

原 著

食塊形成時における顎運動および咀嚼筋活動の微細協調運動

安村真一¹⁾ 近藤亜子²⁾ 式守道夫¹⁾ 田村康夫²⁾

Fine coordination of perioral muscle activity and jaw movement
during food bolus formation and swallowing

YASUMURA SHINICHI¹⁾, KONDO TSUGUKO²⁾, SHIKIMORI MICHIO¹⁾ and TAMURA YASUO²⁾

本研究は食塊形成から嚥下までの顎運動および口腔周囲筋活動の協調運動の観察を行うことを目的とし、咀嚼運動時における咀嚼筋活動の協調について検討を行ったものである。対象は健康成人12名とした。顎運動記録には三次元6自由度顎運動測定装置ナソヘキサグラフⅡ（GC社製）を用いた。筋活動は、習慣性咀嚼側と非習慣性咀嚼側の側頭筋、咬筋、舌骨上筋群から双極表面銀電極を用いて導出し記録した。シミュレーション運動として最大開口、最大クレンチング、舌の各方向への圧接運動を行わせた。咀嚼運動の観察としてピーナッツ6gを用い、自由咀嚼、習慣側咀嚼、非習慣側咀嚼を2回ずつ行わせた。習慣性咀嚼側は、各被検者からの回答および自由咀嚼を参考に確認した。各筋活動は、活動量積分値（ $\mu\text{V}\cdot\text{s}$ ）を求め、側頭筋と咬筋はクレンチング時を、舌骨上筋群は最大開口時の筋活動量を100%としたnormalized EMG（%）に変換して観察の対象とした。咀嚼運動は、Ⅰ. 粉碎期、Ⅱ. 咀嚼期、Ⅲ. 嚥下準備期およびⅣ. 嚥下期の4期の咀嚼ステージに分類し、各期で典型的な活動を示している代表波形を顎運動のZ軸（上下方向）の立ち上がり（開口）から閉口位までを1咀嚼サイクルとして、時間的に10等分することにより筋活動量および顎運動座標（x, y, z）を求めた。統計処理は、分散分析と多重比較検定およびPearson'sの相関係数の検定を用いた。舌運動による筋活動の変化は積分値では不明瞭だったが本方法の割合による検討で、より明瞭に検出できた。全咀嚼ステージと非習慣側咀嚼の咀嚼期の咬筋に咀嚼ステージで筋の役割に違いがあることが明らかとなった。粉碎期と咀嚼期では主に閉口筋が主となり舌骨上筋群は補助的に働き、次いで嚥下準備期から嚥下期では逆に舌骨上筋群が主となり閉口筋は補助的に働いていた。また舌骨上筋群は嚥下準備期から嚥下に至る経緯では、舌骨上筋群は左右同時に協調して働いていることが示唆された。

キーワード：顎運動, 咀嚼, 嚥下, 筋電図, 習慣性咀嚼

The purpose of the study was to examine the coordination of perioral muscle activities and jaw movements from the start of forming food bolus to the swallowing.

Twelve healthy adults (mean age of 24.2 years old) with normal occlusion without any symptoms clinically were subjected to the study. Three dimension 6 degrees of freedom jaw movement record devices (Gnatho-Hexagraph®) were used for the study. EMG activities for masticatory muscles were induced from the temporal, masseter and suprahyoid muscles of the both habitual and non-habitual sides with bipolar silver electrodes. Simulated mastication movements were observed at first to ask subjects to perform the maximal jaw opening, maximal clenching and intentional tongue compression to the palatal and lateral sides in a mouth. Masticatory movements were observed at chewing 6g of peanut at the habitual and non-habitual side of chewing. Normalized EMG (%) of each muscle activity during chewing was evaluated by observing the EMG during maximum clenching efforts as designated a level of 100% for jaw closing muscles, i.e. temporal

¹⁾朝日大学歯学部口腔病態医療学講座 口腔外科学分野

²⁾朝日大学口腔構造機能発育学講座 小児歯科学分野
〒501-0296 瑞穂市穂積1851

¹⁾Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Division of Oral Pathogenesis and Disease Control

²⁾Department of Pediatric Dentistry, Division of Oral Structure, Function and Development

Asahi University School of Dentistry
Hozumi 1851, Mizuho, Gifu 501-0926, Japan
(平成26年9月4日受理)

and masseter muscles, and during maximum jaw opening efforts as designated a level of 100% for suprahyoid muscles. A masticatory movement was divided into the four stages according to time course; those were i) crushing, ii) grinding, iii) preparatory swallowing and iv) swallowing stages. In each stage, a typical activity was analyzed by using the vertical dimension of jaw movement, which was moreover divided into 10 divisions a chewing cycle, and three dimensional coordinates (x, y, z) of jaw movement and muscle activities were measured simultaneously. Statistical analysis was evaluated by ANOVA and Pearson's correlation coefficient.

Characteristic and significant changes of each muscle activity due to tongue movements were found. There were significant differences in the masseter muscle activity among four stages in habitual side chewing, and in the grinding stage of non-habitual side. In both the crushing and grinding stages, the temporal and masseter muscles worked predominantly, and worked suprahyoid muscles at both the preparatory swallowing and swallowing stages predominantly. Muscle coordination in terms of simultaneous activity for the bilateral suprahyoid muscles was found during from the preparatory swallowing to the swallowing stages.

