

<研究課題>

## 要介護高齢者における下顎運動のモーションキャプチャーを用いた咀嚼・嚥下機能評価に関する研究 ―適切な食形態の提供に向けて―

代表研究者 大阪歯科大学 高齢者歯科学講座 講師 奥野 健太郎  
共同研究者 大阪歯科大学 高齢者歯科学講座 教授 高橋 一也

### 【抄録】

本研究では、要介護高齢者における食事の咀嚼中の下顎の動きをモーションキャプチャーにて分析し、咀嚼機能の評価を行うことを目的とする。咀嚼能力評価法のゴールドスタンダードであるグミゼリーを用いて得られる Amount of glucose extracted (AGE)と咀嚼時の顎運動のモーションとの関連を検討した。健常成人 50 名を対象に、グミゼリーの咀嚼の様子をハイスピードカメラにて撮影、AGE の数値から正常群(NG)と低値群 (LG) に分類した。顎運動のパラメータと AGE との関連を検討した。多重ロジスティック回帰分析では、年齢、咀嚼 1 周期に占める移行期（閉口から開口までの移行期間）の時間の割合、開口速度が NG と LG の分類に影響する因子であった。以上の結果から、モーションキャプチャーにより顎運動の分析は可能であり、咀嚼能力評価ができる可能性が示された。

#### 1. 研究の目的

咀嚼や嚥下といった口腔機能は加齢とともに低下することがわかっており、口腔機能の低下は全身の運動機能の低下、栄養状態の悪化や高齢者の死亡率の上昇と関連している。認知症や脳血管疾患は咀嚼・嚥下機能障害の原因となっており、摂食・嚥下障害は長期介護や再入院の増加をきたすことが報告されている。また、摂食・嚥下障害の有病率は介護施設に入所した高齢者の 60%である報告があり、摂食・嚥下障害への対応は介護の現場での課題と考えられる。不適切な食形態の選択は誤嚥の原因になるため、個々の嚥下機能に合わせて、適切な食事形態を提供できることが重要である。嚥下機能の評価法には、嚥下内視鏡検査 (VE) や嚥下造影検査 (VF)、医師や歯科医師が同席のもと、ミールラウンドを行い被介護者の実際の食事を観察することでなどがある。嚥下機能のなかでも、特に咀嚼能力が食事形態の決定に重要である。

咀嚼能力の評価はシリコン印象材やチューインガム、パラフィンワックスやグミゼリーを用いた方法が用いられている。これらの方法は病院内で行われているが、専門家がいなく多くの介護施設内では実施困難である。介護現場での食事形態の決定のために、簡便に嚥下機能の評価できる方法が望まれている。現在臨床で行われている咀嚼能力評価の中でも、グミゼリー咀嚼後の Amount of glucose extracted (AGE) の測定による咀嚼能力の測定は、定量的かつ客観的に咀嚼能力を測定できることが知られて

いる。しかしながら、咀嚼時間が 20 秒間と決められていること、咀嚼したグミは飲み込まずに吐き出す必要があること等の条件があり、指示に従うことができる患者を対象としているため介護現場で用いるには難しい。

本研究の目的は、今回はより簡便で、誰もが咀嚼能力評価が可能な方法として、実際の食事時の下顎運動の様子をモーションキャプチャーすることで咀嚼能力の評価を行う方法の確立である。実際にグミゼリーを咀嚼している顎顔面の運動をモーションキャプチャーし解析することで、どのような運動パラメーターが咀嚼能力に影響を与えているか、健常者を対象に調査した。

#### 2. 研究方法と経過

##### 2-1 対象者

健常な成人 50 名 (男性 24 名, 女性 26 名), 平均年齢  $25.4 \pm 2.7$  歳を対象に研究を行った。

##### 2-2 基本情報の収集

情報 (年齢, 性別, 基礎疾患, 病歴, 服用薬, 習慣性咀嚼側) を被検者より聴取した。Body Mass Index (BMI) は体重を身長<sup>2</sup>で割ることで算出した。口腔内の検査は歯科医師により行い、残存歯数を評価した。

