

論文表題

## 咀嚼過程における摂取食品のテクスチャー変化と下顎運動の変化

著者名：東岡紗知江

所属：徳島大学大学院口腔科学教育部 口腔顎顔面補綴学分野

キーワード：咀嚼，食品特性，下顎運動

I. 学位論文

II. 連絡先

東岡 紗知江

徳島大学大学院口腔科学教育部 口腔顎顔面補綴学分野

III. 受付：平成 26 年 1 月 29 日 / 受理：平成 26 年 2 月 6 日

四国歯学会雑誌 第 27 卷 第 1 号 掲載予定

咀嚼過程における摂取食品のテクスチャー変化と下顎運動の変化

東岡紗知江

---

徳島大学大学院口腔科学教育部 口腔顎顔面補綴学分野

Changes in the physical properties of food bolus and mandibular movement during masticatory  
process

Sachie Toko

---

Department of Oral & Maxillofacial Prosthodontics and Oral Implantology, The University of  
Tokushima, Graduate School of Oral Sciences

## 緒言

従来、咀嚼の評価に用いられる要素は食物の粉碎と混合が主であり、実際の咀嚼能力検査も、ピーナッツ、グミゼリー等を用いた粉碎能の試験や<sup>1,2)</sup>、色分けしたワックスキューブや米飯<sup>3,4)</sup>、色変わりチューイングガム等を用いた混合能の試験<sup>5)</sup>など、粉碎と混合を指標としたものに偏っている。

しかし近年では、咀嚼を単純な粉碎・混合による消化の補助過程、つまり食物認知の「認知期」、食塊形成の「準備期」、食塊輸送の「口腔期」、<sup>6)</sup>「咽頭期」、<sup>7)</sup>「食道期」の5期に分け、咀嚼と嚥下を別々の段階として捉える5期モデル<sup>6)</sup>にかわって、食塊の形成と輸送は同時に起こり、咀嚼中に食物が咽頭へ輸送されているとするプロセスモデル<sup>7)</sup>の考え方が多く採用されていることから、咀嚼と嚥下は別々に行われるものではなく、協調しあいながら進行することが知られている<sup>8-12)</sup>。さらに、最近の研究では咀嚼が心身に及ぼす影響について、様々な観点から研究が進められ、咀嚼運動自体による消化管への影響や<sup>12-15)</sup>、咀嚼と生活習慣病との関わり<sup>16-21)</sup>についても指摘されている。また、咀嚼と中枢の関係、神経生理学的な影響も注目されており、咀嚼と認知機能<sup>22-26)</sup>の関わり、ストレス状態への影響<sup>26-29)</sup>などが多く報告されている。咀嚼の役割、他臓器への影響を踏まえた上で、咀嚼を質的観点から再評価することが求められている。

咀嚼の質的評価を考えるにあたって注目したいのが、食育やリハビリテーションの領域で「硬いものをよく噛んで食べることが重要」と言われていることである。これは多分に経験や推測に基づくものであり、どのようなものを噛むのが良いのか、どういった噛み方がよい咀嚼なのかについて、詳細な検討はなされていない。咀嚼運動は随意的な制御と、

Accepted Article

脳幹の咀嚼中枢からの制御による半自動運動である。咀嚼中枢が活動するためには、末梢からの感覚入力あるいは上位脳からの中枢性入力が必要とされている<sup>30)</sup>。また、神経生理学の分野では、感覚刺激が姿勢および運動に変化をもたらすことが知られており<sup>31)</sup>、運動機能は関連する感覚刺激との対応で発達していくとされている<sup>32)</sup>。よく噛むということ、すなわち、質の高い咀嚼が、運動の発達に必要な感覚入力を伴う咀嚼ということであるなら咀嚼運動の変化と口腔感覚の変化を関連付けて考えなければならない。

口腔粘膜や歯根膜感覚などによって入力される「食感」を数値化する試みに、食品や食塊のテクスチャー測定がある<sup>33,34)</sup>。食品は咀嚼によって嚥下に適した食塊に調整される。先行研究より、食塊の水分量や<sup>35,36)</sup>、粘性、粒状性など、種々の物理的、化学的性質が、嚥下を誘発する閾値に関わっていることが報告されている<sup>37-46)</sup>。硬い食品の硬さの減少、凝集性の低い食品の凝集性の上昇、付着性の高い食品の付着性の減少などの要素がそれぞれ嚥下誘発の背景として関わっていると示唆されている<sup>43-47)</sup>。また、付着性の高い食品の咀嚼では、付着性の低い食品には見られない活発な舌運動を認めること<sup>47)</sup>、実験的に唾液分泌量を減少させた場合や食品の水分量を変化させた場合に嚥下までの咀嚼回数が増加すること<sup>48-50)</sup>から、嚥下誘発には唾液との十分な混和が求められることも示されている<sup>47-50)</sup>。食塊テクスチャーの変化は食品ごとに特異的であり、画一的な嚥下閾値が存在するというよりも、食塊の変化を食感の変化として感じ取り、フィードバックすることで、変化の特徴に応じた調整がなされ、それぞれに最適化された時点で、口腔、咽頭の感覚入力により嚥下が起こると考えられる。こういった口腔内でのテクスチャー変化に応じて咀嚼にも変化が現れるものと考えられるが、食塊テクスチャー変化に伴う詳細な咀嚼運動変化に関する

る報告はなされていない。

本研究は、咀嚼の質に関する基礎的研究として、口腔感覚と咀嚼運動の観点から咀嚼の質的評価について検討するために、咀嚼開始から嚥下誘発時点までの食塊テクスチャー変化を求め、下顎運動と食塊テクスチャー変化との関連を明らかにすることを目的とする。

## 材料ならびに方法

### 1. 被験者

本研究の主旨を説明し同意の得られた健常成人 15 名(男性 10 名, 女性 5 名, 平均年齢  $25.8 \pm 1.7$  歳)を被験者とした。20 歳以上 30 歳未満の男女であること, すべての被験食品を無理なく摂取できることを選択基準とし, 嚥下障害の疑われる者, 唾液分泌障害を疑われる者を除外した。

嚥下障害の疑われる者を除外するため, すべての被験者において, 30 秒間の唾液嚥下回数を数える RSST 検査<sup>51)</sup>で 3 回以上のスコアを記録することを確認した。これは感度の良い嚥下障害のスクリーニング法として一般的に用いられている検査法である。

乾燥したガーゼを 2 分間咀嚼して吸湿した唾液重量を測定するサクソン法に準じて, 刺激時唾液分泌量を測定した<sup>52,53)</sup>。約 1.7 g のガーゼ(タマガワピュア滅菌ガーゼ M, 玉川衛材, 東京)を 2 分間咀嚼させ, 前後のガーゼ重量の差から刺激時唾液分泌量を求めた。被験者は全員, 唾液分泌量減少の基準値である 2 g を超える刺激時唾液分泌量を記録し, 唾液分泌障害を認めなかった。

なお, 本研究は徳島大学病院臨床研究倫理審査委員会の承認を得て行った(承認番号

1381)。

## 2. 被験食品

被験食品には、硬さの異なるゼラチンゼリー2種類とクラッカー(RITZ, ヤマザキナビスコ, 東京), 電子レンジ調理した米飯(サトウのごはん, サトウ食品, 新潟)を用いた。ゼリーはゼラチン(クックゼラチン, 森永製菓, 東京)を沸騰させた湯に溶き, 硬いゼリーを 20%ゼラチン濃度に, 軟らかいゼリーを 10%ゼラチン濃度にそれぞれ調整した。一晚冷蔵して固めた後, 一辺が 17 mm の立方体に切り出し, 他の被験食品とともに試験開始 1 時間前から室温になじませた。被験食品の性質は, クラッカーは乾燥しており, 吸湿すれば軟らかくなるがそのままでは破断に強い力を要する。硬いゼリーはクラッカーより弱い力で変形するが, グミ程度の弾力があり破断にはやや強い力を要する。米飯と軟らかいゼリーは舌でも変形させることができ, 口腔内で容易に崩れる。

1 回に食べさせる食品はクラッカー1 枚の重量 5 g にあわせた。

## 3. 刺激時唾液分泌量, 咬合力, 咬合圧の測定

前述のサクソン法に準じて被験者の刺激時唾液分泌量を測定した。最大咬合力, 咬合圧は, 各被験者に咬合力測定フィルム(デンタルプレスケール, GC, 東京)を噛ませ, 咬合力測定システム(オクルーザーFPD703/705, GC)にて測定した。

## 4. 咀嚼回数の記録および咀嚼した食塊の採取と解析

Accepted Article

各被験者に1日3回、3日に分けてそれぞれの被験食品を自由に咀嚼、嚥下させ、嚥下するまでの咀嚼回数を測った。嚥下までの咀嚼回数は被験者自身に数えさせると同時に、術者が下顎の上下動を目視し、一致することを確認した上で記録した。同一測定日中の3回の平均咀嚼回数と標準偏差より、被験者ごとの変動係数をもとめ、各測定日における被験食品ごとの変動係数の被験者平均を算出した。これを咀嚼回数の日内変動の指標とした。また、各測定日の3回の平均咀嚼回数を代表値として被験者ごとの3日間の変動係数を求め、被験者平均を算出した。これを咀嚼回数の日間変動の指標とした。

嚥下までの咀嚼回数を100%とした際の25、50、75、100、125%に相当する咀嚼回数を算出し、それぞれを25%咀嚼回数、50%咀嚼回数、75%咀嚼回数、100%咀嚼回数、125%咀嚼回数とした。次に各被験者にそれぞれの%咀嚼回数だけ被験食品を咀嚼させ、各時点での食塊を直径40 mmのステンレス製のシャーレに吐き出させ、食塊の高さを可及的に均一にならした上で直ちにテクスチャーを測定した。テクスチャー試験にはテクスチャープロファイル分析法をもとにクリープメーター(RE2-3305B, 山電, 東京)を用い、硬さ、凝集性、付着性について数値化した。テクスチャープロファイル分析は、厚生労働省策定の「えん下困難者用食品の許可基準」でも採用されている食感を数値化する手段の一つであり、咀嚼を模した2回圧縮法にて硬さ、凝集性、付着性など食品の物理的特性を測定する試験法である<sup>54,55)</sup> (図1)。今回は直径16 mmの円筒形プランジャーを10 mm/secの速度で測定試料の高さの70%の深さまで2回圧縮し、得られた応力曲線より硬さ、凝集性、付着性を算出した。

被験食品の咀嚼と食塊の採取、テクスチャー測定は、5分間の間隔を設けて4被験食品

の5段階の咀嚼回数それぞれについて3回ずつ行い、3回の平均値を代表値とした。食塊のテクスチャーには唾液との混和が関与するので、口腔内の水分量や味覚の残留による影響をできるかぎり除くため、咀嚼開始前には毎回室温になじませたイオン交換水で十分なうがいを行わせた。

## 5. 下顎運動と咀嚼筋筋電図の測定と解析

各被験食品咀嚼時の下顎運動を下顎運動解析装置(モーションビジトレナー, 東京歯材社, 東京)で計測し、前頭面における切歯点の頭部に対する運動軌跡を観察した。これはヘッドギアを用いて顔面前方に固定された CCD カメラで、下顎前歯に取り付けた LED の動きを計測するものである。

