

## 咀嚼に対する意識の強化が摂食時の舌運動, 下顎運動, 食物搬送に与える影響

原 淳, 古屋 純一

岩手医科大学歯学部補綴・インプラント学講座

(主任: 近藤 尚知 教授)

(受付: 2013年12月4日)

(受理: 2013年12月25日)

咀嚼は central pattern generator (CPG) によって制御され、摂食中に咀嚼を特に意識しなくても行うことができる。しかし、嚥下機能低下が生じやすい高齢者においては、不十分な咀嚼による食塊形成不良が、咽頭残留や誤嚥のリスクを高めると考えられ、十分に咀嚼を意識して摂食することは、嚥下機能低下に対する有効な代償法になりうると考えられる。本研究の目的は、咀嚼意識の強化が摂食時の舌運動、下顎運動、食物搬送に及ぼす影響を明らかにすることである。

被験者は、個性正常咬合を有するボランティア 27 名 (男性 17 名, 女性 10 名, 平均年齢  $27.8 \pm 3.1$  歳) とした。被験食品はバリウム塩製剤含有寒天ブロックとし、日常通りの咀嚼で摂食させた場合 (通常摂食条件)、十分な咀嚼を意識して摂食させた場合 (咀嚼強化条件) の 2 条件下で摂食させ、Videofluorography 側面像にて、舌運動、下顎運動、食物搬送動態を観察した。口腔・咽頭領域を口腔領域 (oral cavity: OC)、口腔咽頭上部領域 (upper oropharynx: UOP)、喉頭蓋谷領域 (valleculae: VAL)、下咽頭領域 (hypopharynx: HYP) の 4 つに区分し、咀嚼回数、舌による食塊の押し戻し運動 (Push forward 運動)、各領域の食塊通過時間、咀嚼周期時間 (各領域の食塊通過時間を各食塊通過時の咀嚼回数で除した時間) を分析した。

咀嚼強化条件では、嚥下までの咀嚼回数、Push forward 運動の発生回数は有意に増加した。食塊通過時間は OC、UOP、VAL において、有意に延長した。また、咀嚼周期時間は、食塊が口腔内に存在する間は有意に短縮し、VAL へ搬送されると延長した。

摂食時に十分な咀嚼を意識することは、咽頭に搬送される食塊を舌が口腔に押し戻させ、口腔内での食塊保持を向上させた。さらに、食物が口腔にある間の下顎運動を速めることで、口腔内において十分な食塊形成を行うことができ、口腔と咽頭が嚥下に対して十分に準備することができたと推察された。以上より、摂食中の咀嚼意識の強化は、口腔での良好な食塊形成を保証し、円滑な嚥下の遂行につながる可能性が示唆された。

---

The impact of volitional chewing on tongue movement, jaw movement, and food transport during the feeding sequence

Atsushi HARA, Junichi FURUYA

Department of Prosthodontics and Oral Implantology, School of Dentistry, Iwate medical University

(chief: Prof. Hisatomo KONDO)

1-3-27, Chuo-dori, Morioka, Iwate 020-8505, Japan

## 緒 言

一般に、食物を摂取する際に「よく咀嚼して食べる」ことは健康に良いと認識されており<sup>1)</sup>、近年、咀嚼機能と脳機能、栄養、QOLの関連<sup>2-5)</sup>が明らかになるにつれ、超高齢社会における咀嚼機能の維持と回復の重要性が再認識されている。高齢者における咀嚼機能を検討する上では、先行研究<sup>6,7)</sup>において、咀嚼機能の向上が嚥下機能に肯定的な影響を与えることが示唆されているように、加齢変化による予備能力低下や脳血管障害などの全身疾患による嚥下機能低下<sup>8,9)</sup>を考慮し、咀嚼と嚥下を連続した1つの運動として捉えることが重要である<sup>10,11)</sup>。

咀嚼の最大の目的は、歯によって食物を十分に粉碎し、唾液と混合し、集合させ、嚥下に適した食塊を形成することである<sup>12)</sup>。そのため、不十分な咀嚼による食塊形成不良は、咽頭残留や誤嚥、窒息などの原因になりうる<sup>13,14)</sup>。嚥下時の食塊形成を向上させるためには、補綴装置による咀嚼機能回復が第一だが、その他にも嚥下までの咀嚼回数を増やすことがあげられる<sup>15)</sup>。実際に、高齢者では若年者と比較して咀嚼回数が多いこと<sup>16)</sup>、全部床義歯装着者では健常者と比較して咀嚼回数が多いこと<sup>17)</sup>、咀嚼機能が低下した被験者では咀嚼回数が多いこと<sup>18)</sup>が明らかとなっており、これらの報告における咀嚼回数の増加は、円滑な嚥下に必要な食塊を形成するために、無意識に咀嚼による食塊形成機能の低下が代償された結果とも考えられる。Palmerら<sup>19-24)</sup>はVideofluorography(以下VF)を用いて咀嚼と嚥下の関連を検討し、摂食中の食物搬送動態を明らかにしてきた。咀嚼によって形成された食塊は、舌による能動的な輸送(Stage II transport, 以下STII)によって喉頭蓋谷に集積され、その後も嚥下反射は抑制されて咀嚼が継続し、食塊集積がある程度進行した時点で嚥下が惹起される。このように、咀嚼と嚥下は密接に関連した運動であり、随意的に制御可能な運動である咀嚼を意識的にコントロールすることによって、咀嚼・嚥下の一連の

食物搬送をコントロールすることができると推察されるが、その詳細は不明である。特に、一般に良いとされている「よく噛んで食べる」こと、すなわち摂食中の咀嚼への意識の強化が、咀嚼と嚥下の関連にどのような影響を及ぼすかについては、ほとんど明らかとなっていない。そこで本研究では、咀嚼意識の強化が、固形物摂食時の舌運動、下顎運動、食物搬送に与える影響をVFによる観察を用いて明らかにすることを目的として実験を行った。

## 方 法

### 1. 被験者

自覚的な摂食・嚥下障害の症状がなく、個性正常咬合を有するボランティア27名(男性17名、女性10名、平均年齢 $27.8 \pm 3.1$ 歳)が研究に参加した。なお、本研究は岩手医科大学歯学部倫理委員会(承認番号No.01149)により承認を得た後に、全てのボランティアに対して、文章および口頭で本研究の目的、方法、利益と不利益等を十分に説明し、文章による同意を得た上で実施した。

