘され<sup>1)</sup>、グミやガムなどの咀嚼により直接的に測る方法や、咀嚼筋の筋電図や下顎運動から間接的に計測する方法などが提唱されている<sup>2)</sup>。中でも下顎運動は、運動経

路と運動リズムの安定性が咀嚼能力と関連深いことが報告されており<sup>1)3)</sup>、咀嚼能力を判定する指標として用いられている。しかしこれらの計測機器は、身体の左右対称性の一定時間の保持や口腔内での装着が必要であることから、脳血管疾患や神経筋難病などにより四肢体幹や

\*大和大学保健医療学部 総合リハビリテーション学科

\*\*大阪価値療大学医療保健学部診療技術放射線科

\*\*\*大阪歯科大学歯学部有歯補綴咬合学講座

口腔に障害を有する摂食嚥下障害者への応用が難しい。そのため、摂食嚥下リハビリテーションの臨床において、咀嚼が果たす役割の重要性が指摘されているにも関わらず<sup>4)</sup>、その能力を客観的に評価する方法は確立されていない。そこで本研究は、摂食嚥下障害者の咀嚼能力の定量化をめざし、機器の装着が簡便で口腔内への侵襲がない咀嚼能力測定方法を検討することを目的に、加速度センサを用いて下顎運動の計測を試行した。

## II. 対象

歯の欠損がなく、咀嚼や嚥下、認知機能の低下を認めない24歳から74歳の健常者8名（男性5名、女性3名 平均年齢48.8歳±16.8歳）である。

## III. 方法

被験食品には咀嚼開始食品（プロセスリード<sup>®</sup>抹茶 大塚製薬工場社製）（図1）を用い、8等分した1片（約6g）を1口として、対象者は合計3回（3口分）摂取した（図2）。



図1 プロセスリード<sup>®</sup>

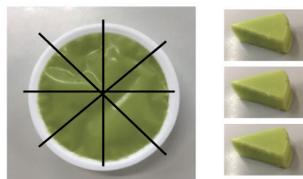


図2 計測時摂取量

プロセスリード<sup>®</sup>の成分と物性を表1に示す。本食品は、咀嚼を必要とする硬さを有するが、容易に噛める硬さで、咀嚼後にはペースト状になり、安全に嚥下までの一連の運動を練習できる物性<sup>5)</sup>を有する食品である。摂食嚥下リハビリテーションの臨床では、通常、ゼリーやペースト状の食品から摂食訓練を開始し、咀嚼の必要な固形物へ移行していく<sup>6)</sup>ことから、咀嚼・嚥下が必要な形態へ移行する前の咀嚼嚥下訓練用食品として位置づけられている<sup>7)</sup>。

表1 プロセスリード<sup>®</sup>の成分と物性

|                 |   |
|-----------------|---|
| 内容量             | 1個 50g  |
| 栄養成分<br>(1個当たり) | エネルギー56kcal, タンパク質 1.0g, 脂質 2.5g, 炭水化物 7.3g, 食塩相当量 0.206g   |
| 原材料名<br>／添加物    | 練りごま, 砂糖, 食塩／加工デンプン, 甘味料 (キシリトール, アセスルファム K, スクラロース) ゲル化剤(増粘多糖類), 香料, 着色料(黄 4, 青 1)                           |
| 物性              | 硬さ上限 $5 \times 10^4 \text{N/m}^2$<br>ユニバーサルデザインフード 区分 2<br>日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類 2013 <sup>7)</sup> コード 3 |

計測機器は3軸加速度センサ（ライフレコーダー<sup>®</sup>株式会社エー・アンド・デイ社製（日立製作所のライフ頭

微鏡<sup>®</sup>の技術を応用))（図3）を使用した。本加速度センサはリストバンド型のデバイスで、手首に装着して24時間3軸方向で人の動きを計測し、クレードルを介してパソコンにデータを送信することで、運動強度や頻度から生活行動や運動量の判定が可能な活動計として販売されている。本体はリストバンドから取り外し可能で、大きさは縦21mm、横39mm、高さ15.5mm、重さは約22gである（図4）。



図3 ライフレコーダー<sup>®</sup>



図4 リストバンドから取り外したライフレコーダー<sup>®</sup>

計測方法は、加速度センサを下顎オトガイ部に医療用テープで貼付し（図5）、90度座位（図6）にて被験食品摂取時の下顎の上下、左右、前後方向の運動加速度を開口から嚥下までの間、サンプリング周波数20Hzで計測した。



図5 装着状況

解析方法は、得られた加速度信号を直流成分を除去し、全波整流平滑化処理した後に上下、左右、前後の3方向それぞれについて面積を算出し、各方向への下顎の運動量とした。また、3方向の成分を合成したものを、総下顎運動量とした。