同時に、左右咬筋および側頭筋の表面筋電図を記録した。咬筋筋電図は、中心間距離 30 mm の粘着ゲル付き電極(NCS 電極 NM-31, 日本光電, 東京)を咬筋浅層筋腹中央の皮膚に咀嚼時の豊隆を触診にて確認し、筋繊維の走行に平行になるように、側頭筋筋電図は側頭筋前腹筋束中央の皮膚に貼付した。すべての信号はデジタル脳波計(COMET, 三栄バイタルズ, 東京)によって約 10 万倍に増幅した後、16 bit, 400 Hz でサンプリングし、帯域通過フィルター(10-100 Hz)と帯域除去フィルター(50-60 Hz)を通過後、PC 上に記録した。下顎運動、筋電図は、被験者ごと、被験食品ごとに3回ずつ記録した。

装置の設置上、下顎運動と咬筋筋電図を同時に、咬筋筋電図と側頭筋筋電図をの同時に、それぞれ別の測定日に分けて記録した。

筋電図信号は、全波整流波形処理および 20 msec の移動平均平滑化を行ったうえ、最大

随意収縮時の筋活動量で標準化し%MVCを算出した。

咬筋、側頭筋それぞれの左右の筋活動量(%MVC)を合計したものを総筋活動量として、咀嚼過程を食塊テクスチャー測定の25%~100%と対応させるため咀嚼回数で4分割し、それぞれ第1期~第4期としたときの各区間のピーク値の平均を算出し、咀嚼過程の変化を評価した。

また、右側の筋活動量をX軸に、左側の筋活動量をY軸にベクトル合成し、リサーチパターンとして表した(図2)。これは筋活動の左右バランスを図形として表現することで咀嚼運動の特徴をわかりやすくする手法であり、先行研究では食品の違いによる咀嚼運動の特性をよく表現するとされている<sup>56,57)</sup>。

描記されたリサーチパターンから咀嚼運動の特性を定量化するため、咀嚼の1ストロークごとに分解して以下のように評価した。すなわち、リサーチパターンを直線で近似した際の近似式の傾きと寄与率( $R^2$  値)を、リサーチパターンの傾きと広がり指標とした。右噛みの場合傾きが1より小さく、左噛みの場合傾きが1より大きくなる。なお、下顎運動と咬筋筋電図の同時記録にて実際の閉口経路の左右と傾きの変化が対応していることを確認した。また、 $R^2$  値が1に近いほど直線的なパターン、チョッピング型咀嚼とし、逆に、 $R^2$  値が0に近いほど広がりのあるパターン、グライディング型の咀嚼とした(図3)。筋活動量の評価と同様に咀嚼過程を咀嚼回数で4分割し、それぞれ第1期~第4期としたときの各区間の $R^2$  値の平均を算出し、咀嚼過程の変化を評価した。

## 6. 統計解析

咀嚼回数に関して、測定日間の差と被験食品間の差について Tukey 法にて多重比較を行った。咀嚼回数と刺激時唾液分泌量、咬合力、咬合圧について、Pearson の相関係数にて相関を求めた。食塊テクスチャー変化と刺激時唾液分泌量、咬合力、咬合圧について、Pearson の相関係数にて相関を求めた。咀嚼過程を咀嚼回数で 4 分割した際の各段階における R<sup>2</sup> 値の食品ごとの差について Tukey 法にて多重比較を行った。

## 結果

### 1. 刺激時唾液分泌量と咬合力・咬合圧

被験者の 2 分間の平均刺激時唾液分泌量は  $5.24 \pm 0.92$  g, 平均咬合力は  $611.13 \pm 135.75$  N, 平均咬合圧は  $42.83 \pm 5.55$  MPa であった。

### 2. 咀嚼回数

表 1 に、各被験食品の嚥下までの咀嚼回数の日内変動および日間変動を変動係数の被験者平均で示す。

いずれの被験者、いずれの被験食品でも、変動係数は 0.1 未満の小さい値であり、咀嚼回数は被験者ごと、被験食品ごとに安定していた。また、3 日の測定日について Tukey 法にて多重比較を行ったところ、測定日間で有意な差は認められなかった。食品ごとの咀嚼回数については個人差が大きかった。被験食品間における咀嚼回数の差について、クラッカーと硬いゼリー、米飯と軟らかいゼリーの間に有意な差は認められなかったが、硬い食品であるクラッカー、硬いゼリーと、軟らかい食品である米飯、軟らかいゼリーとの間に

有意な差が認められた(図 4)。

[図 4]

表 2 に、咀嚼回数と刺激時唾液分泌量，咬合力，咬合圧との関係を示す。刺激時唾液分泌量と各被験食品の咀嚼回数には，有意な相関関係は認められなかった。クラッカーの咀嚼回数と咬合圧に有意な負の相関，クラッカーの咀嚼回数と咬合力に有意な正の相関が認められた。

[表 2]

### 3. 各食品の食塊テクスチャー変化

図 5 に咀嚼の進行に伴う食塊テクスチャーの変化を示す。硬さは，4 種の食品すべてで咀嚼の進行とともに減少した。減少の度合いはクラッカーで最も大きく，米飯で最も小さかった。また，被験者間のばらつきは，すべての段階においてクラッカーで最も大きかった。いずれの減少もほぼ直線的であったが，わずかながら 25-50% 区間で他の区間より減少率が大きい傾向にあった。凝集性は米飯を除くすべての食品で咀嚼の進行に伴ってほぼ直線的に増加したが，米飯ではほとんど変化しなかった。付着性はクラッカーで大きく上昇し，その割合は咀嚼後半で大きくなる傾向にあった。また，被験者間のばらつきもクラッカーで最も大きかった。他の被験食品ではわずかに上昇かほとんど変化しなかった。3 つのテクスチャー要素ともクラッカーは最も大きく変化し，米飯は大きく変わらなかった。クラッカーは咀嚼が進むにつれて付着性の上昇を示したが，被験者 15 人中 3 人は 100% 時点の食塊において最大の付着性を示し，100% から 125% にかけて付着性の低下を示した。1 人は 75% 時点の食塊が最大の付着性を示し，75% から 125% にかけて付着性の低下を示した。

[図 5]

図 6 に咀嚼の進行に伴う食塊テクスチャー値の変動係数の変化を示す。咀嚼開始直後の

[図 6]

25%咀嚼回数時点では、硬さ、凝集性、付着性のうち最も変動係数が大きいのは付着性であった。硬さ、凝集性の変動係数は咀嚼の進行に伴って変化しなかったが、付着性は小さくなる傾向にあった。

#### 4. 食塊テクスチャー変化に影響を及ぼす顎口腔系の因子について

咀嚼過程の食塊テクスチャー変化量の指標として、25%時点の食塊テクスチャーと100%時点の食塊テクスチャーについて、食品ごとに各パラメーターの差を算出した。硬さの差、凝集性の差、付着性の差と、刺激時唾液分泌量、咬合力、咬合圧それぞれの相関分析を行ったところ、クラッカーの付着性の変化と咬合力との間に有意な正の相関が認められた。また、硬いゼリーの硬さの変化において、咬合圧との間に有意な負の相関が認められた(表3)。

[表 3]

#### 5. 咀嚼の進行に伴う下顎運動パターン

図7に、同一被験者における4つの被験食品の咀嚼の進行に伴う代表的な切歯点部の下顎運動軌跡の変化を示す。各被験食品で上段が咀嚼開始から20サイクルの前方投影像、下段が食品形状に大きく影響を受ける1, 2回目のストロークを除いた3~12回目の10ストロークの重ね合わせ像である。ほとんどの被験者において、4種の食品すべてで咀嚼側は必ずしも一定せず、左右を移動しながら両側で咀嚼していた。クラッカー、硬いゼリーにおいては、咀嚼開始直後に凹凸のいびつな運動軌跡を認め、続いてなめらかなティアードロップ状の軌跡に移行した。また、咀嚼初期には開口量も側方移動量も大きく、硬さの減

Accepted Article

少に連動して徐々にそれが小さくなる傾向にあった。米，軟らかいゼリーでは，はじめからティアードロップ状の運動軌跡を認めることが多く，咀嚼の進行に伴う開口量の変化は少なかった。

最も硬い食品であるクラッカー咀嚼初期には，他の食品に比較して上下，左右，前後に著しく大きな変位量を認め，硬さの減少にあわせて上下，左右，前後幅も咀嚼過程で大きく減少した。また，もともと凝集性の高い食品である2種のゼリーにおいては，全体的に前後，側方の変位量は小さくなった。硬いゼリーと軟らかいゼリーを比較した場合，硬いゼリーのほうが上下，左右，前後に大きな変位量となった。

#### 6. テクスチャー変化に伴う筋電図の変化

咬筋，側頭筋の咀嚼時筋活動量変化の平均を図8に示す。咬筋と側頭筋%MVCの平均ピーク値は食品ごとにほぼ同じであった。咬筋，側頭筋ともに，クラッカー，硬いゼリーの2食品は咀嚼の全過程において，米飯，軟らかいゼリーの2食品より大きな筋活動量を示した。4種の食品すべてにおいて，咀嚼の進行とともに筋活動量は直線的に減少する傾向にあったものの，クラッカー，硬いゼリーの2食品においてはその減少率は大きく，最後の第4期でその変化が大きくなる傾向にあった。

図9に食品ごとの左右咬筋，側頭筋筋電図より作成したリサージュパターンを示す。リサージュパターンは被験者間，被験食品間で様々であったが，下顎運動様相と同様にクラッカーや硬いゼリーなど硬いテクスチャーを持つ食品では大きく広がりのある軌跡を描き，形も滑らかさに欠けるいびつな軌跡になる傾向にあった。

リサーチパターンの広がり の指標として用いた近似直線の  $R^2$  値による下顎運動パターン、つまりチョッピング型、グライディング型への変化を図 10 に示す。咀嚼開始から [図 10] 第 3 期までで、食品ごとに明らかに異なる咀嚼運動様相を示し、第 4 期においては咬筋、側頭筋ともに差を認めず、食品ごとの平均値のばらつきもわずかであった。下顎運動様相の変化の幅は、平均して側頭筋よりも咬筋で大きくなった。米飯、軟らかいゼリーでは、ほとんどの被験者に咀嚼開始から終了までの下顎運動に有意な差は認められず、クラッカー、硬いゼリーでは、チョッピング型からグライディング型へ変化し、その後再びチョッピング型へ移行する傾向を認めた。

## 考察

### 1. 研究方法について

高齢化の進行に伴い、咀嚼障害や嚥下障害を持つ高齢者も増加し、その障害の評価と改善に関する研究が多く行われている<sup>1-7,44)</sup>。その中で安全に飲み込める食品の開発も進められており、多くの介護サービスや高齢者施設で採用されている<sup>33,58-60)</sup>。その一方で、咀嚼が心身に及ぼす影響について見直され、楽に飲み込めることよりも、咀嚼し、味わい、飲み込むからこそより QoL 向上に寄与するという考え方が広まりつつある。従って、口腔感覚と咀嚼運動を関連付けた咀嚼の質的評価について検討することは重要である。

食事中の口腔感覚、すなわち食感を評価する方法には、人間の感覚を計器とする官能試験と、機械を用いたテクスチャー試験がある。本研究で採用したテクスチャー試験は、咀嚼運動を模倣した複数回の圧縮運動を行い、歯になぞらえたプランジャーにかかる荷重を

測定することで、咀嚼時の圧感覚を再現するものである。これは、個体差の大きい感覚を数値化し、客観的に評価する代表的な方法であり、実際の人間の感覚による官能試験との相関も報告されている<sup>33,34)</sup>。食塊テクスチャーは咀嚼過程で調整され、硬さや凝集性、付着性の変化が、嚥下誘発の閾値として関与していることが示唆されている<sup>42-46)</sup>。塩澤らの先行研究では、咀嚼開始直後、咀嚼開始から嚥下までの中間点、嚥下直前の各段階での食塊テクスチャーを比較することにより、咀嚼によって食塊テクスチャーがどのように変化するかを評価している<sup>47,50,55)</sup>。本研究では咀嚼過程を咀嚼回数を指標にさらに細かく4分割し、各過程で食塊を採取することで、咀嚼の進行に伴うテクスチャーの変化をより詳細に評価した。