### 2. 嚥下造影検査(VF)

90度座位に設定されたVF用の椅子(VF Style VF-MT-2, 東名プレス社製, 愛知, 日本)に楽な姿勢で被験者を座らせ、顔面の正中と床が垂直に交わり、かつフランクフルト平面が床と平行になるように頭位を調整した。被験食品は、VF画像上で黒く写るようにバリウム塩製剤(バリトップ120, カイゲン, 大阪, 日本)を含有させた、 $20 \times 20 \times 20$  mmの大きさの寒天ブロック(約11g)を用いた。バリウム塩製剤含有寒天ブロックは寒天粉末1.8g(かんでんクック, 伊那食品工業株式会社, 長野, 日本)、砂糖12g、水80ml、バリウム塩製剤40mlを用いて作製した。本研究では、咀嚼に対する意識の有無でどのように摂食運動が変化するかを観察するために、通常摂食条件と咀嚼強化条件の2条件を設定した。通常摂食条件では、被験者の舌尖上に寒天ブロックを保持させた後、実験者から「いつも通りに食べてください」と指

示を与え、可及的に日常の通りに摂食させた。咀嚼強化条件では、実験者から「よく噛んで食べてください」と指示を与え、十分な咀嚼を意識させて摂食させた。2条件下で、側面像における嚥下終了までの摂食時の舌運動、下顎運動、食物搬送動態を、エックス線透視装置 (SONIALVISION Safire II ZS, 島津社製, 京都, 日本) を用いて、デジタルビデオ (VTR 一体型 DVD レコーダー D-VR5, 東芝, 東京, 日本) に 30 フレーム / 秒にて記録した。事前に十分に練習を行い、各条件において咀嚼回数にある程度の再現性が認められることを確認した後に、各条件下で 3 回ずつ測定を行った。咀嚼回数および嚥下のタイミングについては制限をもうけ

ず、被験者の自由な意志に基づいて行わせた。被験者には X 線防護エプロンを着用させ、撮影範囲は必要最小限とし、可及的に被曝線量が小さくなるように配慮した。

### 3. 口腔咽頭領域、咀嚼嚥下運動の定義

得られた動画を PC に取り込み、動画編集ソフト (Adobe Premiere Pro CS4 Extended, Adobe, San Jose, CA, USA) を用いて、Saitoh ら<sup>25)</sup> の先行研究にならって、スローモーション、ストップモーション再生し、舌運動、下顎運動、食物搬送動態について解析を行った。まず、食塊が通過する口腔・咽頭領域を Hiiemae ら<sup>23)</sup> の報告に準じて、図 1 に示す以下の 4 領域に区分した。1) 口腔領域 (OC) : VF 静止画像上にお

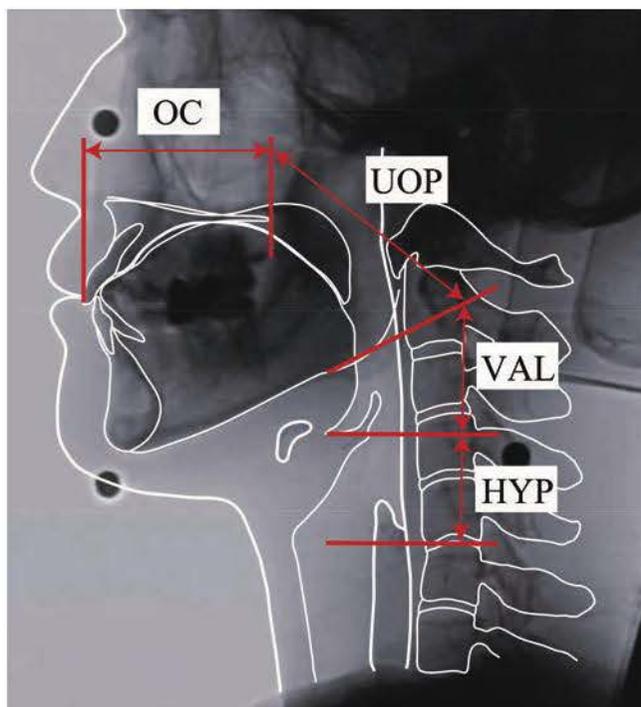


図 1 口腔・咽頭領域の区分<sup>23)</sup>

口腔領域 (OC) : VF 静止画像上において前歯唇側から後鼻棘 (硬口蓋と軟口蓋の境界) までの領域。

口腔咽頭上部領域 (UOP) : 後鼻棘を越えてから下顎下縁を後方へ延長した線までの領域。

喉頭蓋谷領域 (VAL) : 下顎下縁を後方へ延長した線を超えてから喉頭蓋谷までの領域。

下咽頭領域 (HYP) : 喉頭蓋谷を超えてから上部食道括約筋 (第 5 頸椎最前縁部) に達するまでの領域。

いて前歯唇側から後鼻棘（硬口蓋と軟口蓋の境界）までの領域。2) 口腔咽頭上部領域 (UOP) : 後鼻棘を越えてから下顎下縁を後方へ延長した線までの領域。3) 喉頭蓋谷領域 (VAL) : 下顎下縁を後方へ延長した線を越えてから喉頭蓋谷までの領域。4) 下咽頭領域 (HYP) : 喉頭蓋谷を越えてから上部食道括約筋（第5頸椎最前縁部）に達するまでの領域。また、咀嚼・嚥下運動の開始と終了については、以下の通りに定義した。1) 咀嚼開始: 咬頭嵌合位からの開口開始。2) STII の惹起: 食塊が軟口蓋と舌の咽頭表面の間に明瞭に検出できた時点。3) 咀嚼終了: 嚥下反射開始直前の最後の閉口位。4) 嚥下反射開始: 舌骨の急速な前上方への移動開始。

#### 4. 解析項目

1) 咀嚼回数: 嚥下反射開始までの咀嚼回数、また、STII 惹起前後の咀嚼回数を測定した。

なお、STII が惹起されない場合は、STII 惹起後の咀嚼回数は0とした。

2) 舌の Push forward 運動: Push forward 運動の VF 側面像を図 2a-e に示す。VF 側面像で観察される咀嚼中の舌運動 (図 2a) のうち、咀嚼中に咽頭へ侵入しようとする食塊 (図 2b) を口腔前方へ押し戻す運動 (Push forward 運動) (図 2c, d) の発生回数を測定した。