Key words: Jaw movement, Masticatory muscles, Coordination, Swallowing

緒 言

口腔内に取り込まれた食物は臼歯部で粉碎され、唾液との混和に伴って食塊が形成され、さらに咽頭へと移送され嚥下にいたる。この一連の運動は、顎運動および口腔周囲筋の協調によって行われ、その微細な協調運動の観察は、口腔機能の発達や障害を評価する上で重要である。これまでも咀嚼機能や嚥下の評価を行うための研究が行われてきた。咀嚼についての研究では、自由咀嚼と片側咀嚼の差異¹⁾、咀嚼側に関する報告²⁻¹¹⁾、食物の大きさや性状が咀嚼サイクルや筋活動に与える影響¹²⁻²⁰⁾、顎運動と舌運動に関する報告²¹⁻²⁶⁾など、さまざまな条件での検討がなされている。嚥下についても videofluorography (VF) による固形物摂食時の嚥下動態の研究により、咀嚼時には口腔内だけでなく咽頭においても食塊形成が行われる (Stage 2 transport)²⁷⁾ことが明らかとなっている。またこの咽頭での食塊の形成は重力による受動的なものではなく、能動的な送り込みであることも明らかとされる²⁸⁾などさまざまな研究がおこなわれてきた²⁷⁻⁴¹⁾。これらの研究はストロークごと、または1ストロークについて顎運動を基準に開口相、閉口相、咬合相の3相に分けて観察したものがほとんどであり、より詳細な観察については不明である。

そこで本研究では、食塊形成から嚥下までの顎運動および咀嚼筋活動の協調運動のさらに詳細な観察を行うことを目的とし、咀嚼運動開始から嚥下にいたる咀嚼筋活動の協調について検討を行った。

材料および方法

被験者には、咀嚼・嚥下に特に問題を認めず個性正常咬合を有する歯学部学生、成人12名 (男性4名、

女性8名、平均年齢24.2歳)を用いた。各被験者には事前に実験の内容を説明し、協力の同意を得た。

今回、習慣性の咀嚼側は、各被験者からの回答および自由咀嚼の観察により確認した。

なお、本実験は朝日大学歯学部倫理委員会 (No. 20069) の承認を得て行った。

朝日大学附属病院、顎機能検査室内の歯科用チェアに眼耳平面が床と平行となるように腰をかけさせ観察を行った。顎運動記録には、三次元6自由度顎運動測定装置ナソヘキサグラフII (GC社製)を用いた。咀嚼時、嚥下時の筋電図の測定は、左右側頭筋、左右咬筋、左右舌骨上筋群の筋活動を直径6mmの双極表面銀電極を電極間距離16mmで触診にて筋の走向に平行に貼付して行った。

筋電図のデータはAD Instrument社製PowerLab 8Sを用いパーソナルコンピュータに記録した。

1. シミュレーション運動の観察

運動時の各筋の特徴的な活動を観察する目的で、シミュレーション運動を行わせた。運動として、まず最大開口、最大クレンチングを行わせ、次に上方口蓋、前方口蓋、後方口蓋、左右臼歯部舌側、各部への舌の圧接を指示した。このときふれる程度ではなく強く圧接するように指示し、舌運動測定を行った。

観察項目は、右側側頭筋、左側側頭筋、右側咬筋、左側咬筋、右側舌骨上筋群、左側舌骨上筋群の筋活動、および、顎運動のX軸 (矢状方向座標)、Y軸 (水平方向座標)、Z軸 (垂直方向座標)とした。

各運動で活動している波の中央部付近で安定している1秒間を選択し、積分値を求め比較検討を行った (図1)。被験者間の個人差を考慮し、側頭筋と咬筋はク

レンチング時を、また舌骨上筋群は最大開口時の筋活動量が100%となるよう normalized EMG (%) に変換した。

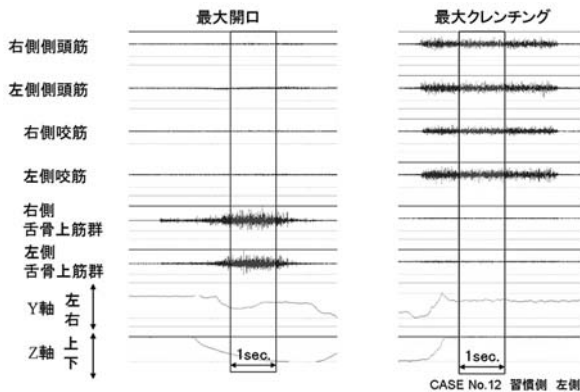


図1 最大開口とクレンチングの一例

2. 咀嚼運動の観察

習慣性咀嚼側咀嚼、および非習慣性咀嚼側咀嚼時の筋活動および顎運動を観察する目的で、被験食品としてピーナッツ6gを用い、自由咀嚼、習慣性咀嚼側咀嚼、非習慣性咀嚼側咀嚼で咀嚼運動を各2回行わせた。被験者には口腔内、舌上に被験食品ピーナッツを保持し軽く閉じた状態から咀嚼を開始するよう指示し、被験者の自由なリズムで咀嚼後、自由なタイミングで嚥下を行うまでの顎運動および筋電図を記録した。なお習慣性咀嚼側は、各被検者からの回答および自由咀嚼を参考に確認した。