テクスチャープロファイル分析では、食品の機械的特性を測定する。食品特性を表すパラメーターには、1次特性として、食品の変形に要する力である硬さ、食品のまとまりやすさを表す凝集性、口腔、咽頭に残った食品を取り除くのに要する力とされる付着性などがあり、2次特性として、硬さと凝集性から算出されるガム性、さらに弾力性を加えて評価する咀嚼性などがある。本研究では特性の異なる4種の食品の測定を行う上で、指標となる値の単純化を図るため、1次特性の中から咀嚼時の食感を表現する指標として官能試験による実際の感覚との相関が報告されている硬さ、凝集性、付着性の3項目を用いた<sup>34)</sup>。

硬さ、凝集性、付着性は、厚生労働省の定めた「えん下困難者用食品の許可基準」や、多くの病院や高齢者施設で採用されている嚥下困難者用食品のテクスチャーの基準にも採用されており、臨床的に広く用いられる値である<sup>33,58-60)</sup>。本来の厚生労働省の定めるところによる「えん下困難者用食品の許可基準」で採用されている測定は、直径20 mmの円形

Accepted Article

の断面を持つプランジャーを用いて行われるが、これは軟らかく容易に変形する嚥下困難者用食品の測定に応じた設定であり、同プランジャーでは本研究に用いたクラッカー等の硬い食品における咀嚼初期の食塊テクスチャー測定に適さなかったため、すべての食塊テクスチャーの比較を行えるように直径 16 mm のプランジャーを用いた。これにより全被験食品の全咀嚼過程において食塊テクスチャーの測定が可能となり、同一実験系の中での比較に有効な数値が得られた。

咀嚼運動の計測には、一般的に下顎運動測定や咀嚼関連筋の筋電図計測が行われてきた<sup>61,62)</sup>。中でも咬筋、側頭筋等の閉口筋の筋電図は、咀嚼開始から終了までの時間や咀嚼周期の読み取りのほか、筋活動量を指標とした噛みごたえの評価等に利用されるなど<sup>63,64)</sup>、咀嚼運動の観察に多く用いられてきた。筋活動量からみた単純な力の大きさだけでなく、左右の筋活動量バランスより咀嚼運動様相を特徴づける試みもなされている<sup>56,57)</sup>が、これだけでは下顎運動の多様な運動パターンやその特徴を評価することは困難である。本研究では咀嚼運動様相の観察に左右咬筋活動によるリサーチパターンを用いた過去の研究<sup>56,57)</sup>を参考に、側頭筋活動によるリサーチパターンの分析も加え、その形状の変化を客観的に評価する手段として近似式の寄与率  $R^2$  値を指標に、咀嚼の 1 ストロークごとの特徴を数値化した。この寄与率の増減は、リサーチパターンの見た目の広がりに対応しており、つまり、チョッピング型咀嚼とグラインディング型咀嚼の推移を表すものであり、明確な定義による区分のないチョッピング型とグラインディング型の変化を読み取る指標としてリサーチパターンが有用であると考えられる。

過去の研究では、咀嚼による食塊テクスチャー変化<sup>48,50,55)</sup>や咀嚼食品による咀嚼運動変

化に関する報告<sup>65)</sup>はあるものの、咀嚼過程におけるこれらの関連を明らかにした報告は見当たらない。本研究では4分割した咀嚼過程におけるテクスチャー変化の観察と、咀嚼ストローク毎の下顎運動様相の数値化により、咀嚼過程の各段階における食塊テクスチャーと咀嚼運動との関連を観察した。

## 2. 結果について

### 1) 咀嚼回数

被験者ごとに各被験食品の咀嚼回数はほぼ一定であり、習慣的な咀嚼回数が存在することが示唆された。また、刺激時唾液分泌量と咀嚼回数において、米飯、硬いゼリー、軟らかいゼリーでは比較的高い正の相関係数が認められたものの、有意な相関は認められなかった。過去の報告では、トースト、煎餅など乾燥した食品の咀嚼回数と刺激時唾液分泌量の間を負の相関が報告されている<sup>66-68)</sup>。本研究で用いた被験食品の中で、吸水性の高い乾燥したものはクラッカーであるが、クラッカーの咀嚼回数と刺激時唾液分泌量の有意な相関関係は認められなかった。薬剤等により実験的に唾液分泌量を減少させた場合の咀嚼回数の増加も報告されており<sup>48-50)</sup>、嚥下可能な食塊の形成には嚥下閾に応じた量の唾液との混和が求められ、唾液分泌量の不足がある程度咀嚼回数で代償されるのかもしれない。クラッカー咀嚼において咀嚼回数と咬合力の間に正の相関、咬合圧に強い負の相関を認めた。今回、被験者の咬合力のばらつきの大きさに対し、咬合圧に個人差が少なかったことから、この場合、強い咬合力は咬合接触面積が広いことに対応すると考えられ、習慣的な咀嚼回数の多さが咬耗等に影響を与えていると考えられる。一方では、唾液流量などの口腔因子

と咀嚼回数に関係は認められないという報告もある<sup>69)</sup>。本研究のような健常若年者を被験者とした場合、食品の嗜好や習慣性の下顎運動要素が咀嚼過程に大きく影響したと考えられる。つまり、咀嚼が食塊形成のためだけに営まれるものではなく、各人の咀嚼回数が必ずしも食塊形成に必要な最低回数というわけではないことを示唆していると考えられる。

## 2) 咀嚼進行に伴うテクスチャー変化の特徴について

咀嚼の一義的な意味は、嚥下可能な食塊形状にすることであり、咀嚼の進行とともに食塊テクスチャーの変化が認められ、嚥下閾値といわれるテクスチャーに達すると嚥下が誘発されると考えられる<sup>46)</sup>。本研究においても咀嚼の進行に伴って食塊の硬さは減少した。その減少の割合はクラッカー、硬いゼリーで大きく、区間別では25%~50%区間で大きい傾向にあった。米飯以外の3食品は塊で提供され、咀嚼の初めに噛み砕かれ、細かい粒に分かれたため、小さな力でも粒どうしが滑り、変形しやすくなったためと思われる。米飯がほかの試料食品に比べて緩やかな変化なのは、もともと粒状食品だからだと考えられる。

凝集性は、多くの食品において咀嚼の進行によって上昇が認められ<sup>46,48,50)</sup>、ピーナッツやビスケットなどは嚥下直前の食塊において最大の凝集性を示すことが報告されている<sup>46)</sup>。本研究でも、いずれの食品も咀嚼の進行とともに直線的に上昇し、とくに凝集性が低いクラッカーでは最も大きい上昇率を示した。凝集性が低くまとまりにくい食品においては凝集性が最大となる時に嚥下が誘発されると考えられる。

付着性は嚥下においては小さい方が望ましく、餅などの付着性の大きな食品は、咀嚼による付着性の減少が報告されている<sup>46)</sup>。この特性を用いて被験食品の付着性を上げること

Accepted Article

で、咀嚼時間の延長や舌運動量の増加を認めた報告もあり<sup>47)</sup>、嚥下誘発には付着性がある一定の値の嚥下閾以下に収めること、そのためには唾液との十分な混和が求められることが示唆されている<sup>48,49)</sup>。食塊の付着性は食品によって特異的な変化を示す。餅などの付着性の高い食品では付着性が嚥下閾まで減少した時点で嚥下が誘発されるが、ビスケットなどの硬く乾燥した食品では咀嚼によって付着性は逆に上昇する<sup>55)</sup>。本研究では、クラッカーのみ付着性が上昇し、それ以外の食品はほとんど変化しなかった。クラッカーは硬く、乾燥した食品であり、咀嚼による粉砕と唾液との混和なしに丸呑みすることは不可能である。クラッカーは咀嚼が進むにつれて、安全に嚥下する上では好都合のように硬さは低下し、凝集性は上昇したものの、不都合となる付着性は吸水のため上昇した。それでも問題なく嚥下できたのは、今回被験者に選んだのが予備能力の高い健常若年者であったため、唾液分泌による口腔咽頭の潤滑や顎口腔周囲筋の運動に障害がなく、高い付着性でも嚥下可能だったためと思われる。嚥下機能の低下した高齢者や障害者向けには、吸水による付着性の上昇が少なくなるよう成分調整されたビスケットなども開発されている<sup>55)</sup>。125%咀嚼に示すような自然な咀嚼に要求される以上の咀嚼回数の増加は、このテクスチャーをより嚥下しやすい方向に導くものと考えられる。本実験でも多くの被験者でクラッカーの付着性は咀嚼回数の増加に伴い上昇し続けたが、一部の被験者では、一旦付着性が上昇した後、100~125%咀嚼において、付着性の減少が認められた。これは唾液との混和が充分に進み、食塊に含まれる水分の比率が増したことにより、付着性が増す段階を超えて食塊がゆるくなり、滑りが良くなったためと考えられる。

変動係数の結果から見ても、硬さ、凝集性は小さく、付着性は大きな値を示した。また、

付着性は、25%時点で最大を示し、それ以降は収束方向にあった。

以上のように、咀嚼の進行とともに硬さの減少と一定以上の凝集性という嚥下に必要な食塊テクスチャーの形成があり、それに付着性の因子が加味され、嚥下に至ることが示唆された。

食塊テクスチャーの変化と刺激時唾液分泌量、咬合力、咬合圧との関係については、ほとんど有意な関係は認められなかったが、クラッカーにおいて、25%時点から100%時点までの付着性の変化に咬合力との正の相関が、硬いゼリーにおいて、硬さの変化に咬合圧との負の相関が認められた。統計学的な有意差は認められないものの、軟らかいゼリーにおいても比較的強い負の相関を認めた。刺激時唾液分泌量、咬合力、咬合圧は食塊テクスチャー形成に影響を与えるものの、最終的な嚥下直前の状態には決定的な影響は及ぼさないと考えられる。

### 3) 咀嚼過程における下顎運動の変化と食品テクスチャーの関係について

咀嚼時の下顎運動は、硬い食品ほど下顎運動経路の側方幅は大きく、閉口経路が咬合平面となす角は小さくなると報告されている<sup>65)</sup>。本研究でも、下顎運動測定および筋電図の $R^2$ 値から、硬い食品であるクラッカーと硬いゼリーは、咀嚼開始直後はチョッピング型であるが、その後グラインディング型になり、そしてチョッピング型に戻った。一方、米飯、軟らかいゼリーは、個人特定のパターンで咀嚼し、咀嚼の進行とともに若干チョッピング型になっていく傾向にあった。また、咬筋、側頭筋の総筋活動量の変化より、咀嚼のどの段階においてもクラッカー、硬いゼリーの咀嚼時に必要な活動量は米飯、軟らかいゼリー

と比較して大きいことが示された。また、クラッカー、硬いゼリー咀嚼時の咬筋、側頭筋の総筋活動量は咀嚼の進行に伴って減少するが、米飯、軟らかいゼリーでは咀嚼の進行に伴う変化はほぼ認めない結果になった。これは、クラッカーと硬いゼリーの咀嚼過程における硬さの減少の割合が大きいことに対して、米飯と軟らかいゼリーは調整のいない食品であることを表していると考えられる。