##### 2-3 咀嚼能力の測定

被験食品は、グルコース含有グミゼリー (グルコラム, ジーシー, 東京, 日本) を用いた。被検者はグルコース含有グミゼリーを習慣性

咀嚼側から噛み始め、噛み始めたあとは20秒間自由に咀嚼するように指示した。咀嚼後、被検者に蒸留水10mLを一瞬口腔内に含ませ、漏斗付きコップに口腔内に残っているすべてを吐き出させた。濾液中のグルコース濃度をグルコース分析装置(グルコセンサーGS-II, ジーシー, 東京, 日本)を用いてAGEを測定し、AGEを咀嚼能力の定量的な指標とした。AGEが150mg/dL以上の群をNormal masticatory performance group (NG), 150mg/dL未満の群をLow masticatory performance group (LG)と分類した。

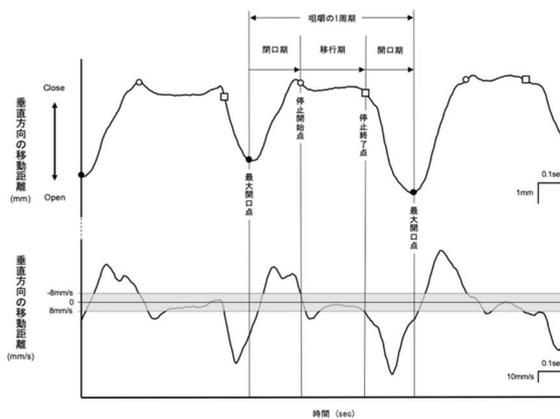
#### 2-4 下顎運動のモーションキャプチャ分析

被検者の顔面に計測点となる白色で直径8mmの円形のシールを眉間とオトガイに貼付した。モーションの撮影にはハイスピードカメラ(HAS-U2, Ditect, 東京, 日本)を使用した。モーションの録画はWindows専用モーション録画ソフトウェア(HAS-Xviewer, Ditect, 東京, 日本)を使用した。咀嚼開始を合図する2秒前から撮影を開始し、20秒間自由に咀嚼をさせ、咀嚼の終了の合図と同時に録画を停止した。撮影条件は解像度:800\*600 (ppi), フレームレート:200 (FPS), シャッタースピード:1/200 (s)に設定し撮影を行った。撮影時は被検者にカメラを注視するように指示した。

撮影した映像をWindows専用モーション分析ソフトウェア(Dipp-motion V2D, Ditect, 東京, 日本)を用いて分析した。ソフトウェア上で顔面上にマークした計測点のモーションを追跡した。咀嚼時に不動である眉間を計測の原点とし、下顎運動の開口方向、すなわち下方向を垂直成分の正の方向とし、オトガイの垂直成分の移動距離と速度について分析を行った。オトガイの座標値が最大となる点を最大開口点とした。最大開口点から次の最大開口点の直前の点までを咀嚼周期の1周期とした。咀嚼周期の1周期のうち、オトガイの速度が-8mm/s未満から初めて-8mm/s以上になる点を停止開始点とした。その後オトガイの速度が8mm/s以上になる直前の点を停止終了点とした。最大開口点から停止開始点までを閉口期、停止終了点から次の最大開口点の直前の点までを開口期と定義した。また、停止終了点から停止開始点までの閉口から開口へ移行する期間を移行期と定義した。

1周期において、移動経路の距離(閉口距離, 開口距離), 1周期の時間, 1周期に占める各期の時間の割合(閉口期の時間の割合, 移行期の時間の割合, 開口期の時間の割合), 移動速度

(閉口速度, 開口速度)の8つの顎運動のパラメータを算出した。各期の移動距離の絶対値を計測値とし、速度は開口方向の速度を正の値として、閉口方向の速度を負の値として記録した。咀嚼周期の10サイクル目から19サイクル目までの10周期分を分析範囲とし、10周期分のそれぞれのパラメータの平均値を変数として解析を行った。