まず顎運動の上下を示すZ軸の立ち上がりから閉口位までを咀嚼1サイクルとした。次に全体の咀嚼運動波形の第1サイクルを除く咀嚼開始より3分の1をI粉砕期とし、被験者からの合図と山田ら²⁹⁾、西田ら³⁰⁾のラバーセンサによる喉頭運動波形の報告、相澤ら³¹⁾らの高感度圧トランスデューサーを用いた報告を参考にIV嚥下期を決定し、その直前をIII嚥下準備期、また粉砕期から嚥下準備期の間をII咀嚼期として4期に分類した(図2)。各期の中で典型的な活動を示している代表的な波形を含むサイクルを各期で1咀嚼サイクルずつ選定し比較検討を行った。比較検討にはシミュレーション運動の測定と同様に normalized EMG (%) を用いた。

次にピーナッツ咀嚼運動時の各筋と顎運動の相関についてしらべるため、習慣性咀嚼側にて顎運動座標(X, Y, Z)と習慣性咀嚼側および非習慣性咀嚼側の側頭筋、咬筋、舌骨上筋群との間の相関について検討を行った。ピーナッツ咀嚼運動で選択した筋電図波形と顎運動波形をさらに10等分し同様に筋活動は nor-

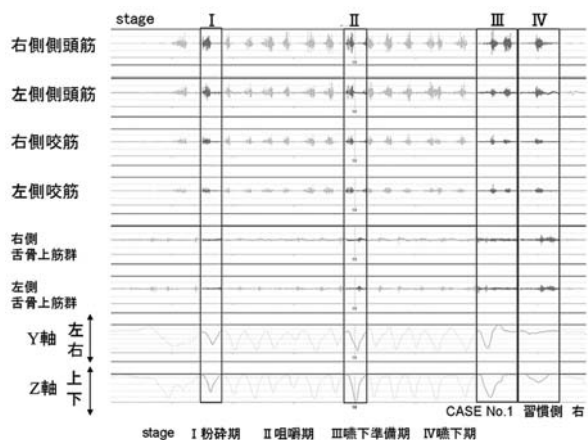


図2 ピーナッツ咀嚼の一例

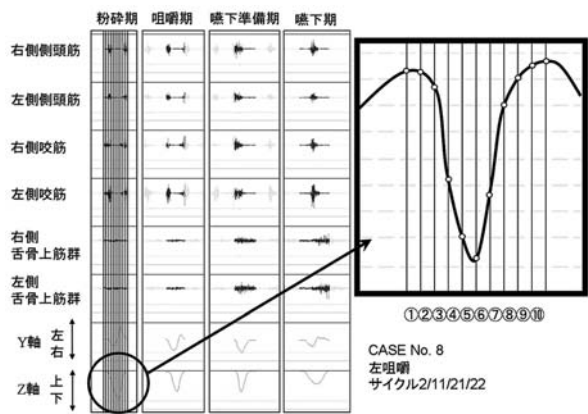


図3 選択波形10等分の一例

malized を行い、6筋の筋活動割合と、対応する座標(X, Y, Z)との九つの要素について相関関係を求めた(図3)。

(統計処理)

統計処理は、分散分析と多重比較検定(Fisher's PLSD)および相関関係の検定(Pearson's correlation coefficient test)により行った。

結果

1. 舌シミュレーション運動

①舌シミュレーション運動における運動と筋差

筋活動量の観察では最大開口時、クレンチング時の側頭筋、咬筋と舌骨上筋群間に有意な差がみられた。活動割合では最大開口時、クレンチング時の側頭筋、咬筋と舌骨上筋群間に加え、舌の非習慣性咀嚼側臼歯部圧接時の側頭筋と非習慣性咀嚼側舌骨上筋群間、咬筋と習慣性咀嚼側舌骨上筋群間、舌の後方口蓋圧接時の側頭筋、咬筋と舌骨上筋群間にも有意な差がみられた(図4, 5, 表1)。

積分値では最大開口時、クレンチング時、活動割合

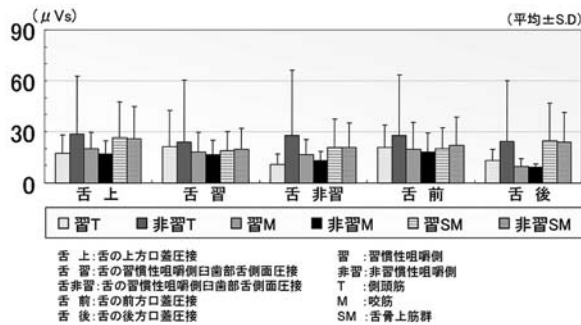


図4 舌圧接時における各筋の活動量変化(積分値)

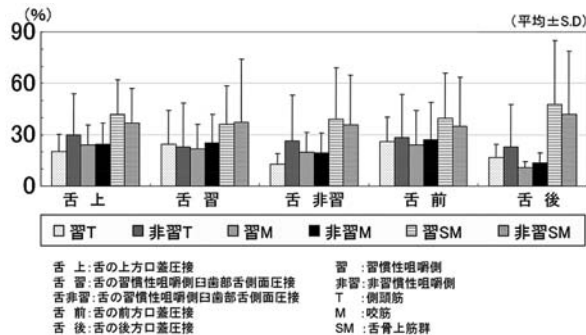


図5 舌圧接時における各筋の活動量変化(割合)