図6 計測姿勢

統計解析はSPSS Ver25（日本IBM社製）を使用してFriedman検定を行い、Bonferroni法で調整し、有意水準は5%未満とした。

なお本研究はわかきさ竜間リハビリテーション病院倫理審査委員会（第19040554号）および大阪歯科大学医の倫理委員会（第111054号）の承認を得て実施している。

#### IV. 結果

##### 1. 摂取時間について

1回の摂取時間の平均は1口目20.75秒、2口目17.87秒、3口目16.75秒で、摂取回数の増加とともに摂取時間が短縮する傾向がみられ、1口目と3口目で有意な差を認めた ( $\chi^2=6.64$  自由度2  $p=0.03$ ) (図7)。

##### 2. 総下顎運動量について

1回の下顎運動量の平均は、1口目1.78 $m/s^2$ 、2口目1.78 $m/s^2$ 、3口目1.49 $m/s^2$ 、で、1口目よりも3口目で運動量がやや減少する傾向がみられたが、有意な差はなかった ( $\chi^2=1.86$  自由度2  $p=0.39$ ) (図8)。

##### 3. 上下方向の運動量について

1回の下顎運動量の平均は、1口目1.14 $m/s^2$ 、2口目1.11 $m/s^2$ 、3口目0.95 $m/s^2$ 、で、3回の摂取で有意な差はみられなかった (図9)。

##### 4. 左右方向の運動量について

1回の下顎運動量の平均は、1口目0.64 $m/s^2$ 、2口目0.63 $m/s^2$ 、3口目0.52 $m/s^2$ 、で、摂取回数で有意な差はみられなかった (図10)。

##### 5. 前後方向の運動量について

1回の下顎運動量の平均は、1口目0.86 $m/s^2$ 、2口目0.91 $m/s^2$ 、3口目0.70 $m/s^2$ 、で、摂取回数で差はみられなかった (図11)。

##### 6. 左右方向と上下方向の運動量の比率について

左右方向と上下方向の運動量の比率は1口目1 : 1.75 (図12)、2口目1 : 1.79 (図13)、3口目1 : 1.95 (図14)で、明らかな差はなかったが、摂取回数の増加とともに左右方向に対し上下方向の比率が高くなる傾向がみられた。