3) 食塊通過時間: STII の VF 側面像を図 3a-e に示す。Saitoh ら<sup>25)</sup> の方法に準じ、食塊が OC (図 3a), UOP (図 3b), VAL (図 3c, d), HYP (図 3e) の各領域を搬送されて通過する時間を食塊通過時間とし、以下のように定義し、解析した。a) 口腔内移送時間 (Processing) : 咀嚼が開始されてから、食塊の先端が UOP 領域に侵入するまでの時間。b) 口腔咽頭上部領域通過時間 (Postfaucal aggregation time; PFAT) :

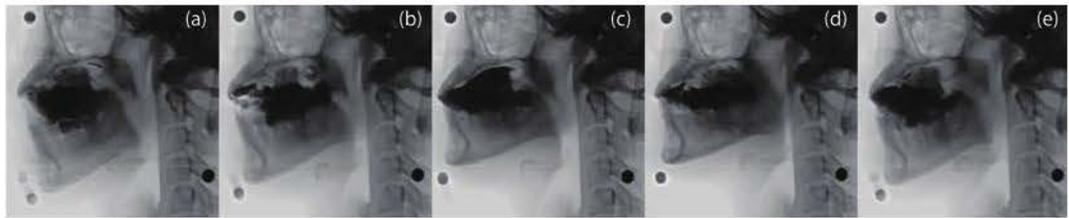


図 2 Push forward 運動

- 咀嚼による食塊形成
- 舌の能動的な食塊送り込みの直前 (舌と軟口蓋の間に空間を認める.)
- 舌による口腔への食塊の押し戻しの開始
- 口腔前方へ食塊の押し戻し (舌と軟口蓋の間は閉じ、空間を認めない.)
- 咀嚼による食塊形成の継続 (食塊は中咽頭には搬送されていない.)



図 3 Stage II transport

- 咀嚼による食塊形成
- 舌の能動的な運動による中咽頭への食塊送り込み開始
- 最初の送り込みの完了と中咽頭での食塊集積
- 継続した中咽頭への食塊搬送と口腔における咀嚼による食塊形成
- 嚥下による食塊の食道への搬送

表1 各摂食条件における咀嚼回数, Push forward 運動の発生回数, 食塊通過時間, 咀嚼周期時間の平均値

	咀嚼回数(回)			Push forward 運動(回)	食塊通過時間(秒)				咀嚼周期時間(秒)		
	STⅡ前	STⅡ後	咀嚼開始～嚥下開始		Processing	PFAT	VAT	HTT	Processing	PFAT	VAT
通常摂食条件	18.49(7.94)	2.47(3.00)	20.95(7.49)	2.09(2.28)	9.79(4.55)	1.95(1.90)	1.23(1.45)	0.59(0.13)	0.62(0.10)	0.38(0.29)	0.37(0.39)
咀嚼強化条件	37.12(14.47)	6.69(6.28)	43.81(12.64)	4.95(4.54)	18.25(9.13)	3.25(3.45)	2.68(2.46)	0.63(0.24)	0.56(0.09)	0.35(0.24)	0.48(0.33)

※平均値(標準偏差)を示す。

(N=27)

食塊先端がUOPに達してからVAL領域に達するまでの時間. c) 喉頭蓋谷領域通過時間(Vallecular aggregation time; VAT): 食塊先端がVAL領域に達してからHYP領域に達するまでの時間. d) 下咽頭領域通過時間(Hypopharynx transit time; HTT): 食塊先端がHYP領域に達してから, 食塊後端が上部食道括約筋に到達するまでの時間.

4) 咀嚼周期時間: 咀嚼開始から嚥下終了までの食物搬送と連動した下顎運動の変化を観察するために, 各領域の食塊通過時間における咀嚼周期時間(各領域の食塊通過時間を各食塊通過時の咀嚼回数で除した時間)を解析した.

## 5. 統計学的手法

統計学的解析には統計解析ソフト(SPSS Statistics 19.0, IBM Japan, 日本)を使用し、通常摂食条件および咀嚼強化条件間におけるデータの差に対して、ウィルコクソンの符号順位検定を用いて検討を行った。なお、有意水準はすべて5%とした。

## 結 果

本研究で得られた全被験者の平均値および標準偏差のデータを表1に示す。また、図4-7に各解析項目の箱ひげ図による結果を示す。箱は上から第3四分位, 第2四分位(中央値), 第1

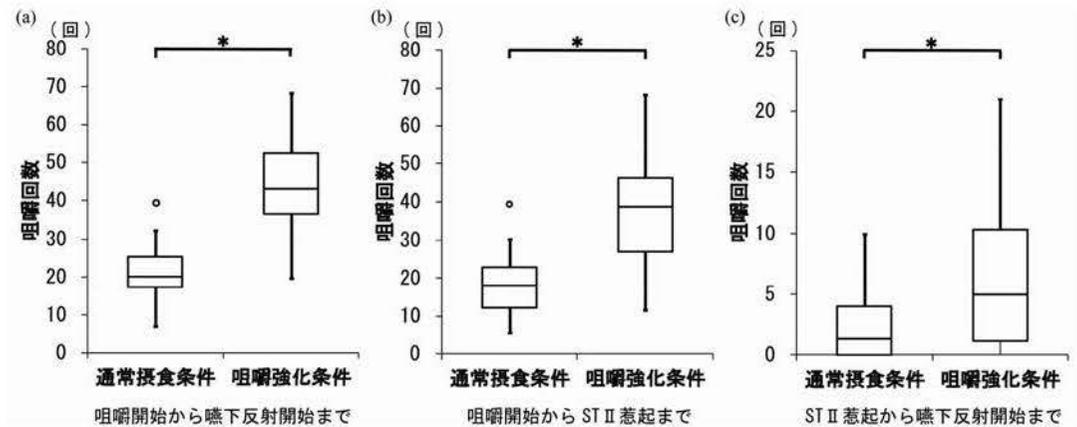


図4 各摂食条件における咀嚼回数の変化

- 咀嚼開始から嚥下反射開始までの咀嚼回数
- 咀嚼開始からSTII 惹起までの咀嚼回数
- STII 惹起から嚥下反射開始までの咀嚼回数

咀嚼回数は, 咀嚼強化条件において有意に増加した (\*:  $p < 0.001$ ). 箱は上から第3四分位, 第2四分位(中央値), 第1四分位を示す。髭は最大値と最小値を示す。四分位範囲の1.5倍を超えるものは外れ値とし, 点で記載した (N = 27).