表1 舌シミュレーション運動における運動と筋差

	最大開口	クレンジング	舌上	舌習	舌非習	舌前	舌後
積分値	$p < 0.00$	$p < 0.00$	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
多重比較検定	T, M < SM	T, M > SM					
割合(%)	$p < 0.00$	$p < 0.00$	N.S	N.S	$p < 0.05$	N.S	$p < 0.00$
多重比較検定	T, M < SM	T, M > SM			T < 習, 非SM 習, 非M < 習SM		T, M < SM

舌上:舌の上方口蓋圧接
 舌習:舌の習慣性咀嚼側臼歯部舌側面圧接
 舌非習:舌の習慣性咀嚼側臼歯部舌側面圧接
 舌前:舌の前方口蓋圧接
 舌後:舌の後方口蓋圧接
 習:習慣性咀嚼側
 非習:非習慣性咀嚼側
 T:側頭筋
 M:咬筋
 SM:舌骨上筋群

では最大開口時、クレンジング時に加え舌の非習慣性咀嚼側臼歯部圧接時、後方口蓋圧接時にも有意な差がみられた。

②舌シミュレーション運動における各筋の筋活動の運動差について

習慣性咀嚼側側頭筋において、舌の上方口蓋圧接、舌の習慣性咀嚼側臼歯部舌側面圧接、舌の前方口蓋圧接は舌の非習慣性咀嚼側臼歯部舌側面圧接よりも有意に大きな値を示した(表2)。

2. 咀嚼ステージ(粉碎期, 咀嚼期, 嚥下準備期, 嚥下期)による全体的変化

1) 習慣性咀嚼, 非習慣性咀嚼とも、側頭筋, 咬筋, 舌骨上筋群の各筋活動においてステージ間で有意な変化が認められ、すなわち咀嚼の進行に伴い側頭筋と咬

表2 舌シミュレーション運動における各筋活動の運動差

	習慣側			非習慣側		
	T	M	SM	T	M	SM
全体	$p < 0.05$	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
多重比較検定	舌上 > 舌非習 舌習 > 舌非習 舌非習 < 舌前					

舌上:舌の上方口蓋圧接
 舌習:舌の習慣性咀嚼側臼歯部舌側面圧接
 舌非習:舌の習慣性咀嚼側臼歯部舌側面圧接
 舌前:舌の前方口蓋圧接
 舌後:舌の後方口蓋圧接
 習慣側:習慣性咀嚼側
 非習慣側:非習慣性咀嚼側
 T:側頭筋
 M:咬筋
 SM:舌骨上筋群

表3 習慣側, 非習慣側咀嚼時の各筋における活動割合平均とステージ間差

	習T	非T	習M	非M	習sm	非sm	
習慣側咀嚼時	粉碎期	23.52 (17.05)	20.47 (13.33)	30.57 (15.97)	20.11 (7.91)	15.55 (7.56)	16.37 (9.16)
	咀嚼期	21.35 (11.68)	18.59 (7.86)	25.20 (10.31)	16.81 (8.15)	13.24 (4.30)	13.33 (6.40)
	嚥下準備期	25.82 (23.12)	19.74 (12.27)	27.57 (13.08)	19.15 (10.51)	32.28 (20.42)	30.57 (20.64)
	嚥下期	18.19 (18.31)	17.04 (15.98)	20.84 (16.96)	15.05 (12.25)	25.13 (16.02)	26.73 (17.07)
	有意差	26.58	29.22	30.02	37.20	18.85	22.30
	非習慣側咀嚼時	(17.74)	(13.45)	(17.98)	(21.21)	(9.28)	(22.82)
非習慣側咀嚼時	咀嚼期	17.61 (9.05)	19.45 (9.08)	16.10 (8.16)	22.46 (7.98)	13.87 (4.21)	14.44 (10.43)
	嚥下準備期	10.60 (3.37)	14.98 (8.89)	13.60 (6.87)	13.69 (5.52)	22.80 (6.89)	24.52 (9.99)
	嚥下期	11.23 (7.93)	16.96 (16.17)	13.59 (7.40)	14.56 (7.50)	25.17 (17.18)	28.83 (18.86)
	有意差						

(S,D) ※ $P < 0.05$ ※※ $P < 0.00$

表4 各咀嚼ステージにおける習慣側咀嚼側と非習慣性咀嚼側の筋差

咀嚼ステージ	習慣側咀嚼			非習慣側咀嚼		
	側頭筋 習慣vs非習慣	咬筋 習慣vs非習慣	舌骨上筋群 習慣vs非習慣	側頭筋 習慣vs非習慣	咬筋 習慣vs非習慣	舌骨上筋群 習慣vs非習慣
I. 粉碎期	N.S	$p < 0.05$	N.S	N.S	N.S	N.S
II. 咀嚼期	N.S	$p < 0.05$	N.S	N.S	$p < 0.01$	N.S
III. 嚥下準備期	N.S	$p < 0.05$	N.S	N.S	N.S	N.S
IV. 嚥下期	N.S	$p < 0.05$	N.S	N.S	N.S	N.S

筋の活動割合は有意に低下し、舌骨上筋群は有意に増大していた(表3, 4)。

2) 習慣性咀嚼側-非習慣性咀嚼側筋差について

習慣性咀嚼側咀嚼時における咀嚼の全ステージの咬筋と、非習慣性咀嚼側咀嚼時における咀嚼期の咬筋で有意な差がみられたが、側頭筋、舌骨上筋群で差は認められなかった(表4)。