食塊テクスチャー変化においては4種の食品はそれぞれに特異的な変化を示したが、咀嚼運動様相の変化に関しては、クラッカーと硬いゼリー、米飯と軟らかいゼリーで、ほぼ同様の変化を見せた。クラッカーと硬いゼリーに共通することは、他の2食品と比較した咀嚼過程での著しいテクスチャー変化である。食塊テクスチャーの変化と同じく、 $R^2$  値の変化や総筋活動量の変化も、クラッカーと硬いゼリーでは咀嚼過程の変動が大きく、米飯と軟らかいゼリーではほとんど変化しなかった。

クラッカーと硬いゼリーの咀嚼開始時にチョッピング型咀嚼が多く現れ、左右の総筋活動量でも咀嚼開始時に最大の値を示していたことから、これは塊状の被験食品をはじめに咬断、粉碎する運動が現れたものと思われる。そののちに細くなった食品粒に対して、硬さに応じたグライディング型の運動が現れたものと推測される。クラッカーと硬いゼリーの最も顕著な硬さの減少も、咀嚼開始直後に起こっており、食品の粒状性の変化に対応しているものと考えられる。開始直後を除く咀嚼過程の変化において、食品の硬さが減じるほどに咀嚼運動はグライディング型からチョッピング型方向へと変化する傾向を示した。つまり食塊の硬さが下顎運動に強く関連することが示唆された。 $R^2$  値の推移を指標とした咀嚼運動変化においては、咀嚼の初期から中期にかけて食品ごとの特異的な運動変

化が認められた。これは、大きく異なるテクスチャーを持つ食品の調整に、異なった咀嚼運動が必要だったためと思われる。このように、咀嚼初期においては、口腔内の食塊形状および粒状性を、咀嚼中期以降においては食塊テクスチャー変化を反映したと思われる下顎運動の変化が認められた。

咀嚼終期の食塊テクスチャーについて、付着性に関しては咀嚼過程でクラッカーと他食品の差が開く結果となったが、凝集性は変化しないか1に近づいて上昇するという共通の傾向を見せ、硬さは軟らかい食品である米飯と軟らかいゼリーにおいてわずかに減少し、硬い食品であるクラッカーと硬いゼリーにおいて顕著な減少を見せた結果、最終的な食品間の差異は小さくなった。R<sup>2</sup> 値及び総筋活動量も最終期で被験食品間での差が小さくなったことから、すでにほぼ嚥下可能な食塊として、そのテクスチャーには食品ごとのばらつきがあるものの、嚥下閾に至った食塊に共通の嚥下に向けての最終調整が加えられていたためと考えられる。

### 3. 口腔感覚と咀嚼運動からみた咀嚼の質について

咀嚼の効用が議論されているが、一つは栄養の面で安全にかつ効果的に口腔以降の消化管に食物を輸送するための前準備であり、もう一つは、その口腔感覚を通して中枢に<sup>22-29)</sup>影響を与えることに集約される。口腔内には多くの感覚受容器があり、食物の量、物性、口腔内の位置などの情報を中枢に送っている。中枢はこれらの情報をもとに咀嚼関連筋、頬や舌などの口腔周囲筋、唾液腺などの協調を図る<sup>70)</sup>。咀嚼中枢における咀嚼運動の調節機構には脳幹部にある介在神経や運動神経レベルの反射性に行われる末梢性の調節と、大

脳皮質が関与する中枢性調節機構が知られている<sup>71)</sup>。歯根膜の圧受容器や、閉口筋の筋紡錘からの負荷情報が中枢に送られ、食物の硬さや力の加わる方向に応じて筋活動の調整が行われる<sup>71)</sup>。

本研究の結果からも示されるように、咀嚼時の食塊テクスチャーは咀嚼の進行に伴い変化した。今回用いた被験食品のうち、そのままでは飲み込めないクラッカーと硬いゼリー、軟らかく丸飲みも可能な米飯と軟らかいゼリーの2組の食品間で、明らかに異なる咀嚼回数、嚥下までの食塊テクスチャー変化様相の違い、下顎運動の違いを認めたことから、咀嚼運動には、食塊物性に応じて調整される要素と、個人の習慣による運動要素があると考えられる。つまり、そのままでは飲み込みにくい食品においては、食塊物性に応じて変化する運動要素の影響が強い。嚥下閾に近い物性を持つ食品においては、あまり物性調整を必要としないため個人の習慣性の運動要素の影響が強くなるものと考えられる。

## 結論

健常若年者を対象に、4被験食品の咀嚼開始から嚥下誘発時点までの咀嚼回数、食塊テクスチャー、下顎運動を分析し、食塊テクスチャー変化と咀嚼運動との関連について以下の結論が得られた。

1. 咀嚼回数は、各被験者では安定した回数を示した。
2. 咀嚼の進行に伴って元の食品の物性に応じた特異的な食塊テクスチャーの変化が認められた。嚥下誘発の閾値に至るには食品の物性に応じた咀嚼による調整が求められることが示唆された。

3. 食塊テクスチャーの変化に対応した下顎運動様相の変化が認められ、咀嚼運動が口腔内の食塊物性の変化に対応して営まれていることが示唆された。

以上のことから、咀嚼時の下顎運動は食塊テクスチャーの変化に伴う口腔感覚の影響を受け、嚥下までに物性の調整を要する食品ほど感覚と運動の協調による咀嚼が営まれると示唆された。

#### 謝辞

稿を終えるにあたり、終始御指導、御校閲を賜りました口腔顎顔面補綴学分野市川哲雄教授に深甚なる謝意を表しますとともに、御校閲、御助言を頂きました口腔保健支援学分野松山美和教授、咬合管理学分野松香芳三教授に深謝致します。また本研究の遂行にあたり、御協力頂きました被験者の皆様、徳島大学歯学部学生、大学院生、歯科研修医の皆様、終始特別の御配慮を頂きました口腔顎顔面補綴学分野の教室員の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 図の説明

- 図 1 テクスチャプロファイル分析法
- 図 2 咀嚼筋筋活動量に基づくリサージュパターン
- 図 3 咀嚼筋筋活動量に基づくリサージュパターンによる下顎運動の分析
- 図 4 食品ごとの咀嚼回数
- 図 5 咀嚼の進行に伴う食塊テクスチャー変化
- 図 6 咀嚼の進行に伴う食塊テクスチャーの変動係数の変化
- 図 7 咀嚼の進行に伴う下顎運動軌跡の変化 (代表例)
- 図 8 総筋活動量の推移
- 図 9 食品ごとの代表的リサージュパターン
- 図 10 咀嚼の進行に伴う咀嚼パターンの変化
- 表 1 咀嚼回数の日内および日間の変動係数
- 表 2 咀嚼回数と刺激時唾液分泌量, 咬合力, 咬合圧との相関 (Pearson の相関係数)
- 表 3 食塊テクスチャー変化と刺激時唾液分泌量, 咬合力, 咬合圧との相関 (Pearson の相関係数)

## 参考文献

- 1) 志賀 博, 中島邦久, 田中 彰, 石川礼乃, 渡邊篤志, 小林義典: グミゼリー咀嚼時のグルコースの溶出量の測定による簡便かつ客観的な咀嚼能力検査法. 歯学 100, 172-176 (2013)
- 2) 安井 栄, 野首孝祠, 吉牟田陽子, 野首文公子, 楠 智恵, 來田百代, 横田和則, 山本 孝: 検査用グミゼリーによる咀嚼能率スコア法の臨床活用に向けた信頼性の検討. 日本咀嚼学会雑誌 22, 11-17 (2012)
- 3) 奥野典子, 山本 健, 赤松那保, 森戸光彦: 高齢者の口腔機能の評価法に関する研究. 鶴見歯学 39, 11-23 (2013)
- 4) Abe R, Furuya J and Suzuki T: Videoendoscopic measurement of food bolus formation for quantitative evaluation of masticatory function. J Prosthodont Res 55, 171-178 (2011)
- 5) 平野 圭, 高橋保樹, 平野滋三, 早川 巖, 関 哲哉: 新しい発色法を用いた色変わりチューニングガムによる咀嚼能力の測定に関する研究. 日本補綴歯科学会雑誌 46, 103-109 (2002)
- 6) Leopold N A, Kagel M C: Dysphagia-ingestion or deglutition?-a proposed paradigm. Dysphagia 12, 202-206 (1997)
- 7) Palmer J B: Ingestion of oral and pharyngeal bolus propulsion - a new model for the physiology of swallowing. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌 1, 15-30 (1997)
- 8) Matsuo K and Palmer J B: Coordination of mastication, swallowing and breathing. Jpn Dent

Sci Rev 45, 31-40 (2009)

- 9) 小野高裕, 野首孝祠: 「食べること」に関する口腔器官の機能的協調性. 補綴臨床 34, 216-223 (2001)
- 10) Palmer J B: Mechanisms of food transport during mastication and swallowing. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌 4, 3-13 (2000)
- 11) 井上 誠: 嚥下機能にまつわる昨今の生理学的知見. 新潟歯学会雑誌 42, 77-88 (2012)
- 12) 畝山寿之, 北村明彦, 植松 朗, 新島 旭: 迷走神経を介する自律神経機能調節. G I Res. 21, 99-106 (2013)
- 13) Kimura Y, Nomura M, Sawada Y, Muraoka N, Kohno N and Ito S: Evaluation of the effects of mastication and swallowing on gastric motility using electrogastrography. J Med Invest 53, 229-237(2006)
- 14) Kuboyama N, Ogawa K, Tuna E B, Arikawa K, Muramatsu H, Abo N and Maeda T: Influence of aging on experimental gastrointestinal motility in extraction of rat molar teeth. Pediatr Dent J 22, 8-15 (2012)
- 15) 小林義典: 咬合・咀嚼が創る健康長寿. 日本補綴歯科学会誌 3, 189-219 (2011)
- 16) 柴崎貞二, 糟谷知宏, 斎藤誠一郎, 松岡健平: 咀嚼能力と血糖コントロールとの関係について. プラクティス 11, 262-265 (1994)
- 17) 鈴木和枝, 福島恭子: 青年期女子における肥満の危険因子に関する検討-特に食習慣を中心に. 栄養学雑誌 58, 273-276 (2000)
- 18) 浅田照夫: 耐糖能に及ぼす口内刺激の影響-咀嚼を中心に. 京都医学会雑誌

48,83-86(2001)

- 19) 橋本和佳, 百合草誠, 松田秀人, 犬飼敏博, 土屋智昭, 吉田真琴, 伊藤 裕, 大野紀和, 清水武藤, 佐久間勝也, 永田一夫, 藤井義久: 咀嚼と糖代謝に関する研究-ラット育成時の食餌性状の違いによる検討. 愛知学院大学歯学会誌 45, 225-231 (2007)
- 20) 阪上紗弓, 辻岡真由子, 岡崎 綾, 中村美砂: 若年者の食行動と肥満. 日本未病システム学会雑誌 17, 1-6 (2011)
- 21) 池邊一典: 咬合・咀嚼は健康長寿にどのように貢献しているのか-文献レビューを中心に. 日本補綴歯科学会誌 4, 388-396 (2012)
- 22) 成田紀之: 顎口腔領域のシステム神経科学. 日本口腔顔面痛学会雑誌 5, 15-26 (2012)
- 23) Kubo K, Ichihashi Y, Kurata C, Iinuma M, Mori D, Katayama T, Miyake H, Fujiwara S and Tamura Y: Masticatory function and cognitive function. Okajimas Folia Anat Jpn 87, 135-140 (2010)
- 24) 渡邊和子, 富田美穂子, 小野塚 実: 認知と口の役割. 歯界展望 107, 586-589 (2006)
- 25) 小野弓絵, 李 昌一, 小野塚 實: 咀嚼で防ぐ認知機能の老化. アンチ・エイジング医学 7, 180-184 (2011)
- 26) 片岡 烈: 咀嚼刺激による海馬機能改善機構の解明. 神奈川歯学 44, 82-91 (2009)
- 27) 木村幸司: ストレスによる乳癌発症とチューイングの影響. 神奈川歯学 46, 18-26 (2011)
- 28) 丹羽政美, 榎田 雄, 久岡清子, 水野潤造, 小野弓絵, 大塚剛郎, 久保金弥: チューイングによるストレス緩和の脳内機構-fMRI による研究. 神奈川歯学 46, 7-17 (2011)