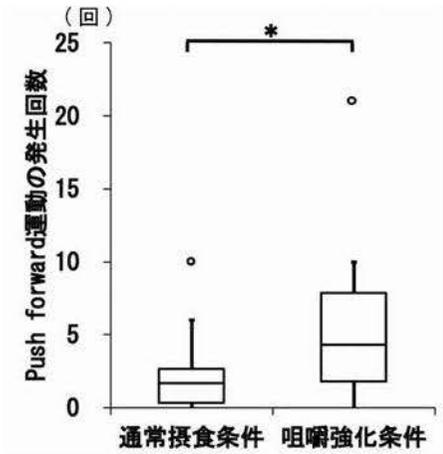


図5 各摂食条件における Push forward 運動の発生回数の変化

Push forward 運動の回数は、咀嚼強化条件において有意に増加した (\* $p < 0.001$ )。箱は上から第3四分位、第2四分位(中央値)、第1四分位を示す。髭は最大値と最小値を示す。四分位範囲の1.5倍を超えるものは外れ値とし、点で記載した (N = 27)。

四分位を示す。髭は最大値と最小値を示す。四分位範囲の1.5倍を超えるものは外れ値とし、点で記載した。

1. 咀嚼回数(図4): 全被験者(27名)において、通常摂食条件と比較して、咀嚼強化条件では咀嚼回数が有意に増加した ( $p < 0.001$ )。

また、STII 惹起前後の咀嚼回数は、STII 前、STII 後の両者において有意な増加を認めた (STII 前:  $p < 0.001$ , STII 後:  $p < 0.001$ )。

2. Push forward 運動(図5): 全被験者27名中、通常摂食条件では23名において、咀嚼強化条件では24名において、明確な舌の Push forward 運動が観察された。Push forward 運動の発生回数は、通常摂食条件と比較して咀嚼強化条件において有意な増加を認めた ( $p < 0.001$ )。

3. 食塊通過時間(図6): 通常摂食条件と比較して、咀嚼強化条件では、Processing, PFAT, VAT が有意に延長した (Processing,  $p < 0.001$ ; PFAT,  $p = 0.034$ ; VAT,  $p = 0.001$ ; HTT,

$p = 0.716$ )。Processing の延長は、口腔内のみ食塊が存在した時間の延長を意味している。また、PFAT の延長は、咀嚼中に軟口蓋後方に搬送された食塊が喉頭蓋谷領域に到達するまでの時間の延長を意味している。VAT の延長は、食塊が喉頭蓋谷領域に到達してから、下咽頭領域に食塊が侵入するまでの時間の延長を示す。通常摂食条件では27名、咀嚼強化条件では26名の被験者で、食塊が嚥下反射の惹起前に下咽頭へ侵入することはなかったため、VAT の延長は、食塊が喉頭蓋谷領域に侵入してから嚥下反射が惹起されるまでの時間とはほぼ同義と考えられる。

4. 咀嚼周期時間(図7): HTT においては、通常摂食条件では全被験者27名において、咀嚼強化条件では26名において咀嚼回数が0回であったことから、計測から除外した。通常摂食条件と比較して、咀嚼強化条件では、Processing で有意な咀嚼周期時間の短縮、VAT で有意な咀嚼周期時間の延長を認めただ一方で、PFAT では有意な変化を認めなかった (Processing,  $p = 0.007$ ; PFAT,  $p = 0.457$ ; VAT,  $p = 0.040$ )。

## 考 察

### 1. 本研究の意義

阿部ら<sup>6)</sup>は、個性正常咬合を有する成人の食塊形成を観察し、咀嚼意識を強化することで食塊形成の程度が向上し、嚥下の容易さも向上したとしている。また、深津ら<sup>10)</sup>は、日常の摂食における嚥下までの咀嚼回数と食塊形成の関係を観察し、咀嚼回数が多い場合、食塊形成が良好であることを示唆している。咀嚼意識を強化して摂食することは、咀嚼が十分でない食物を舌が咽頭から口腔に戻すことで口腔における食塊形成を確実なものにする。そのため、嚥下のために食塊が咽頭に搬送された頃には、口腔の器官は咀嚼に労力を使う必要がなく、円滑な嚥下に必要な準備を十分に行うことができると推察された。食塊形成不良が嚥下障害増悪のリスクになりうる高齢者においては、全身的要因に