### 3. 研究の成果

#### 3-1 AGE との相関

咀嚼能力と顎運動の各パラメータとの関連を検討した。咀嚼能力との間に有意な相関を認めた顎運動のパラメータは、1周期の時間 ( $r = -0.30, p < 0.05$ ), 1周期に占める移行期の時間の割合 ( $r = 0.42, P < 0.01$ ), 1周期に占める閉口期の時間の割合 ( $r = -0.55, p < 0.05$ ), 閉口期の速度 ( $r = 0.31, p < 0.05$ )であった。

TABLE 2 Correlation matrix table between AGE and each parameter of jaw movement

n = 50	AGE	CD	OD	CT	CR	TR	OR	CV	OV
AGE†	1								
CD†	-0.01	1							
OD†	0	0.98**	1						
CT†	-0.30*	-0.29*	-0.27	1					
CR†	-0.12	0.59**	0.59**	-0.25	1				
TR†	0.42**	-0.50**	-0.51**	0.11	-0.81**	1			
OR†	-0.55**	0.08	0.10	0.25	0.07	-0.65**	1		
CV†	-0.23	-0.83**	-0.82**	0.56**	-0.21	0.18	0.07	1	
OV†	0.31*	0.63**	0.62**	-0.53**	0.35*	-0.21	-0.17	-0.69**	1

Note: Concerning correlation coefficients, Pearson's correlation coefficient was used for variables that follow a normal distribution, and Spearman's correlation coefficient for items including variables that do not follow a normal distribution.

Abbreviations: AGE, amount of glucose extracted; CD, closing distance; OD, opening distance; CT, cycle time; CR, closing phase ratio; TR, transition phase ratio; OR, opening phase ratio; CV, closing velocity; OV, opening velocity.

† Variables that follow a normal distribution

‡ Variables that do not follow a normal distribution

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

#### 3-2 NG と LG の 2 群間の比較

NG と LG の 2 群間の比較を T 検定, Welch の T 検定または Mann-Whitney の U 検定を用いて検討した (Table 3). AGE は NG と比べて LG が有意に低かった (199.9 (180.8 ~ 216.0) vs 140.0 (124.8 ~ 141.8) mg/dL,  $p = 0.000$ ). 1周期に占める移行期の時間の割合は NG と比べて LG が有意に低かった (36.6 ± 6.7 vs 28.4 ± 8.5 %,  $p = 0.005$ ). 1周期に

占める開口期の時間の割合は NG と比べて LG が有意に高かった (28.0 ± 4.6 vs 33.5 ± 5.0 %, p = 0.001). 年齢, 性別, BMI, 歯数, 閉口距離, 開口距離, 1 周期の時間, 1 周期に占める閉口期の時間の割合, 閉口速度, 開口速度については 2 群間で有意な差を認めなかった.

### 3-3 多重ロジスティック回帰分析

多重ロジスティック回帰分析によりどの変数が NG か LG かの分類に影響するかを分析した. 変数減少法を用い, 選択された変数として, 年齢(OR : 0.48, 95%CI : 0.25 - 0.94), 1 周期に占める移行期の時間の割合(OR : 0.83, 95%CI : 0.73-0.95), 開口速度(OR : 0.90, 95%CI : 0.83-0.98)が有意な独立変数として抽出された. モデル $\chi^2$ 検定の結果は p < 0.01 で有意であり, Hosmer-Lemeshow 検定の結果は p = 0.09 で有意ではなく, 解析結果は適合していないとはいえない結果であった. 判別率的中率は 88.0%であった.

TABLE 4 Multiple logistic analysis regarding variables that influence classification into the NG and LG groups

Variable	$\beta$	se	Wald	OR	95% CI	p-value
Age	-0.73	0.34	4.60	0.48	(0.25-0.94)	0.032
TR	-0.19	0.07	7.44	0.83	(0.73-0.95)	0.006
OV	-0.10	0.05	5.33	0.90	(0.83-0.98)	0.021
(Intercept)	26.56					0.011

Abbreviations: NG, normal masticatory performance group; LG, low masticatory performance group; TR, transition phase ratio; OV, opening velocity.