3) 咀嚼ステージの筋差について

①粉碎期では習慣性咀嚼側咀嚼・非習慣性咀嚼側咀嚼時とも、同側の咬筋が舌骨上筋群に比べ有意に大きい筋活動割合を示した。

②咀嚼期では習慣性咀嚼側咀嚼時において習慣性咀嚼

側咬筋が舌骨上筋群に比べ有意に大きい筋活動割合を示した。

③嚥下準備期では非習慣性咀嚼側咀嚼において習慣性咀嚼側・非習慣性咀嚼側とも舌骨上筋群が側頭筋と咬筋に比べ有意に大きい筋活動割合を示した。

④嚥下期では習慣性咀嚼側咀嚼・非習慣性咀嚼側咀嚼とも、舌骨上筋群が側頭筋と咬筋に比べ有意に大きい筋活動割合を示した。

習慣性咀嚼側、非習慣性咀嚼側ともに、咀嚼が進むにつれて側頭筋、咬筋の活動割合は小さくなり、舌骨上筋群の活動割合が大きくなった。また、習慣性咀嚼側では側頭筋よりも咬筋の活動割合が大きくなっていった。嚥下期では全ての組み合わせで側頭筋、咬筋の活動割合よりも舌骨上筋群の活動割合が有意に大きくなっていった(図7, 表5)。

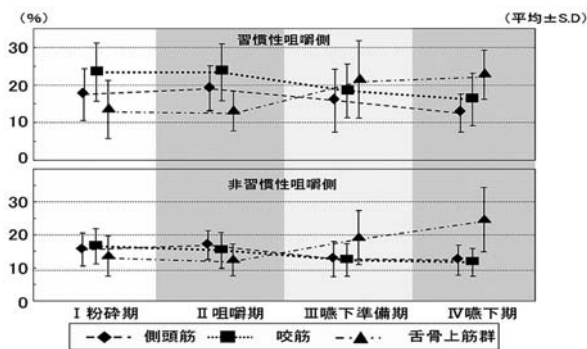


図6 習慣性咀嚼側咀嚼時の各期における習慣性咀嚼および非習慣性咀嚼側筋活動割合の変化

表5 各咀嚼ステージにおける習慣側咀嚼と非習慣側咀嚼の筋差 (T: 側頭筋, M: 咬筋, SM: 舌骨上筋)

咀嚼ステージ	習慣側咀嚼		非習慣側咀嚼	
	習慣側 T,M,SMの筋差	非習慣側 T,M,SMの筋差	習慣側 T,M,SMの筋差	非習慣側 T,M,SMの筋差
I. 粉碎期	$p < 0.05$	N.S.	N.S.	$p < 0.05$
多重比較検定	M>SM			M>SM
II. 咀嚼期	$p < 0.01$	N.S.	N.S.	N.S.
多重比較検定	M>SM			
III. 嚥下準備期	N.S.	N.S.	$p < 0.00$	$p < 0.05$
多重比較検定			T<SM	T<SM
			M<SM	M<SM
IV. 嚥下期	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.00$	$p < 0.01$
多重比較検定	T<SM	T<SM	T<SM	T<SM
	M<SM	M<SM	M<SM	M<SM

3. 各ステージ内での各筋と顎運動座標との相関

1) 各ステージ内の傾向

粉碎期の咬合している状態では咬筋、特に習慣性咀嚼側咬筋が大きな活動割合を示した。また開口にしたがって側頭筋、咬筋の活動が小さくなり、逆に舌骨上筋群の活動が僅かにおおきくなった。続いて閉口にしたがって閉口筋の活動が大きくなった。

咀嚼期では粉碎期と同様に閉口時には閉口筋が活動し、開口とともに閉口筋の活動が小さくなり、舌骨上筋群の活動は大きくなった。その後閉口に依り閉口筋が活動、舌骨上筋群の活動は小さくなる傾向がみられた。嚥下準備期にはいると閉口時に閉口筋の活動割合は大きいものの、舌骨上筋群の筋活動が粉碎期、咀嚼期に比べて明らかに大きくなった。嚥下期では閉口時においても側頭筋、咬筋の活動は小さく、舌骨上筋群は大きな活動を示した(図8-1, 2)。

2) 被験者別の各ステージにおける各筋と顎運動座標の相関関係について

被験者ごとに被験筋6筋、習慣性咀嚼側(習)および非習慣性咀嚼側(非習)それぞれの側頭筋(T)・咬筋(M)・舌骨上筋群(SM)と顎運動座標(X, Y, Z)の移動量との相関をもとめた。

①粉碎期ではZ・X間、非習T・習T間、習M・習T、非習T間で非常に高い相関がみられた。

②咀嚼期ではZ・X間、非習T・習T間、習M・Y、習T、非習T間、非習M・習T、非習T、習M間、非習SM・Y、習SM間で高い相関がみられた。

③嚥下準備期ではY・X間、Z・X、Y間、習T・Y、Z間、非習T・Y、Z、習T間、習M・Y、習T、非習T間、非習M・Y、習T、非習T、習M間、非習SM・習SM間で高い相関がみられた。