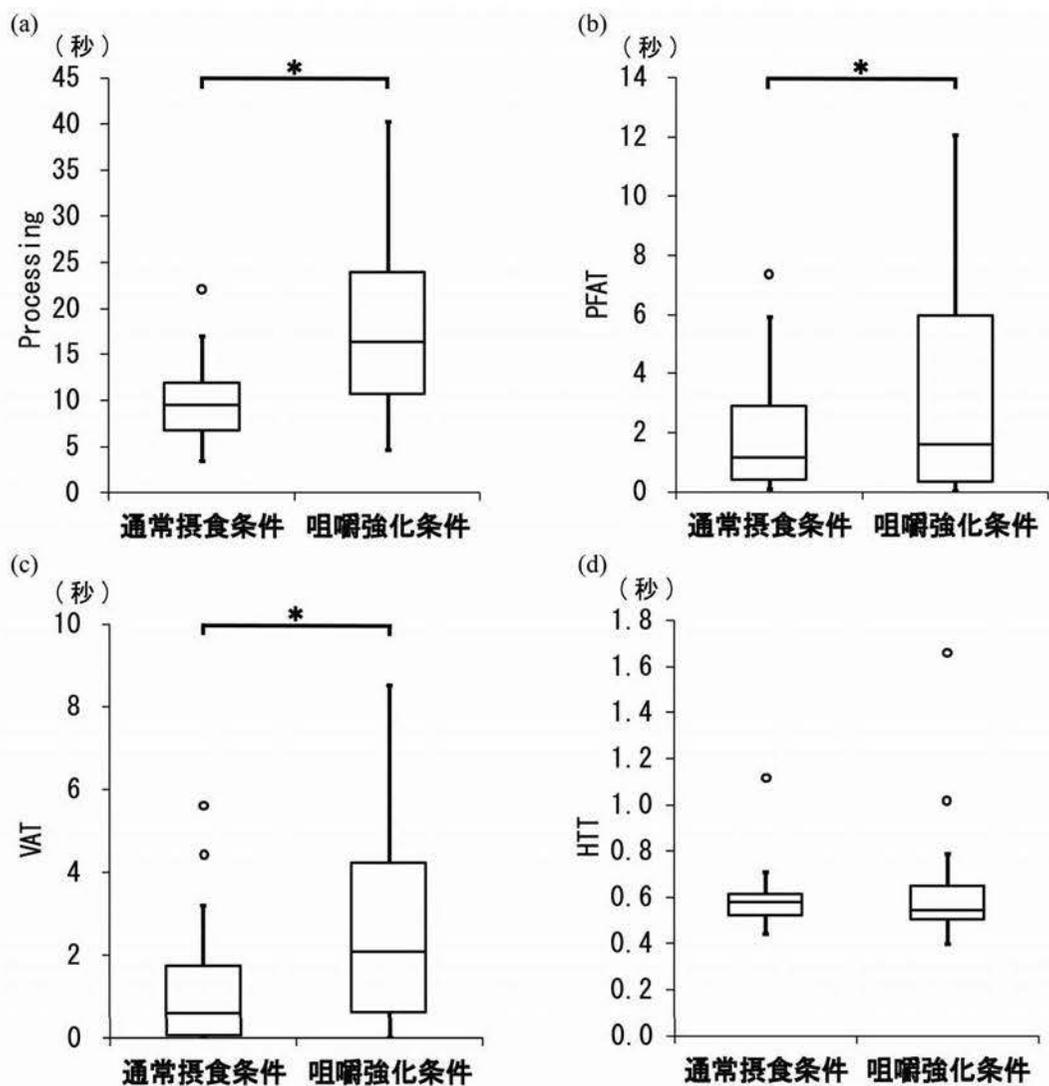


図6 各摂食条件における各領域の食塊通過時間の変化

- 口腔内移送時間 (Processing)
- 口腔咽頭上部領域通過時間 (PFAT)
- 喉頭蓋谷領域通過時間 (VAT)
- 下咽頭領域通過時間 (HTT)

咀嚼強化条件では Processing, PFAT, VAT が有意に延長した (\*:  $p < 0.05$ )。箱は上から第3四分位, 第2四分位 (中央値), 第1四分位を示す。髭は最大値と最小値を示す。四分位範囲の1.5倍を超えるものは外れ値とし, 点で記載した (N = 27)。

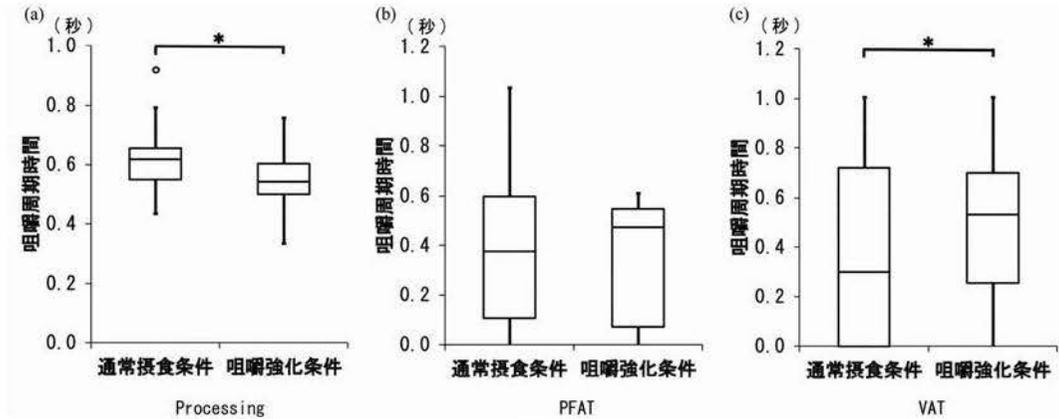


図7 各摂食条件における各領域の食塊通過時における咀嚼周期時間の変化

- Processingの咀嚼周期時間
- PFATの咀嚼周期時間
- VATの咀嚼周期時間

咀嚼強化条件では Processing で有意な咀嚼周期時間の短縮、VAT で有意な咀嚼周期時間の延長を認めた。PFAT では有意な変化を認めなかった (\*:  $p < 0.05$ )。HTT においては、通常摂食条件では全被験者 27 名において、咀嚼強化条件では 26 名において咀嚼回数が 0 回であったことから、計測から除外した。箱は上から第 3 四分位、第 2 四分位 (中央値)、第 1 四分位を示す。髭は最大値と最小値を示す。四分位範囲の 1.5 倍を超えるものは外れ値とし、点で記載した (N = 27)。

よって補綴装置による咀嚼機能回復が困難な場合もある。本研究の結果を考慮すると、咀嚼意識を強化して摂食することは、安全な嚥下という点からは、低下した咀嚼能力を代償する有用な摂食方法になるかもしれない。

本研究の被験者は、歯の欠損を有しない健康歯列を有する成人であるため、咀嚼・嚥下障害を有する高齢者では異なる結果が得られる可能性がある。しかし、摂食時の食物搬送動態に影響を及ぼす咀嚼運動パターンの統一や、咀嚼能力レベルの統一が困難であるため、本研究ではある一定のレベルの咀嚼能力を有する成人を被験者とした。今後は、歯牙欠損や運動障害性咀嚼障害などを有する咀嚼能力が通常より低い患者を対象として、検討を行う必要がある。本研究の通常摂食条件と咀嚼強化条件では、嚥下までの咀嚼回数を指定しなかった。その理由としては、嚥下までの咀嚼回数は被験者によって異なるため統一が困難であることがあげられる<sup>26)</sup>。また、大内は<sup>27)</sup>、咀嚼回数を指定した摂

食では、自然な摂食と比較して食物搬送動態が異なることを報告している。特に本研究では、あくまでも日常の摂食における咀嚼・嚥下動態の観察に焦点をあてているため、個人内である程度の再現性が保たれていることを確認した上で、咀嚼回数を指定しない自由摂食条件下で研究を行った。