- 29) 小野弓絵, 小野塚 實: 咀嚼とストレス緩和. 臨床栄養 118, 784-785 (2011)
- 30) 大瀧祥子: 食べる機能の神経制御. 臨床栄養 111, 420-428 (2007)
- 31) 森本 俊文: 咀嚼筋固有感覚と顎運動・顎反射. 歯科基礎医学会雑誌 27, 1-15 (1985)
- 32) 中村隆一: PNF に関わる神経生理学的機序. PNF リサーチ 12, 1-12 (2012)
- 33) 藤間紀明, 山村千絵: エスプーマ調理器で泡状に加工した納豆の咀嚼・嚥下特性 テク  
スチャー検査と官能検査. 日本咀嚼学会雑誌 22, 113-121 (2012)
- 34) 大越ひろ: えん下困難者用食品の許可基準. Geriatric Medicine 48, 1711-1714 (2010)
- 35) 阿部真之介: 食塊の物性が嚥下閾に与える影響. 小児歯科学雑誌 39, 704-711 (2001)
- 36) 島田久寛, 谷口裕重, 井上 誠: 随意嚥下閾値に関わる食塊の物性. 日本摂食・嚥下リハ  
ビリテーション学会雑誌 14, 106-115 (2010)
- 37) Dantas R O, Kern M K, Massey B T, Dodds W J, Kahrilas P J, Brasseur J G, Cook I J and Lang  
I M: Effect of swallowed bolus variables on oral and pharyngeal phases of swallowing. Am J  
Physiol 258, 675-681 (1990)
- 38) Nicosia M A and Robbins J A: The fluid mechanics of bolus ejection from the oral cavity. J  
Biomech 34, 1537-1544 (2001)
- 39) Steele C M and Van Lieshout P H: Influence of bolus consistency on lingual behaviors in  
sequential swallowing. Dysphagia 19, 192-206 (2004)
- 40) Kahrilas P J, Lin S, Chen J and Logemann J A: Oropharyngeal accommodation to swallow  
volume. Gastroenterology 111, 297-306 (1996)
- 41) Coster S T and Schwarz W H: Rheology and the swallow-safe bolus. Dysphagia 1, 113-118

(1987)

42) Prinz J F and Lucas P W: Swallow thresholds in human mastication. *Archs Oral Biol* 40, 401-403 (1995)

43) Peyron M A, Gierczynski I, Hartmann C, Loret C, Dardevet D, Martin N and Woda A: Role of physical bolus properties as sensory inputs in the trigger of swallowing. *PLoS One* 6, e21167.10.1371/journal.pone.0021167 (2011)

44) 深津ひかり, 野原幹司, 佐々生康宏, 尾島麻希, 小谷泰子, 阪井丘芳: 内視鏡を用いた嚥下直前の食塊の観察-咀嚼回数が食塊に与える影響. *日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌* 14, 27-32 (2010)

45) 小城明子, 柳沢幸江, 植松 宏: 咀嚼回数による摂食機能評価方法の検討-評価への嚥下閾値の影響. *日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌* 10, 231-238 (2006)

46) Shiozawa K, Kohyama K and Yanagisawa K: Relationship between physical properties of a food bolus and initiation of swallowing. *J Oral Biosci* 45, 59-63 (2003)

47) 塩澤光一, 神山かおる, 柳沢慧二: 摂取する食品の付着性がヒトの咀嚼行動に与える影響. *歯科基礎医学会雑誌* 39, 25-33 (1997)

48) 住野広明, 塩澤光一, 森戸光彦: 成人被験者における唾液分泌量が咀嚼時の食塊物性変化に及ぼす影響. *老年歯科医学* 22, 288-297 (2007)

49) 奥野典子, 山本 健, 水木雄亮, 住野広明, 塩澤光一, 子島 潤, 森戸光彦: 唾液分泌量の減少が混合能力と咀嚼回数に及ぼす影響. *日本咀嚼学会雑誌* 20, 3-10 (2010)

50) 水木雄亮, 塩澤光一, 森戸光彦: 実験的唾液分泌量の減少が咀嚼過程と嚥下食塊物性に

及ぼす影響. 老年歯科医学 26, 412-422 (2012)

51)内田 学, 山口育子, 鈴木沙矢香, 渡邊紗恵子, 高嶋浩一, 渡辺智博, 三上俊一郎, 大村

明良: 空嚥下を用いた誤嚥のスクリーニング. 臨床福祉ジャーナル 9, 34-38 (2012)

52)Peter F K and Margaret E W: A quantitative test for xerostomia-The Saxon test, an oral

equivalent of the Schirmer test. Arthritis Rheum 28, 1128-1132 (1985)

53)奥野典子, 山本 健, 小田川拓矢, 水木雄亮, 住野広明, 森戸光彦: 刺激唾液分泌量測定

法における各種被験試料の検討. 日本咀嚼学会雑誌 21, 57-67 (2011)

54)塩澤光一, 飯田良平, 森戸光彦: 摂食回復支援用食品米飯と普通米飯がヒトの咀嚼行動

に及ぼす影響の比較. 日本咀嚼学会雑誌 21, 49-56 (2011)

55)宅見央子, 中村弘康, 福田真一, 水木雄亮, 住野広明, 白石浩荘, 米谷 俊, 森戸光彦,

塩澤光一: ロどけ感のあるビスケットの咀嚼中の物性特性. 日本咀嚼学会雑誌 18,

112-121 (2008)

56)熊井敏文, 野村浩道: ヒト咀嚼筋の差動リサーチ筋電図とその応用. 歯科基礎医学会

雑誌 31, 35-43 (1989)

57)熊井敏文, 増田 正, 佐渡山亜兵, 永村寧一: リサーチ図形を応用した顎運動描記方

法. 下顎運動機能と EMG 論文集 4, 135-140 (1985)

58)坂井真奈美, 江頭文江, 金谷節子, 栢下 淳: 臨床的成果のある段階的嚥下食に関する

食品物性比較. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌 10, 239-248 (2006)

59)神野典子, 栢下 淳: 在宅の嚥下機能障害者のための市販食品の分類-嚥下食ピラミッド

を用いて. 難病と在宅ケア 14, 43-45 (2008)

- 60) 山縣誉志江, 栢下 淳: 段階的な嚥下食の物性に適した嚥下造影検査食の検討. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌 12, 31-39 (2008)
- 61) 佐々木啓一: 咀嚼・嚥下機能の検査・診断システムの確立に向けて. 東北大学歯学雑誌 20, 75-90 (2001)
- 62) 坂東永一: 顎口腔機能の測定と評価. 日本顎口腔機能学会雑誌 12, 46-47 (2005)
- 63) 小城明子, 森 一恵, 竹内由里, 河野みち代, 浅野恭代, 大石明子, 佐藤礼子, 下田妙子, 柳沢幸江: 食種の物性特徴を示す主観的表現の客観的数値化. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌 14, 33-41 (2010)
- 64) 東 輝明: 咀嚼計測による食感評価の試み. 日本味と匂学会誌 11, 257-262 (2004)
- 65) 津 恭子, 根岸慎一, 林 亮助, 大原輝久, 須藤章乃, 斉藤勝彦, 葛西一貴: 食品性状の違いによる咀嚼運動の変化. 日大口腔科学 34, 1-6 (2008)
- 66) 佐藤菜美, 本間和代: 食物の咀嚼回数を増加させる食品の組み合わせと唾液分泌量の影響. 明倫短期大学紀要 16, 25-30 (2013)
- 67) Engelen L, Fontijn-Tekamp A and van der Bilt A: The influence of product and oral characteristics on swallowing. Arch Oral Biol 50, 739-746 (2005)
- 68) 本間 済, 河野正司, 武川友紀, 小林 博, 櫻井直樹: 煎餅を用いた食塊形成能力からみた咀嚼能力評価法. 日本顎口腔機能学会雑誌 10, 151-160 (2004)
- 69) 計良倫子, 河野正司, 本間和代: 欠損側と非欠損側の咀嚼能力の違い. 明倫短期大学紀要 14, 43-50 (2011)
- 70) 山田好秋: 基礎医学領域-咀嚼・嚥下の神経生理学. 日本摂食・嚥下リハビリテーション

学会雑誌 9, 23-26 (2005)

71) 山村健介: 摂食・嚥下の神経生理学的基盤と今後の研究課題. 新潟歯学会雑誌 43, 1-12

(2013)

Accepted Article

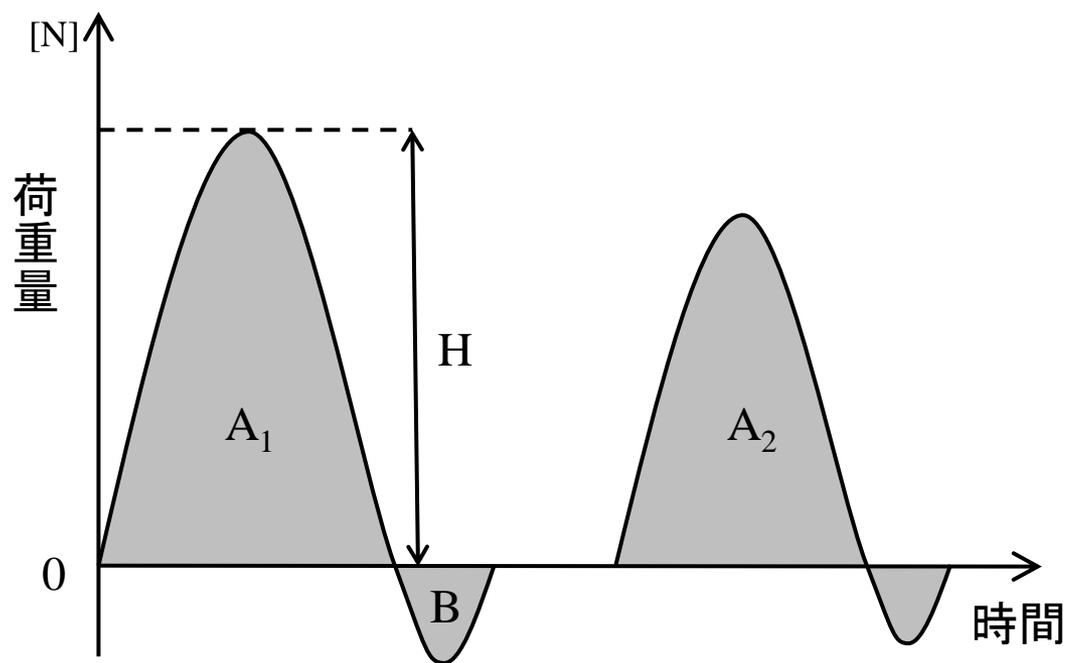


図1 テクスチャープロフィール分析法

硬さ[Pa] =  $H$  / (プランジャー断面積)

凝集性 = ( $A_2$ の面積) / ( $A_1$ の面積)

付着性[ $J/m^2$ ] = (Bの面積)