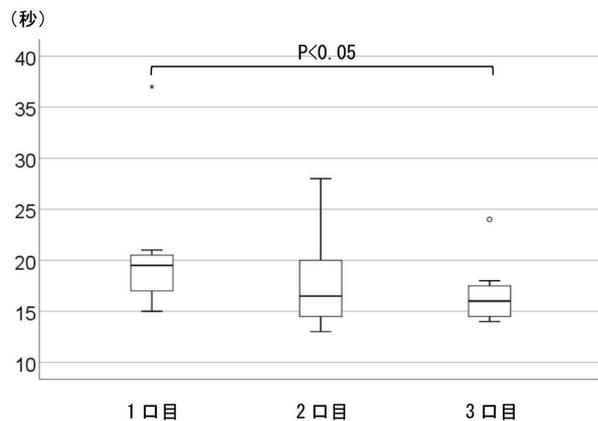


図7 摂取時間

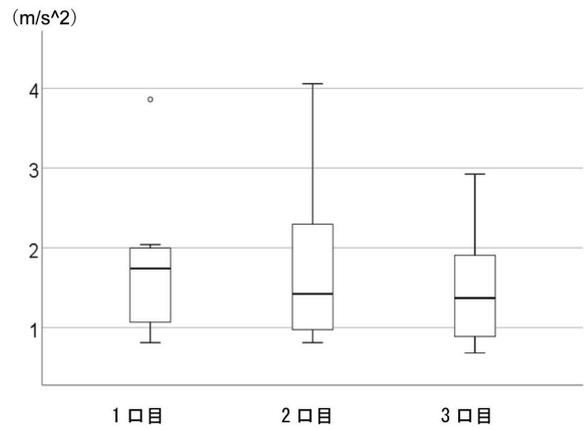


図8 総下顎運動量

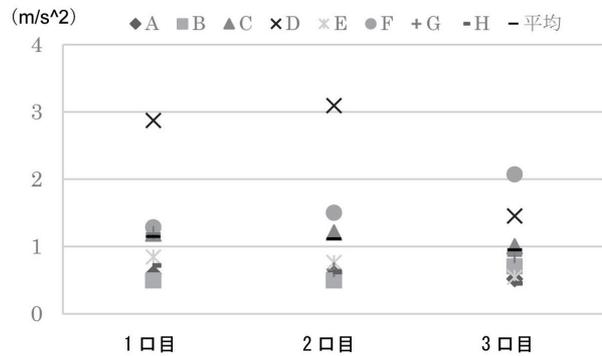


図9 上下方向の下顎運動量

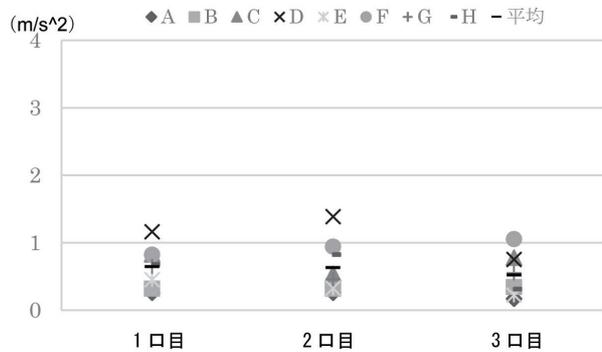


図10 左右方向の下顎運動量

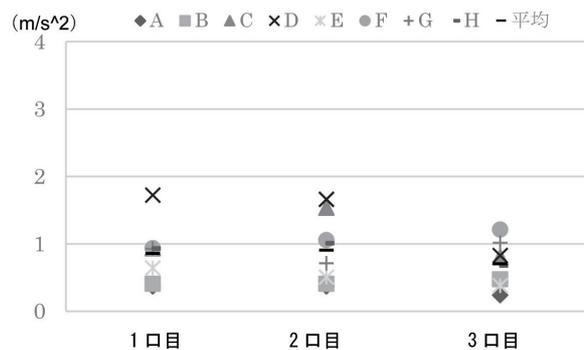


図11 前後方向の下顎運動量

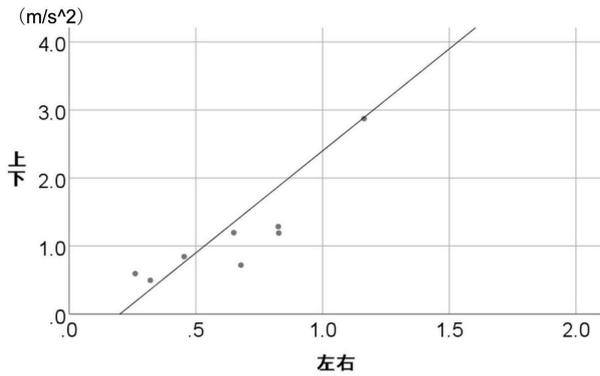


図12 1口目

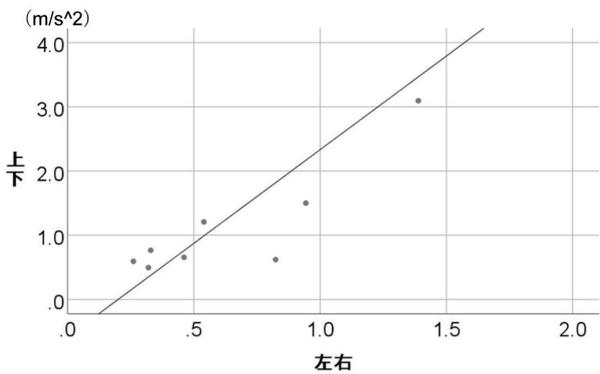


図13 2口目

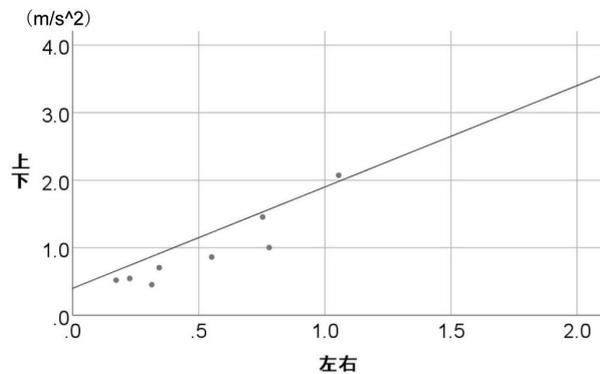


図14 3口目

## V. 考察

咀嚼時の下顎運動は食品の大きさや硬度により変化することが明らかになっており、食品の大きさが増すに従って運動経路や運動リズム、運動速度が変化し<sup>8)</sup>、硬度が増すことで、垂直的運動量と側方的運動量が増加する<sup>9)</sup>と報告されている。今回、3軸加速度センサを用いて大きさと物性が同じ被験食品を3回摂取し、下顎運動の計測を行った結果、上下・左右・前後方向および全下顎運動量が客観的に評価可能となり、3施行間で差を認めず運動量は安定していることが示された。下顎運動を加速度センサで簡便に計測しようとする試みは以前より