## 2. 咀嚼回数の増加と STII の遅延について

咀嚼意識の強化によって嚥下までの咀嚼回数は増加していた。咀嚼<sup>28)</sup>と嚥下<sup>29)</sup>は脳幹によってそれぞれ制御されており、さらに高次脳の支配および末梢からの入力による影響を受けている。嚥下の遅延については、咀嚼意識の強化が中枢性に嚥下を制御した可能性も考えられる。しかし、STII 前の咀嚼回数も増加していたことから、嚥下の遅延は、むしろ咀嚼意識の強化による STII の遅延が主たる原因と考えられた。Tsujimura ら<sup>30)</sup>は、ラットを用いた実験の結果から、口腔内の刺激の大きさに関係なく、下顎の咀嚼運動自体が嚥下反射誘発を抑制する

ことを報告している。本研究でも、意識によって強化された咀嚼運動自体が、大脳皮質咀嚼野を通じて嚥下に対し抑制的に作用した可能性も考えられる。咀嚼と嚥下の神経活動による相互作用については、ヒツジを用いた実験では、大脳皮質咀嚼野への刺激が嚥下反射惹起に対して抑制的に作用するという報告がある<sup>31)</sup>。一方で、ウサギを用いた実験では、上喉頭神経への電気刺激による嚥下反射惹起が、咀嚼様運動に対し抑制的に作用するという報告も認める<sup>32)</sup>。本研究では、咀嚼意識の強化は嚥下を遅延させた。同様に、Palmerら<sup>33)</sup>も、ヒトを対象とした研究で、「自由に嚥下しない」という条件下で、咀嚼中のSTII発生が遅延することを報告している。すなわち本研究とは逆に、嚥下への意識が咀嚼運動にも影響を及ぼすことが示唆されており、咀嚼と嚥下の相互的な関係については、今後より詳細な検討が必要である。

### 3. Push forward 運動について

STIIの遅延とは対照的に、咀嚼強化条件で多くの被験者で、舌によるPush forward運動は有意な増加を認めた。通常摂食では、咀嚼中にSTIIによって中咽頭に搬送される食塊は、咀嚼意識の強化によって、咀嚼による食塊形成をより確実にするため、前方の口腔へと押し戻されることが明らかとなった。ただし、武田ら<sup>31)</sup>が、食物の咀嚼嚥下におけるSTII発生頻度は100%ではなく個人差および可変性を有すると報告しているように、Push forward運動の発生にも同様の個人差を認めたため、今後より詳細な検討が必要と考えられた。

### 4. 食塊通過時間について

食塊通過時間は、OC領域、UOP領域、VAL領域にて咀嚼強化条件下で有意に延長した。高齢者などを除くと、通常の場合、HYP領域に食塊が存在するのは嚥下反射の間のみであることから、HYP領域の食塊通過時間は有意な差を認めなかったと考えられた。咀嚼強化条件におけるProcessingの延長は、前述したPush forward運動の発生回数の増加とSTIIの抑制の結果、口腔内で食物が保持される時間が延長

したためと推察された。液体摂取時と異なり、咀嚼を要する固形物摂取時には、嚥下前に食塊が咽頭に侵入することが多い<sup>22,34)</sup>。咀嚼時に口腔における食塊保持が低下する原因の一つは、下顎運動が口腔を封鎖する舌と軟口蓋の接触を減弱させるためと考えられている<sup>25,35)</sup>。内視鏡による先行研究<sup>11)</sup>では、咀嚼意識を強化することで嚥下までの咀嚼回数が増加し、その結果、食塊形成が良好になることを明らかにしている。よって、咀嚼意識の強化は、咀嚼によって減弱された口腔後方の封鎖をPush forward運動によって代償することで、良好な食塊形成を確実化していると考えられた。

UOP領域における食塊通過時間の延長は、咀嚼強化条件ではPush forward運動の発生回数の増加によって、初回のSTII発生後に口腔から咽頭に連続的に食塊が搬送されなかったため、食塊がVAL領域へ到達するまでに時間を要したものと考えられた。VAL領域における食塊通過時間の延長は、嚥下反射惹起の遅延が原因であろう。一般に、嚥下反射の惹起には、喉頭蓋谷や下咽頭に存在する咽頭粘膜の受容体を食塊が刺激し、その積算がある閾値に達することが必要である<sup>36)</sup>。すなわち、食塊の量による刺激と刺激された時間が重要な要因となるが、本研究の咀嚼強化条件では、Push forward運動の発生回数の増加によって、時間あたりのVAL領域に搬送される食塊量が減少したため、嚥下反射惹起が遅延しVAL領域の食塊通過時間が延長したと考えられた。

### 5. 咀嚼周期時間について

咀嚼周期時間は、リズムカルな運動である咀嚼の1サイクル(周期)に必要な時間を意味しており、咀嚼運動の評価として従来より用いられている<sup>37,38)</sup>。通常摂食条件と比較した場合、咀嚼強化条件においては、Processingでは咀嚼周期時間が短縮し、VATにおいては咀嚼周期時間が延長した。咀嚼周期時間を変化させる要因としては、食品の大きさと硬さなどの性状があり<sup>39-42)</sup>、一般に、食品が大きくなり硬くなると咀嚼周期時間は延長するとされている<sup>30,41)</sup>。本

研究では、被験食品は2条件間で同一であり、咀嚼周期時間の変化は、咀嚼CPGによってパターン形成された咀嚼中のリズムカルな下顎運動が、高次脳によって制御された結果と考えられる。すなわち、食物が口腔内で処理されている間（Processing）は、咀嚼意識の強化によって、食物の粉碎、混合による食塊形成を向上させるために、1回の咀嚼に必要な時間が短縮され、咀嚼が早いリズムで行われたと考えられた。しかし、食塊が咽頭へと搬送されると（VAT）、むしろ1回の咀嚼に必要な時間は延長し、咀嚼強化条件では、咀嚼は遅いリズムで行われていた。このことは、咀嚼条件における食塊性状の違いが関連していると考えられた。つまり、通常摂食条件では、口腔で十分な食物処理が行われないうちに、STIIによって咽頭に食塊が搬送されてしまうため、食塊が咽頭に存在していても、咀嚼を早いリズムで行う必要がある。しかし、咀嚼意識を強化すると、食物は事前に十分に口腔内で処理され、食塊が咽頭に搬送される頃には、嚥下に必要な食塊の集積が主たる目標となる<sup>10)</sup>ため、咀嚼を早いリズムで行う必要はない。このことは、口腔と咽頭において感知された食塊性状が末梢性にフィードバックされていることを示唆している。先行研究によると、咀嚼後期の咀嚼運動は食物粉碎粒度の減少に貢献しないこと<sup>43)</sup>、また、嚥下反射直前の咀嚼周期時間はそれまでの咀嚼周期時間よりも延長傾向にあること<sup>44)</sup>が報告されており、本研究の結果を支持するものである。