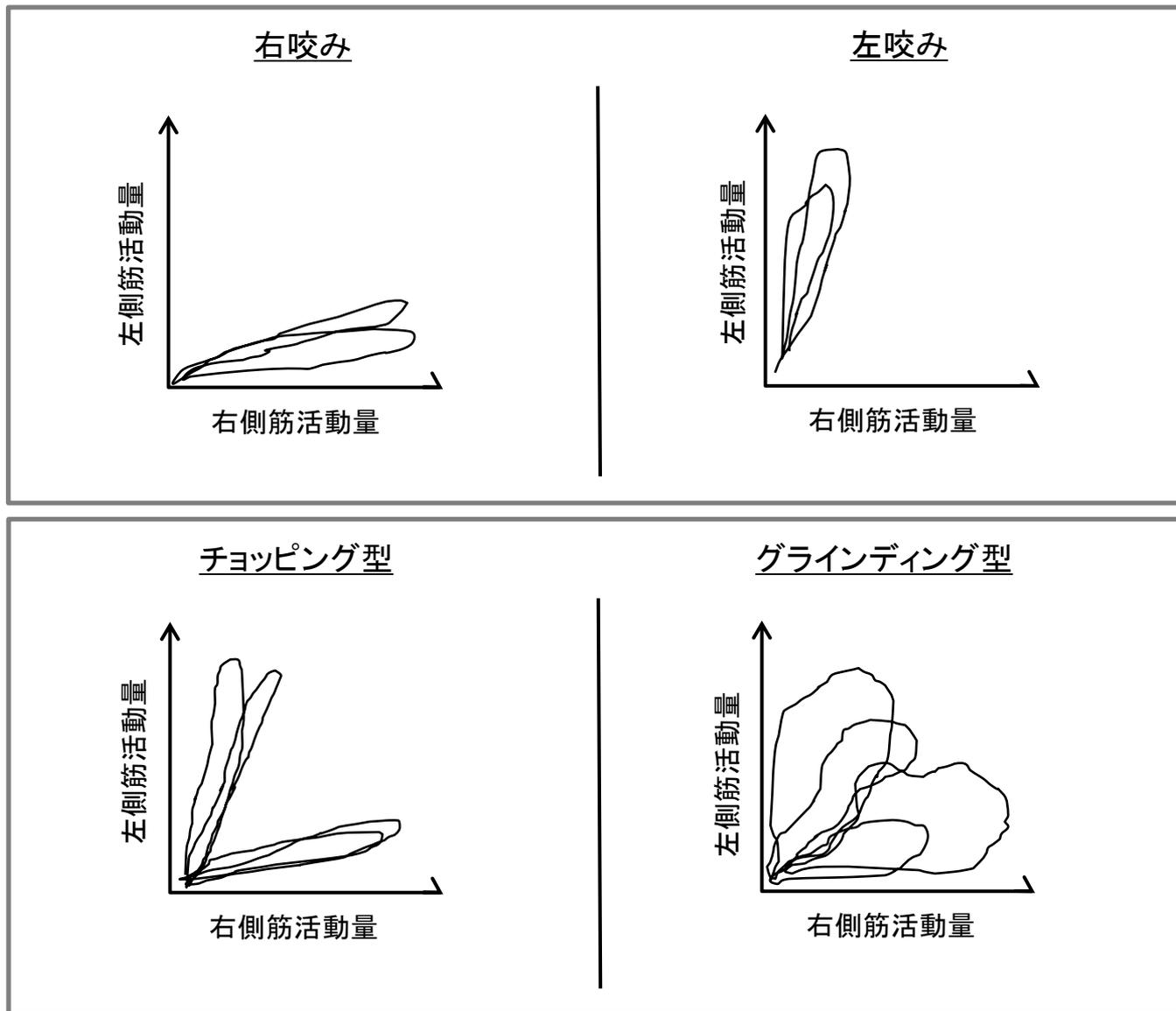


図2 咀嚼筋筋活動量に基づくリサーチパターン

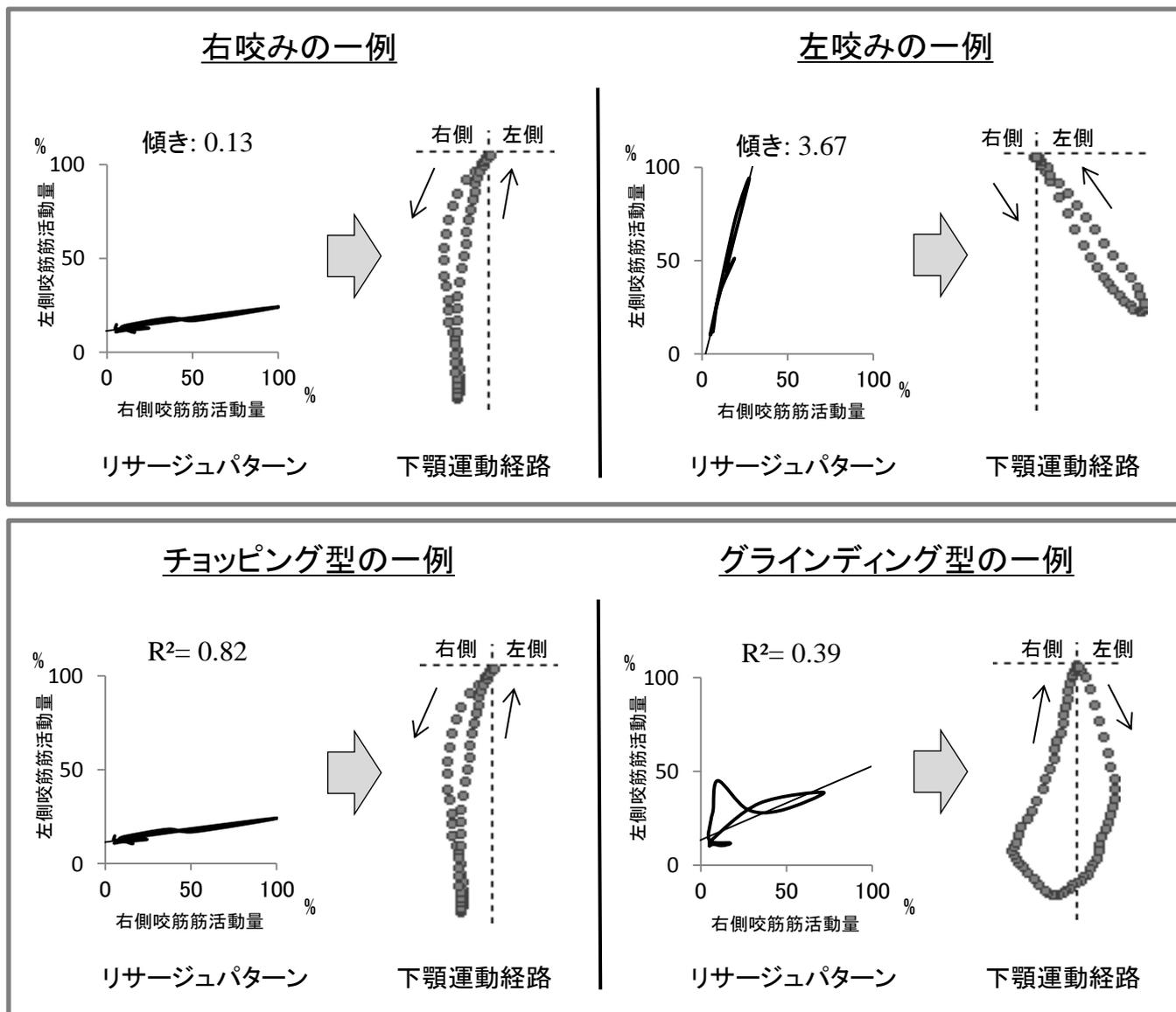


図3 咀嚼筋筋活動量に基づくリサーチパターンによる下顎運動の分析  
(上段: 咀嚼側の分析, 下段: 咀嚼パターンの分析)