④嚥下期では習T・X、Y間、非習T・X、Y、習T間、習M・X、Y、習T、非習T間、非習M・X、Y、

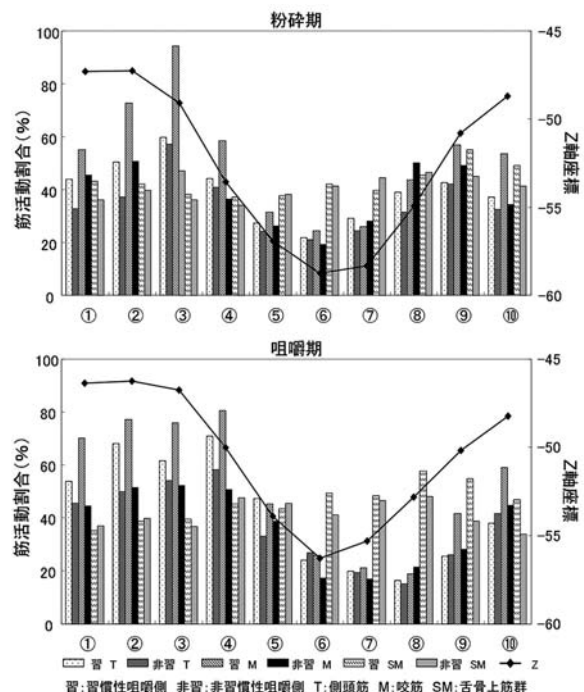


図7-1 10分割筋活動割合平均とZ軸座標の変化

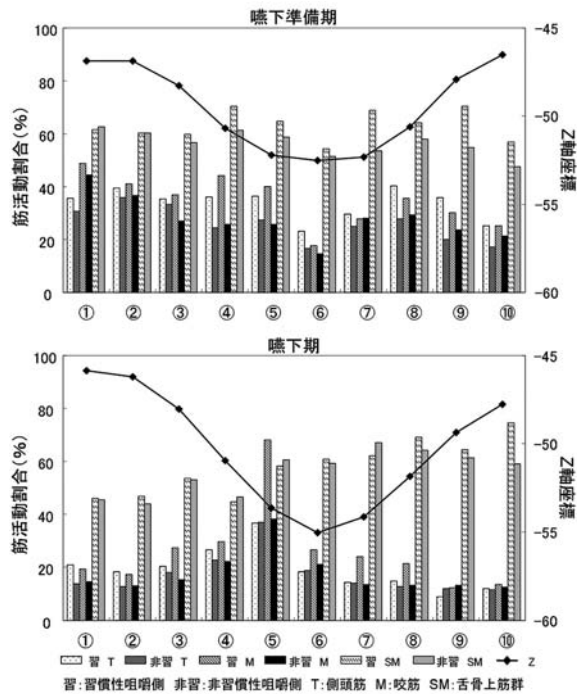


図7-2 10分割筋活動割合平均とZ軸座標の変化

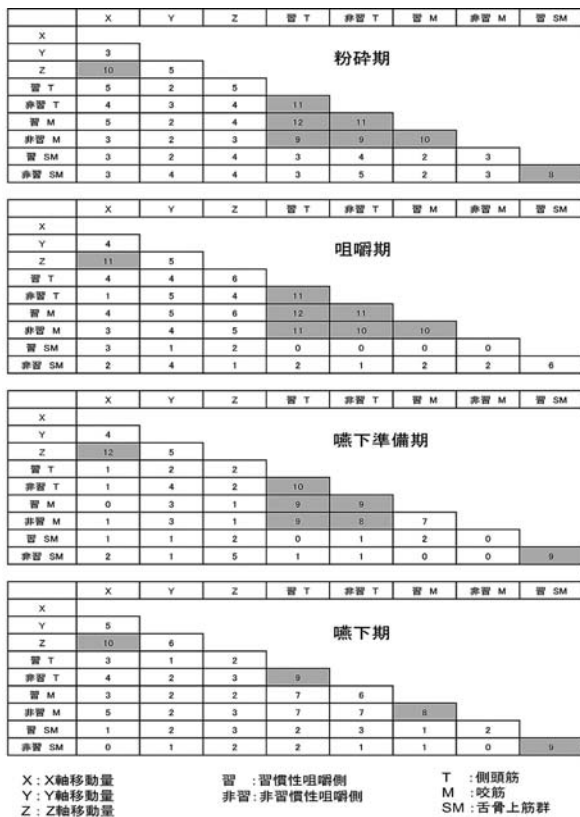


図8 各筋の筋活動量とX, Y, Z移動量で共通して高い相関のみられた例数.

習 T, 非習 T, 習 M 間, 習 SM・Z 間, 非習 SM・Z, 習 SM 間で高い相関がみられた.

3) 各ステージにおける各筋と顎運動座標の相関関係 被験者12名の3分の2である8名以上で共通して高い相関の見られた組み合わせについて検討を行った(図8).

粉碎期ではX・Z間, 習および非習 T・習および非習 M 間, 習 SM・非習 SM 間で高い相関がみられた.

咀嚼期ではX・Z間, 習および非習 Tと習および非習 M 間, で高い相関がみられた.

嚥下準備期ではT・M間の例数が粉碎期・咀嚼期に比べ例数は僅かに減少しているものの高い相関がみられた.

嚥下期ではT・M間の例数はさらに少なくなった.