本研究より、咀嚼意識の強化は、口腔内に食塊がある間の下顎運動周期を速め、STIIによる食塊の咽頭への搬送を遅延させ、また、口腔へと食塊を押し戻す舌運動を増加させ、嚥下反射が遅延されることで、口腔での十分な咀嚼による食塊形成を保證することが明らかとなった。

## 結 語

咀嚼意識の強化が、舌運動、下顎運動、食物搬送動態に与える影響の解明を目的として、固

形物の摂食運動を観察したところ、咀嚼強化条件では、通常摂食条件と比較して以下の結果が得られた。

1. 嚥下までの咀嚼回数は、Stage II transport 惹起の前後ともに、有意に増加した。
2. 咀嚼中に咽頭へ侵入しようとする食塊を口腔前方へ押し戻す舌運動である Push forward 運動が観察され、その発生回数は有意に増加した。
3. 口腔における食物処理時間、下咽頭領域を除く咽頭領域の食塊通過時間は有意に延長した。
4. 咀嚼周期時間は、食塊が口腔内にのみ存在する間は有意に短縮し、食塊が喉頭蓋谷領域に存在する間は有意に延長した。

以上より、咀嚼意識の強化は、咀嚼中の下顎運動や舌運動を変化させ、口腔における良好な食塊形成を保證する。その結果、食物搬送動態を変化させ、一連の咀嚼・嚥下運動にも影響を及ぼすことが示唆された。

## 謝辞ならびに利益相反について

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なご指導とご校閲を賜りました補綴・インプラント学講座 近藤尚知教授に深謝申し上げます。また、種々のご協力をいただきました補綴・インプラント学講座の諸先生に心より御礼申し上げます。

尚、本研究において、利益相反はありません。

## 引用文献

- 1) 小林義典：咬合・咀嚼が創る健康長寿。補綴誌，3：189-219，2011。
- 2) Moriya, S., Tei, K., Murata, A., Yamazaki, Y., Hata, H., Muramatsu, M., Kitagawa, Y., Inoue, N., and Miura, H. : Associations between self-assessed masticatory ability and higher brain function among the elderly. *J. Oral. Rehabil.*, 38 : 746-753, 2011.
- 3) Ohkubo, C., Morokuma, M., Yoneyama, Y., Matsuda, R., and Lee, J. S. : Interactions between occlusion and human brain function activities. *J. Oral. Rehabil.*, 40 : 119-129, 2013.
- 4) Budtz-Jørgensen, E., Chung, J. P., and Rapin, C. H. : Nutrition and oral health. *Best. Pract. Res. Clin.*

- Gastroenterol., 15 : 885-896, 2001.
- 5) Miura, H., Miura, K., Mizugai, H., Arai, Y., Umenai, T., and Isogai, E. : Chewing ability and quality of life among the elderly residing in a rural community in Japan. *J. Oral. Rehabil.*, 27 : 731-734, 2000.
  - 6) 阿部里紗子, 古屋純一 : ビデオ内視鏡を用いた咀嚼の食塊形成機能評価. *岩医大歯誌*, 35 : 135-145, 2010.
  - 7) Sato, T., Furuya, J., Tamada, Y., and Kondo, H. : Impacts of palatal coverage on bolus formation during mastication and swallowing and subsequent adaptive changes. *J. Oral. Rehabil.*, 40 : 751-757, 2013.
  - 8) Tracy, J. F., Logemann, J. A., Kahrilas, P. J., Jacob, P., Kobara, M., and Krugler, C. : Preliminary observations on the effects of age on oropharyngeal deglutition. *Dysphagia*, 4 : 90-94, 1989.
  - 9) Kim, Y., McCullough, G. H., and Asp, C. W. : Temporal measurements of pharyngeal swallowing in normal populations. *Dysphagia*, 20 : 290-296, 2005.
  - 10) 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 -. *日撰食嚥下リハ会誌*, 14 : 27-32, 2010.
  - 11) 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.
  - 12) Prinz, J. F., and Lucas, P. W. : Swallow thresholds in human mastication. *Arch. Oral. Biol.*, 40 : 401-403, 1995.
  - 13) Hildebrandt, G. H., Dominguez, B. L., Schork, M. A., and Loesche, W. J. : Functional units, chewing, swallowing, and food avoidance among the elderly. *J. Prosthet. Dent.*, 77 : 588-595, 1997.
  - 14) Furuta, M., Komiya-Nonaka, M., Akifusa, S., Shimazaki, Y., Adachi, M., Kinoshita, T., Kikutani, T., and Yamashita, Y. : Interrelationship of oral health status, swallowing function, nutritional status, and cognitive ability with activities of daily living in Japanese elderly people receiving home care services due to physical disabilities. *Community. Dent. Oral. Epidemiol.*, 41 : 173-181, 2013.
  - 15) Prinz, J. F., and Lucas, P. W. : An optimization model for mastication and swallowing in mammals. *Proc. Biol. Sci.*, 264 : 1715-1721, 1997.
  - 16) Feldman, R. S., Kapur, K. K., Alman, J. E., and Chauncey, H. H. : Aging and mastication : changes in performance and in the swallowing threshold with natural dentition. *J. Am. Geriatr. Soc.*, 28 : 97-103, 1980.
  - 17) Mishellany-Dutour, A., Renaud, J., Peyron, M. A., Rimek, F., and Woda, A. : Is the goal of mastication reached in young dentates, aged dentates and aged denture wearers? *Br. J. Nutr.*, 99 : 121-128, 2008.
  - 18) Fontijn-Tekamp, F. A., van der Bilt, A., Abbink, J. H., and Bosman, F. : Swallowing threshold and masticatory performance in dentate adults. *Physiol. Behav.*, 83 : 431-436, 2004.
  - 19) Palmer, J. B., Rudin, N. J., Lara, G., and Crompton, A. W. : Coordination of mastication and swallowing. *Dysphagia*, 7 : 187-200, 1992.
  - 20) Palmer, J. B. : Integration of oral and pharyngeal bolus propulsion : a new model for the physiology of swallowing. *日撰食嚥下リハ会誌*, 1 : 15-30, 1997.
  - 21) Palmer, J. B., Hiimeae, K. M., and Liu, J. : Tongue-jaw linkages in human feeding : a preliminary videofluorographic study. *Arch. Oral. Biol.*, 42 : 429-441, 1997.
  - 22) Palmer, J. B. : Bolus aggregation in the oropharynx does not depend on gravity. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 79 : 691-696, 1998.
  - 23) Hiimeae, K. M., and Palmer, J. B. : Food transport and bolus formation during complete feeding sequences on foods of different initial consistency. *Dysphagia*, 14 : 31-42, 1999.
  - 24) Mioche, L., Hiimeae, K. M., and Palmer, J. B. : A postero-anterior videofluorographic study of the intra-oral management of food in man. *Arch. Oral. Biol.*, 47 : 267-280, 2002.
  - 25) Saitoh, E., Shibata, S., Matsuo, K., Baba, M., Fujii, W., and Palmer, J. B. : Chewing and food consistency : effects on bolus transport and swallow initiation. *Dysphagia*, 22 : 100-107, 2007.
  - 26) DAHLBERG, B. : The masticatory habits : an analysis of the number of chews when consuming food. *J. Dent. Res.*, 25 : 67-72, 1946.
  - 27) 大内ゆかり : 咀嚼方法の相違が嚥下動態に及ぼす影響. *日撰食嚥下リハ会誌*, 11 : 114-122, 2007.
  - 28) Lund, J. P. : Mastication and its control by the brain stem. *Crit. Rev. Oral. Biol. Med.*, 2 : 33-64, 1991.
  - 29) Jean, A. : Brain stem control of swallowing : neuronal network and cellular mechanisms. *Physiol. Rev.*, 81 : 929-969, 2001.
  - 30) Tsujimura, T., Tsuji, K., Ariyasinghe, S., Fukuhara, T., Yamada, A., Hayashi, H., Nakamura, Y., Iwata, K., and Inoue, M. : Differential involvement of two cortical masticatory areas in modulation of the swallowing reflex in rats. *Neurosci. Lett.*, 528 : 159-164, 2012.
  - 31) Lamkadem, M., Zougrana, O. R., Amri, M., Car, A., and Roman, C. : Stimulation of the chewing area of the cerebral cortex induces inhibitory effects upon swallowing in sheep. *Brain. Res.*, 832 : 97-111, 1999.
  - 32) Sumi, T. : Modification of cortically evoked rhythmic chewing and swallowing from midbrain and pons. *Jpn. J. Physiol.*, 21 : 489-506, 1971.
  - 33) Palmer, J. B., Hiimeae, K. M., Matsuo, K., and