Chi-square test, p < 0.01

Hosmer Lemeshow test, p = 0.09

The percentage of correct classifications, 88.0%

### 4. 今後の課題

本研究の被験者は平均年齢 25.4 ± 2.7 歳と若年成人であった. 壮年層や高齢層を加えて同様の研究を行い, 幅広い年齢層の結果と咀嚼能力との関連の検討を行う必要がある. また, 今回の研究では, オトガイに貼付した計測点から顎運動の垂直方向の成分を分析し, 咀嚼能力との関連を調査した. 顎運動は, 垂直的方向だけではなく, 水平的な方向にも咀嚼時に運動している. 今後はモーションキャプチャから水平的な運動と咀嚼能力との関連も調査する必要がある.

顎運動の詳細な動きでなく, 閉口, 停止, 開口といった大まかな動きから咀嚼能力の評価ができれば, ハイスピードカメラのような高速撮影が可能なカメラを必要とせず, スマートフォンなどのカメラで咀嚼中の顎運動を分析し, 咀嚼能力の予想が可能になると考える. 一連のプロトコルからスマートフォンのアプリを開発することで誰もが簡単に咀嚼能力の評価が可能となれば介護施設などの利用者の咀嚼能力に適した食事形態決定の一助になると考える. 今後は, 高齢者や, 様々な疾患をもつ者を対象に, 本システムを用いて分析を行う必要があると考えている.

### 5. 研究成果の公表方法

今岡 正晃、奥野 健太郎、小淵 隆一郎、井上 太郎、高橋 一也. 顎運動モーションキャプチャを用いた咀嚼能力評価法. 日本老年歯科医学会第 33 回学術大会, 2022 年 6 月 11 日, 新潟市

今岡正晃, 奥野健太郎, 小淵隆一郎, 井上太郎, 高橋一也. 自由咀嚼時の下顎運動モーションキャプチャによる咀嚼能力の評価法. 令和 3 年度 日本補綴歯科学会関西支部 総会・学術大会, 2021 年 12 月 12 日, 大阪

今岡正晃, 奥野健太郎, 小淵隆一郎, 井上太郎, 高橋一也. 下顎運動のモーションキャプチャによる咀嚼能率の評価法. 第 35 回 日本口腔リハビリテーション学会, 2021 年 11 月 21 日, 大阪

現在, 英語論文(Evaluation of masticatory performance by motion capture analysis of jaw movement) を Journal of Oral Rehabilitation へ投稿しており, 査読を受けている.

以上

# Evaluation of masticatory performance by motion capture analysis of jaw movement

**Primary Researcher:** Kentaro Okuno, Assistant Professor, Department of Geriatric Dentistry, Osaka Dental University Graduate School of Dentistry

**Co-researchers:** Kazuya Takahashi, Professor, Department of Geriatric Dentistry, Osaka Dental University Graduate School of Dentistry

## Abstract

### Background:

The assessment of masticatory performance (MP) is conducted in hospitals, but is difficult to perform in nursing facilities that lack specialists in dysphagia. To select the appropriate food textures in nursing practice, a simple method of evaluating the MP should be developed.

### Objective:

The purpose of this study was to investigate motion parameters that influence MP by motion capture analysis of maxillofacial movement on chewing gummy jelly in healthy adults.

### Methods:

The subjects were 50 healthy adults. The state of chewing gummy jelly was photographed using a high-speed camera. Simultaneously, we evaluated the amount of glucose extracted (AGE) obtained with gummy jelly as a reference value for MP. The subjects were divided into two groups: normal and low masticatory groups (NG and LG, respectively) based on the AGE. The cycle of mastication was classified into 3 phases: closing phase (CP), transition phase (TP), and opening phase (OP) through motion capture analysis of the video photographed. Parameters of jaw movement, and their associations with the AGE were examined.

### Results:

The transition phase rate (TR), and opening phase rate (OR) were correlated with the AGE. Furthermore, the TR in the NG was significantly higher than in the LG, whereas the OR was significantly lower than in the LG. The age, TR, and Opening velocity were significant independent variables.

### Conclusion:

Motion capture technology facilitated the analysis of jaw movement. The results suggested that MP can be evaluated by analyzing the TP and OP rates.