全ステージに共通して高い相関を認めたのは習および非習 T・M間と, 習および非習 SM間であり, TあるいはMとSMとの間には相関は認められなかった. また各期とも顎の水平運動(y軸)と習および非習 SM間に高い相関は認められなかった.

考 察

これまでに咀嚼運動の評価や診断には多くの被験食品が用いられており, 各種被験食品についても性質や物性, それらを用いることでの咀嚼運動への影響についての検討等がなされている. 咀嚼運動を観察する上で被験食品として最も安定しているものはチューイングガムであるという報告が多くある^{2,6,11-13,17}. しかし, 今回の研究の目的は咀嚼開始から食塊形成を経て嚥下を行うまでの観察であることからチューイングガムを除外した. また嚥下までの観察が可能な被験食品としてグミゼリー, ピーナッツ, カマボコ, などがあげられる. 千綿ら¹³はチューイングガムを含む, グミゼリー, ピーナッツ, カマボコの4種について, 運動リズム, 運動経路の安定性を比較している. その中でチューイングガムを除くと, グミゼリー>カマボコ>ピーナッツの順で安定しており, 硬性破砕性のピーナッツは咀嚼により大きさ, 硬さがもっとも変化しやすいためもっとも不安定になったのではないかと考察している. 言い換えれば咀嚼が進むにつれての影響が出やすく, 変化の観察がしやすいといえるのではないかと考え, 本研究ではピーナッツを選択した. また塩沢ら¹⁴は固く粉碎しやすい食品の咀嚼では1つにまとまった食塊が形成された時点で嚥下が開始されたと報告しており, 今回の研究においてピーナッツの選択は適当であったと思われる.

被験者の選択については、これまでの研究になら^い¹⁻¹¹⁾問診、口腔内診査を行い、咀嚼・嚥下に特に問題(顎関節における自発痛、圧痛、運動時雑音、開口障害、口腔周囲筋の各筋、頸筋における自発痛、圧痛、第三大臼歯以外の欠損、不良補綴物、広範な齲蝕の既往、歯の自発痛、動揺、打診痛、矯正治療の既往、不良習癖)を認めない個性正常咬合を有する成人12名(男性4名、女性8名、平均年齢24.2歳)を用いた。今回、性差については、習慣性咀嚼側咀嚼で検定した結果、有意な差は認められなかったため同一群として取り扱った。

咀嚼側の選択についても多くの研究がなされている^{2,4,6,7,17)}。咀嚼機能は成長と発育の過程でさまざまな口腔内環境、もしくはその他の生理的な変化に対する適応を繰り返すうちに習慣的な咀嚼の側性を生じることが知られており、習慣性咀嚼側と呼ばれ、一般的に咀嚼頻度の高い側とされている。しかし習慣性咀嚼側に関する本人の自覚は低いとされている⁴²⁾。そのため、本人からの問診のみで習慣性咀嚼側を性格に判定することは困難である。仁村ら²⁾はガム咀嚼時のリズムの安定性は、咀嚼の側生と関連すると報告しているが、椿本ら⁶⁾は複数食品による咀嚼の側性の定量的評価に関する研究において、食品の硬性により咀嚼の側生が変化する被験者もみられたと報告している。本実験のピーナッツ自由咀嚼時の第一ストローク、左右側ストローク数、の観察と被験者からの問診により判定をおこなった。

記録方法については、朝日大学附属病院、顎機能検査室内の歯科用チェアに眼耳平面が床と平行となるように腰をかけさせ観察を行った。顎運動記録には、三次元6自由度顎運動測定装置ナソヘキサグラフII(GC社製)を用いた。この装置はヘッドフレーム、フェイスボウからなり、フェイスボウ装着のために下顎切歯部に即時重合レジンにて専用のクラッチを設置する必要がある。被験者のなかには咀嚼・嚥下時に下唇の運動が阻害され、違和感を感じる被験者もいたため、今後、装着方法について検討が必要であると考えた。筋電図の測定は本教室の山田ら²⁹⁾、西田ら³⁰⁾にならい、左右側頭筋、左右咬筋、左右舌骨上筋群の筋活動を、直径6mmの双極表面銀電極を電極間距離16mmで触診にて筋の走向に平行に貼付して行った。

被験運動、観察項目については、運動時の各筋の特徴的な活動を観察する目的で、シミュレーション運動として、最大開口、最大クレンチングの測定を行った。次に上方口蓋、前方口蓋、後方口蓋、左右臼歯部舌側、各部への舌の圧接を指示した。このときふれる程度ではなく強く圧接するように指示し、運動の測定を行っ

た。観察項目は、右側側頭筋、左側側頭筋、右側咬筋、左側咬筋、右側舌骨上筋群、左側舌骨上筋群の筋活動、および、顎運動のX軸(矢状軸方向座標)、Y軸(水平方向座標)、Z軸(垂直方向座標)とした。各運動で活動している波形1秒間を選択し、積分値を求め比較検討を行ったところ、各筋で特徴的な波形などはみることが出来なかったため被験者間の個人差を考慮し、normalized EMG(%)に変換した値を筋活動量として計測の対象とした。

筋活動を積分値で観察した場合、運動による筋活動の変化は不明瞭であったが本方法による検討で明瞭に観察することが出来た。

各種運動時の筋差については、すべての運動において舌骨上筋群で有意な差がみられると予測したが、結果は舌後方圧接と非習慣性咀嚼側臼歯舌面圧接で差が認められたのみであった。この理由として外舌筋である舌骨上筋群は主に舌骨の位置を保つために作用しているからではないかと考えた。また各筋活動割合の運動差も、側頭筋ではみられたものの舌骨上筋群では認められなかった。