- Haishima, H. : Volitional control of food transport and bolus formation during feeding. *Physiol. Behav.*, 91 : 66-70, 2007.
- 34) 武田斉子, 才藤栄一, 松尾浩一郎, 馬場尊, 藤井航, Palmer, J. B. : 咀嚼が食塊の咽頭進入に及ぼす影響. *リハ医学*, 39 : 322-330, 2002.
- 35) Matsuo, K., Hiemae, K. M., and Palmer, J. B. : Cyclic motion of the soft palate in feeding. *J. Dent. Res.*, 84 : 39-42, 2005.
- 36) Ertekin, C. : Voluntary versus spontaneous swallowing in man. *Dysphagia*, 26 : 183-192, 2011.
- 37) 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 : 1112-1126, 1990.
- 38) 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.
- 39) Karkazis, H. C., and Kossioni, A. E. : Re-examination of the surface EMG activity of the masseter muscle in young adults during chewing of two test foods. *J. Oral. Rehabil.*, 24 : 216-223, 1997.
- 40) Shiga, H., Stohler, C. S., and Kobayashi, Y. : The effect of bolus size on the chewing cycle in humans. *Odontology*, 89 : 49-53, 2001.
- 41) 三輪雅彦, 志賀博, 小林義典 : 食品の硬さが咀嚼運動に及ぼす影響. *日本咀嚼学会雑誌*, 10 : 85-93, 2001.
- 42) Bhatka, R., Throckmorton, G. S., Wintergerst, A. M., Hutchins, B., and Buschang, P. H. : Bolus size and unilateral chewing cycle kinematics. *Arch. Oral Biol.*, 49 : 559-566, 2004.
- 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, 2011.
- 44) 後藤志乃 : 咀嚼時の顎運動パターンと食物移送動態との関連 - 前額断および矢状断からの同時解析 -. *日摂食嚥下リハ会誌*, 10 : 62-71, 2006.

**研 究**

# The impact of volitional chewing on tongue movement, jaw movement, and food transport during the feeding sequence

Atsushi HARA, Junichi FURUYA

Department of Prosthodontics and Oral Implantology, School of Dentistry, Iwate medical University

(Chief : Prof. Hisatomo KONDO)

[Received : December 4, 2013 : Accepted : December 25, 2013]

**Abstract** : Mastication is usually performed with little conscious effort and is controlled by a central pattern generator (CPG). In elderly individuals with reduced swallowing function, poor bolus formation from inadequate mastication may increase the risk of pharyngeal residue and aspiration. Chewing with a conscious effort may be an effective compensatory strategy for the elderly, but the details are still unclear. This study aimed to clarify the impact of volitional chewing on tongue movement, jaw movement, and food transport.

The subjects were 27 dentulous volunteers (17 men, 10 women; mean age,  $27.8 \pm 3.1$ ) with normal occlusion. Solid agar jelly containing barium sulfate was used as the test food. Subjects were asked to eat under two feeding conditions: chewing normally in their usual manner and chewing with a conscious effort. The oral cavity and pharynx were classified into four areas: oral cavity (OC), upper oropharynx (UOP), valleculae (VAL), and hypopharynx (HYP). Lateral videofluoroscopy was performed to assess the number of chewing sequences, pushing forward movement of the tongue, bolus transit time, and masticatory cycle time (bolus transit time divided by number of chewing cycles in each area).

Chewing with a conscious effort significantly increased the number of chewing cycles and pushing forward tongue movement. Bolus transit time in the OC, UOP, and VAL was significantly lengthened. Masticatory cycle time was significantly shortened while the bolus was retained in the OC and lengthened in the VAL.

Present results suggested that volitional chewing improved bolus retention and formation in the oral cavity by changing in tongue movement and masticatory jaw movement, resulting in easier swallowing.

**Key Words** : mastication, swallowing, CPG, videofluorography, bolus transport