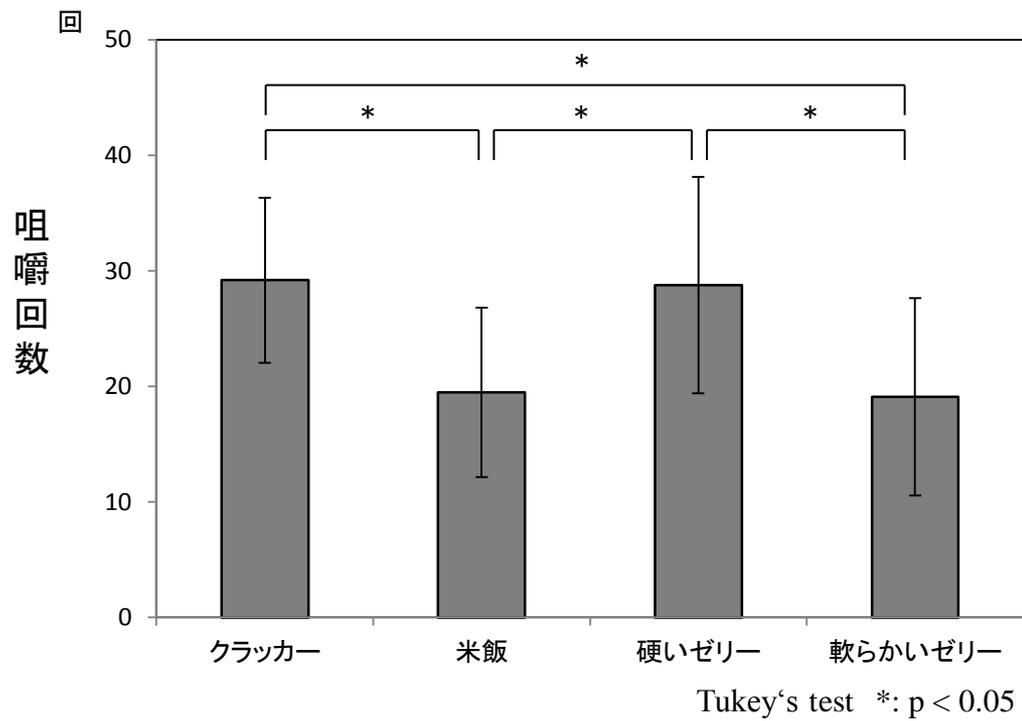


図4 食品ごとの咀嚼回数

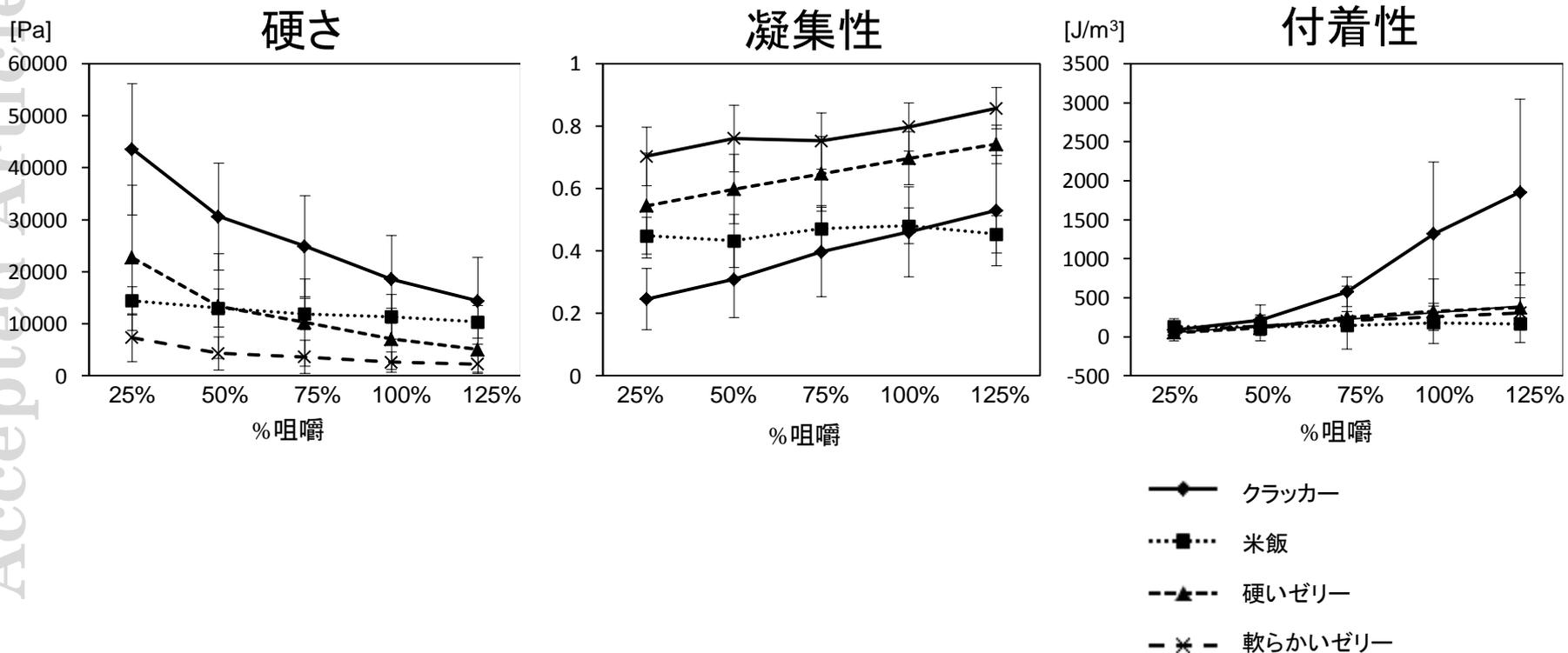


図5 咀嚼の進行に伴う食塊テクスチャー変化  
(N=15)

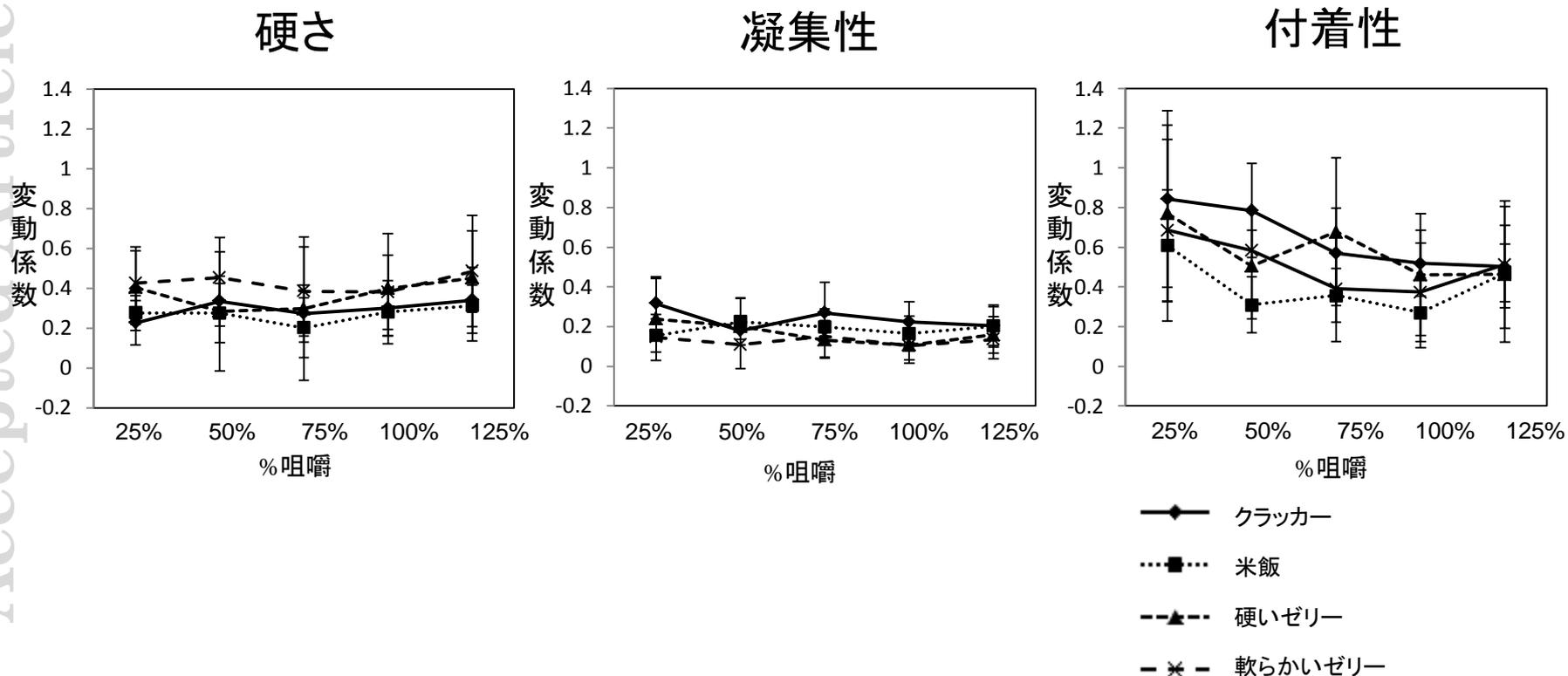
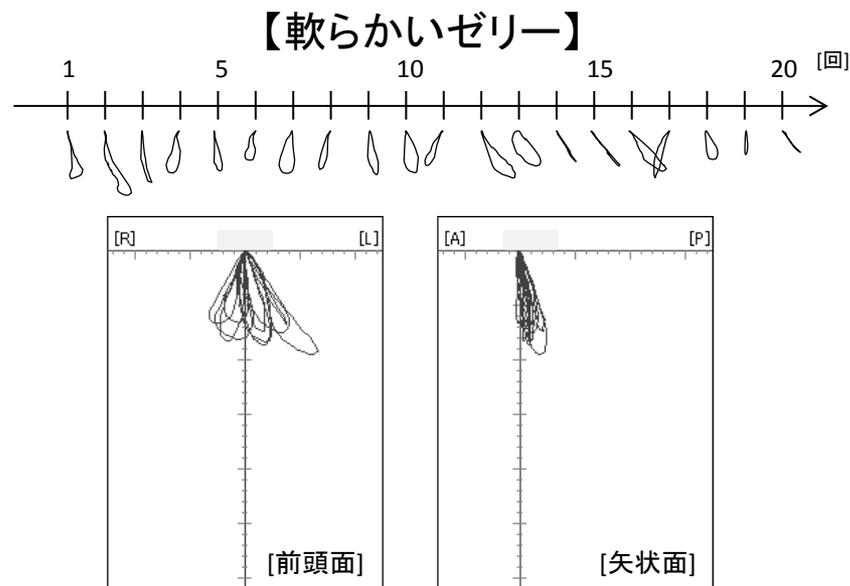
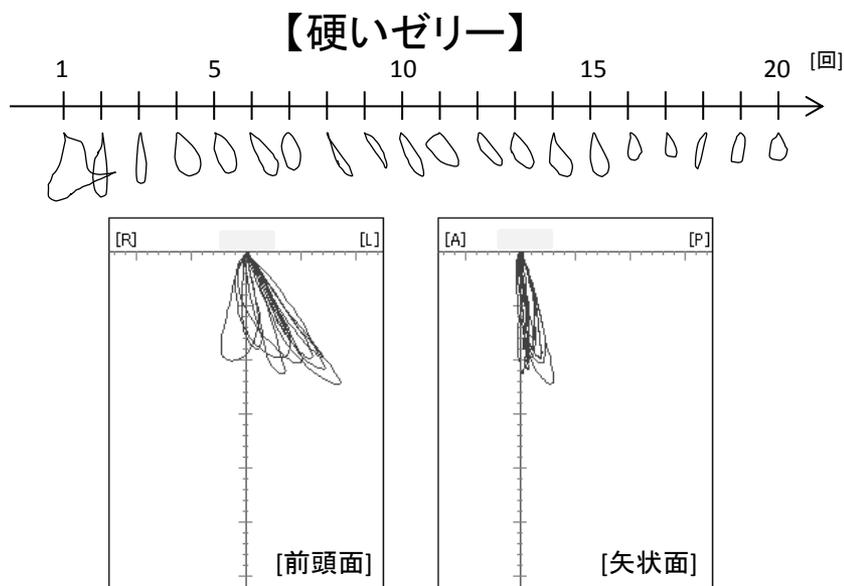
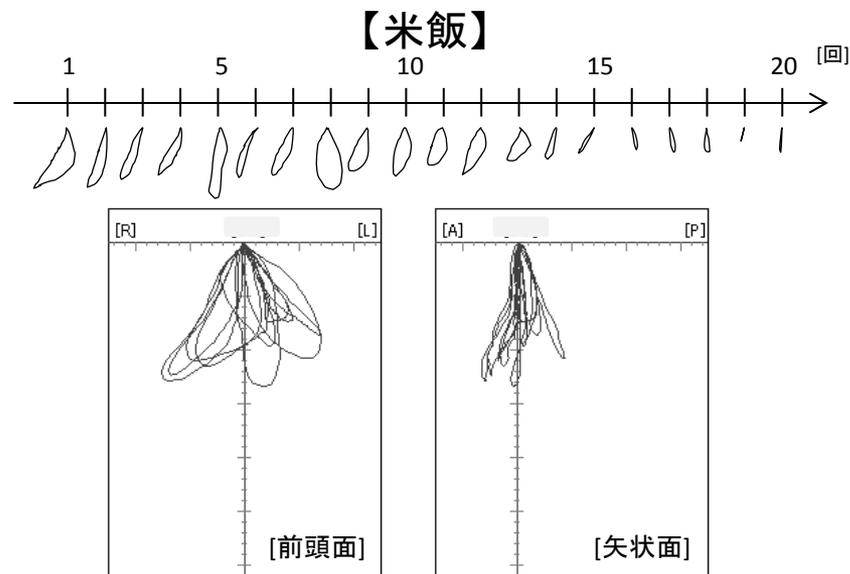
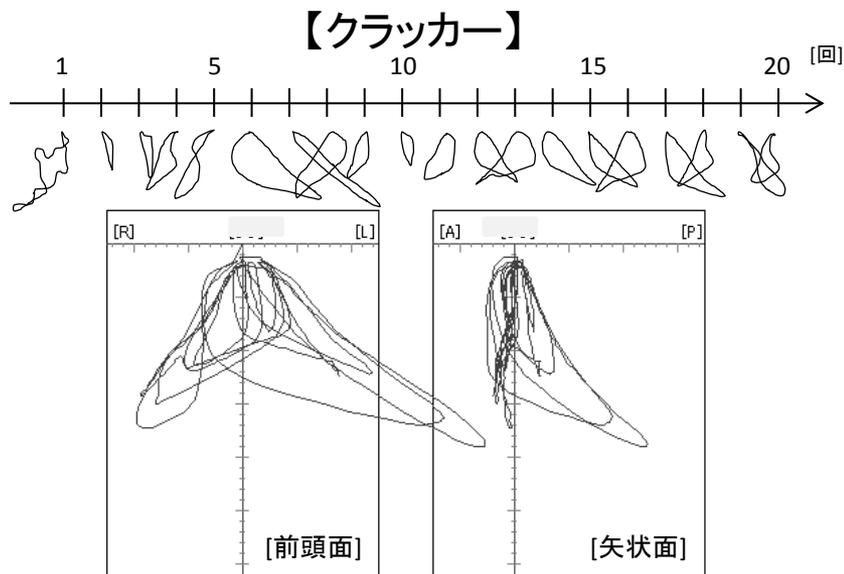