検討はされているが<sup>10)11)</sup>、汎用には至っていない。砂治(2001)<sup>11)</sup>は、下顎オトガ部に装着した2軸加速度センサを用いて下顎運動を計測し、天然歯列者と総義歯装着者では振幅が異なることを示し、同センサによる下顎運動の定量化が臨床応用可能であることを示唆している。本研究においても、加速度センサによる健康者有歯顎者の咀嚼時下顎運動の計測が可能であったことから、今後、特に長時間の機器の設定に耐えることが難しいと思われる摂食嚥下障害者に対するリハビリテーションの臨床において、応用できる可能性が考えられる。

また、咀嚼の調整は、口腔粘膜や歯根膜などの末梢受容器からの感覚入力により半自動的に行われるとともに、大脳皮質による随意調整も行われている<sup>12)</sup>。本研究の結果、開口から嚥下までにかかる時間は、1口目と比較し3口目で減少したにもかかわらず、全下顎運動量には変化がみられなかった。さらに、明らかな差は認めなかったが、1口目と比較して3口目では左右運動が減少し、上下運動が増加する傾向がみられた。これらのことから、末梢受容器からの感覚入力により被験食品の物性が容易に咀嚼できるものであることを感知するとともに、大脳皮質においても同様に判断し、摂取回数の増加に伴って、より効率よく咀嚼運動が行われた可能性が考えられる。

## VI. 結論

1. 健康者有歯顎者に対し、装着が簡便な3軸加速度センサを用いて計測を行い、咀嚼時の上下・左右・前後方向の下顎運動の定量化が可能であった。
2. 健康者有歯顎者において、物性や大きさが同じ食品摂取時、摂取回数の増加に伴い摂取時間は短縮したが、下顎運動量に変化はなく、より効率よく咀嚼運動が行われている可能性が考えられた。

しかし今回は対象者数も8名と少ないため、今後、さらに対象者数を増やして本加速度センサによる計測の妥当性を検証するとともに、脳血管疾患により咀嚼・嚥下障害を生じている患者を対象に、咀嚼時下顎運動の様相を明らかにすることで、咀嚼能力の改善につなげたい。

## COI 開示

本研究を行うにあたり、利益相反関係にある企業などはない。

## 謝辞

本研究にあたり、終始ご指導ご鞭撻いただいた大阪歯科大学歯学部有歯補綴咬合学講座田中昌博教授に心から感謝するとともに、ご協力いただいた各関係者の方々に感謝の意を表す。

## Ⅶ. 引用文献

- 1) 志賀博, 小林義典: 咀嚼運動の分析による咀嚼機能の客観的評価に関する研究. 補綴誌, 34 (6), 1112-1126, 1990
- 2) 咀嚼障害評価法のガイドライン—主として咀嚼能力検査法—. 補綴誌, 46 (4), 619-625, 2002
- 3) 松尾卓, 志賀博, 小林義典: グミゼリー咀嚼時における咀嚼能率と咀嚼運動の安定性との関係. 補綴誌 41: 686-697, 1997.
- 4) 柴田斉子, 加賀谷斉, 小野木啓子, 他: 咀嚼を意識した摂食嚥下障害の評価と治療. Jpn J Rehabil Med: 54 (12), 986-992, 2017
- 5) 中川量晴, 松尾浩一郎, 柴田斉子, 他: プロセスモデルに基づき開発された咀嚼嚥下訓練用食品の有用性—施設入居高齢者における予備的検討—. Jpn J Compr Rehabil Sci: 5, 2014
- 6) 藤島一郎, 谷口洋: 脳卒中の摂食嚥下障害第3版. 医歯薬出版株式会社, 東京, 207-209, 2017
- 7) 藤谷順子, 宇山理紗, 大越ひろ, 他: 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類2013. 日摂食嚥下リハ会誌 17 (3), 255-267, 2013
- 8) 志賀博, 小林義典, 中島邦久, 他: 食品の大きさが咀嚼運動に及ぼす影響—下顎運動と咀嚼筋活動—. 顎機能誌: 1, 249-260, 1995
- 9) 志賀博, 中島邦久, 田中彰, 他: 咀嚼運動の機能的分析—第45報各種食品咀嚼時における垂直的および側方的運動量. 下顎機能とEMG 論文集: 10, 7-10, 1992
- 10) Kazuhiro Ogai, Kei-ichiro Kitamura, Tetsu Nemoto. A basic study for prediction of food hardness based on an acceleration monitoring of lower jaw during mastication. JNSE, 2 (1): 9~14, 2015
- 11) 砂治國隆. 咀嚼運動における加速度分析の有用性—有歯顎者および総義歯装着者について—. 老年歯学: 16 (2) 156-164, 2001
- 12) 山田好秋. よくわかる摂食・嚥下のメカニズム第2版: 医歯薬出版株式会社, 東京, 61-72, 2013