図6 咀嚼の進行に伴う食塊テクスチャーの変動係数の変化  
(N=15)



**図7 咀嚼の進行に伴う下顎運動軌跡の変化(代表例)**

上段: 咀嚼開始から20サイクルにおける切歯点の軌跡(前方投影像)を1噛みごとに分解したもの。

下段: 各試料食品咀嚼時の3~12回の10ストロークにおける切歯点の軌跡(前方投影像)を重ねあわせた図。

(R: 右側, L: 左側, A: 前方, P: 後方)

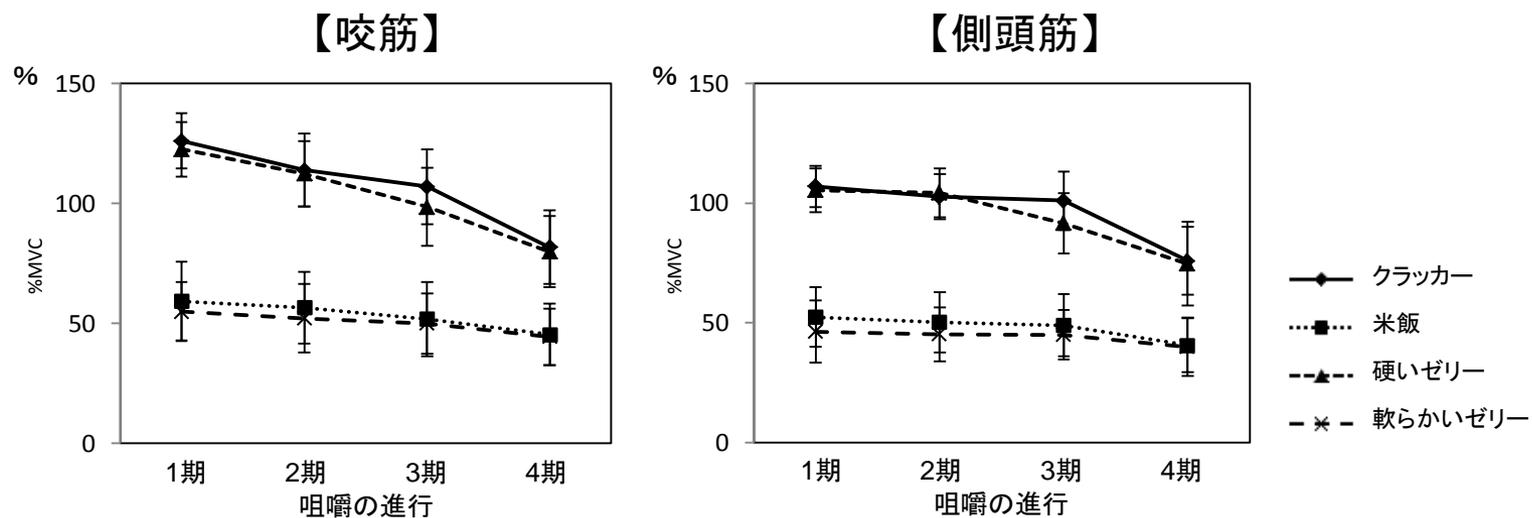


図8 総筋活動量の推移  
(N=15)

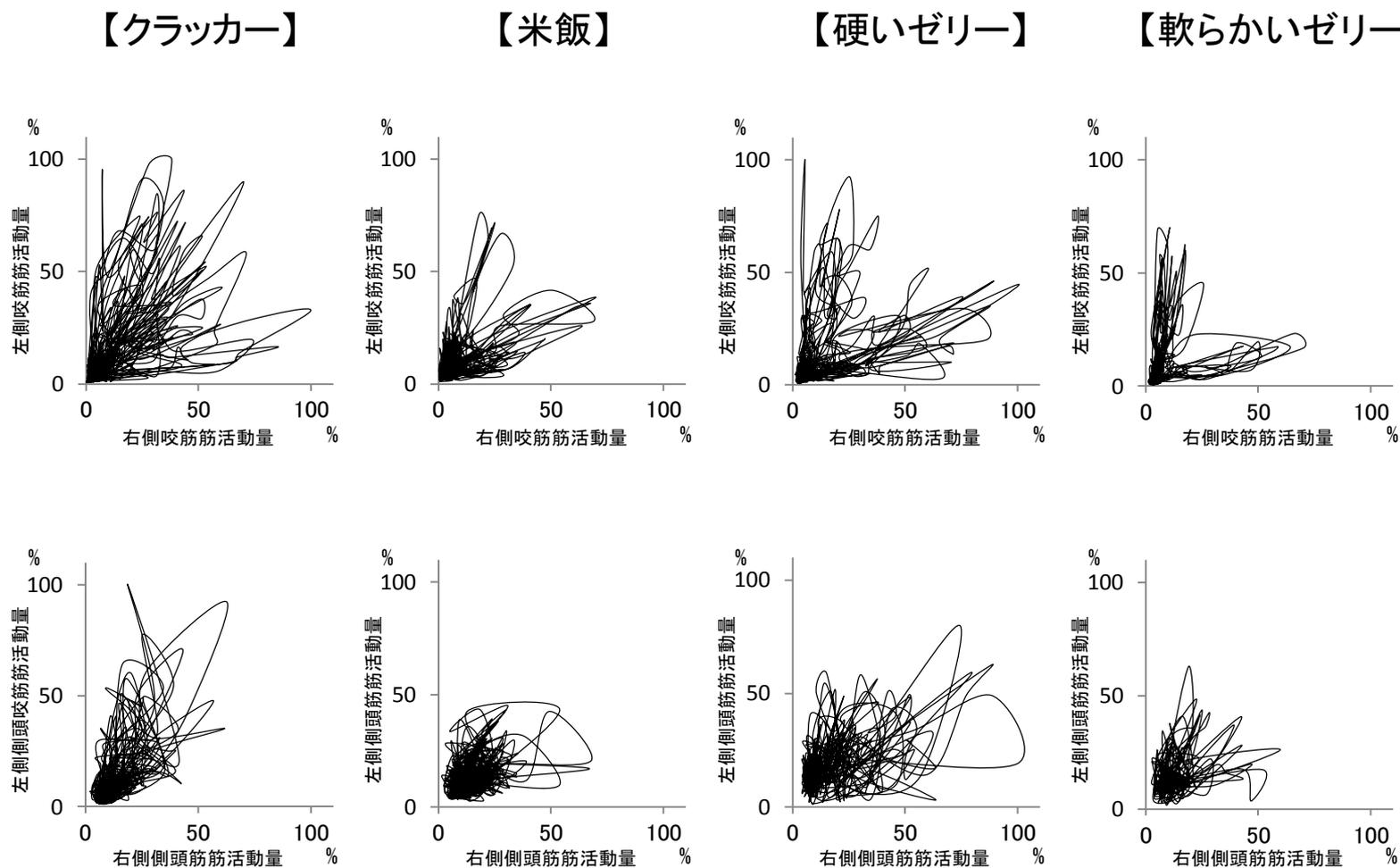


図9 食品ごとの代表的リサーチパターン  
(上段:咬筋, 下段:側頭筋)

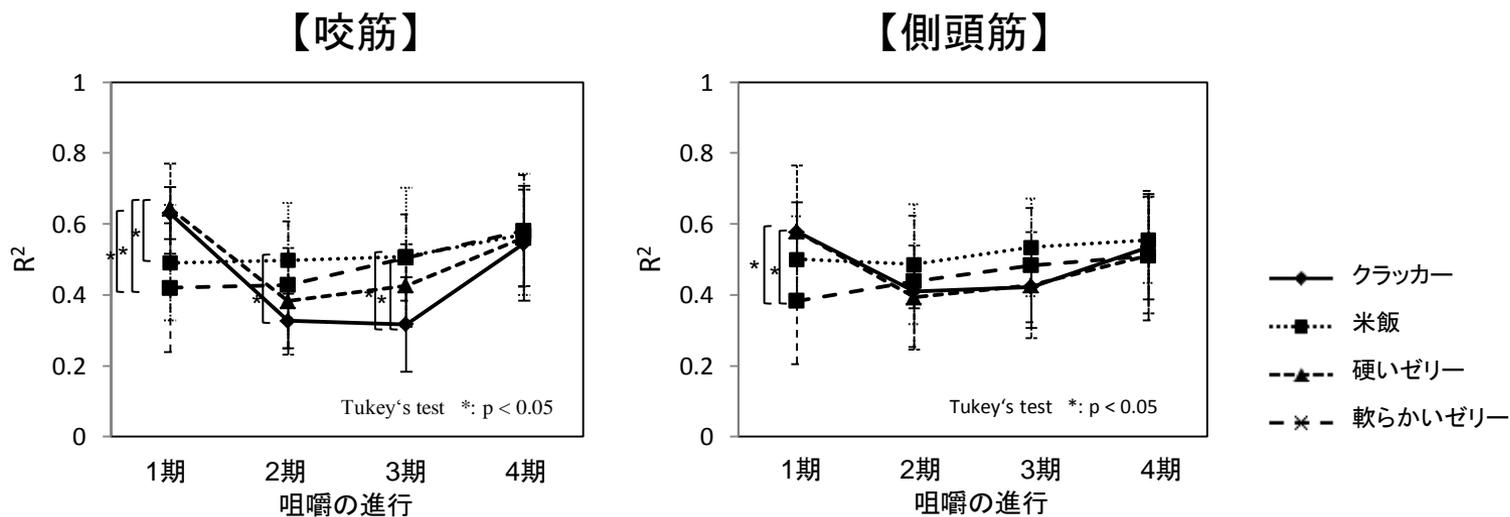


図10 咀嚼の進行に伴う咀嚼パターンの変化  
(N=15)

表1 咀嚼回数の日内および日間の変動係数

	日内変動			日間変動
	1日目	2日目	3日目	
クラッカー	0.0667	0.0615	0.0622	0.0469
米飯	0.0783	0.0509	0.0692	0.0589
硬いゼリー	0.0560	0.0745	0.0477	0.0542
軟らかいゼリー	0.0739	0.0956	0.0512	0.0778

表2 咀嚼回数と刺激時唾液分泌量, 咬合力, 咬合圧との相関  
(Pearsonの相関係数)

	クラッカー 咀嚼回数	米飯 咀嚼回数	硬いゼリー 咀嚼回数	軟らかいゼリー 咀嚼回数
刺激時唾液分泌量	0.09	0.51	0.56	0.48
咬合力	0.64*	0.24	0.33	0.33
咬合圧	-0.72**	-0.28	-0.33	-0.32

\* p < 0.05

\*\* p < 0.01

表3 食塊テクスチャー変化と刺激時唾液分泌量, 咬合力, 咬合圧との相関  
(Pearsonの相関係数)

		硬さ	凝集性	付着性
クラッカー	刺激時唾液分泌量	-0.37	0.35	-0.18
	咬合力	0.27	-0.11	0.59*
	咬合圧	-0.23	0.33	-0.39
米飯	刺激時唾液分泌量	0.24	-0.17	-0.15
	咬合力	-0.05	-0.44	-0.02
	咬合圧	-0.06	0.38	0.03
硬いゼリー	刺激時唾液分泌量	-0.06	0.06	0.00
	咬合力	0.17	-0.08	0.02
	咬合圧	-0.53*	-0.02	0.01
軟らかいゼリー	刺激時唾液分泌量	0.00	-0.08	-0.30
	咬合力	0.19	-0.02	0.11
	咬合圧	-0.43	-0.23	-0.32

\* p < 0.05