咀嚼ステージによる全体的変化については、習慣性咀嚼側、非習慣性咀嚼側咀嚼とも咀嚼の進行に伴い側頭筋・咬筋の活動割合は有意に低下し、舌骨上筋群は有意に増大していた。この傾向はこれまでの咀嚼運動についての研究でもみられている^{2,4,6,7,17)}。粉砕期、咀嚼期では食品の粉砕のため大きな力を必要とし、嚥下準備期、嚥下期においては食塊形成、送り込みを行うため舌骨上筋群の活動が大きくなったものと考えられた。

習慣性咀嚼側—非習慣性咀嚼側筋差については、習慣性咀嚼側咀嚼時の全咀嚼ステージと非習慣性咀嚼側咀嚼時の咀嚼期の咬筋において、作業側が有意に大きな活動割合を示した。これは作業側で食品の粉砕・咀嚼が行われているため対側よりも有意に大きな活動を示したものと思われた。また習慣性咀嚼側での咀嚼時において傾向がより顕著になったのはCristensenら⁴³⁾が報告しているように習慣性咀嚼側による咀嚼において咀嚼筋の活動量が大きいということ、が関係していると考えられた。

咀嚼ステージの筋差では粉砕期から咀嚼期にかけて、習慣性咀嚼側咀嚼時・非習慣性咀嚼側咀嚼時とも、咬筋が舌骨上筋群に比べ大きい筋活動割合を示した。また嚥下準備期から嚥下期では、舌骨上筋群が側頭筋・咬筋に比べ大きい筋活動割合を示した。

次にピーナッツ咀嚼運動時の各筋と顎運動の相関について調べるため、習慣性咀嚼側にて顎運動座標(X, Y, Z)と習慣性咀嚼側および非習慣性咀嚼側の側頭

筋、咬筋、舌骨上筋群との間の相関について検討を行った。これまでも開口開始から閉口までの1サイクルを開口相、閉口相、咬合相の3つに分け考察したもの⁴⁴⁾や、顎運動路を分割し、咀嚼幅径を観察した研究¹⁷⁾などがみられるが、本研究のように時系列に沿って細分化した研究はみられなかった。そこで選択した筋電図波形と顎運動波形をさらに時系列に沿って10等分し、normalizedを行った6筋の筋活動割合と、対応する顎運動座標(X, Y, Z)との九つの要素について相関関係を求めた。その結果、各咀嚼ステージで共通して高い相関を認めたのは習慣性咀嚼側および非習慣性咀嚼側の閉口筋間と、習慣性咀嚼側および非習慣性咀嚼側の舌骨上筋群間であり、側頭筋・咬筋と舌骨上筋群との間には高い相関は認められなかった。また下顎の側方運動と左右舌骨上筋群の活動との間に相関は認められなかった。このことから咀嚼運動中の微細な舌運動には、咀嚼側に関係なく左右の舌骨上筋群が協調して働いていることが考えられた。

結 論

本研究は食塊形成から嚥下までの顎運動および咀嚼活動の協調運動について検討した結果、以下の結論を得た。

1. 舌運動シミュレーション

1) 積分値では不明瞭だった舌運動による筋活動の変化は、本方法の割合による検討でより明瞭になった。
2) 舌シミュレーション運動での各種運動時の筋差は、舌後方圧接と非習慣性咀嚼側臼歯舌面圧接で差が認められた。また各筋活動割合の運動差は、側頭筋でみられたものの舌骨上筋群では認められなかった。

2. 咀嚼ステージによる全体的変化

1) 習慣性咀嚼側、非習慣性咀嚼側咀嚼とも咀嚼の進行に伴い側頭筋と咬筋の活動割合は有意に低下し、舌骨上筋群は有意に増大していた。

2) 習慣性咀嚼側—非習慣性咀嚼側筋差について、習慣性咀嚼側咀嚼の全咀嚼ステージと非習慣性咀嚼側咀嚼の咀嚼期の咬筋において、習慣性咀嚼側が有意に大きな活動割合を示した。

3) 咀嚼ステージの筋差

(1) 粉碎期から咀嚼期にかけては、習慣性咀嚼側・非習慣性咀嚼側咀嚼とも、咬筋が舌骨上筋群に比べ大きい筋活動割合を示した。

(2) 嚥下準備期から嚥下期では、舌骨上筋群が側頭筋と咬筋に比べ大きい筋活動割合を示した。

3. 各ステージ内での各筋、運動との相関

1) 各咀嚼ステージで共通して高い相関を認めたのは習慣性咀嚼側および非習慣性咀嚼側の閉口筋間と、習慣性咀嚼側および非習慣性咀嚼側の舌骨上筋群間であり、側頭筋・咬筋と舌骨上筋群との間には相関は認められなかった。

2) 顎の側方運動と左右の舌骨上筋群活動との間に相関は認められなかった。このことから咀嚼運動中の微細な舌運動には、咀嚼側に関係なく左右の舌骨上筋群が協調して働いていることが考えられた。

以上より、咀嚼ステージで筋の役割に違いがあることが明らかとなった。粉碎期と咀嚼期では主に閉口筋が主となり舌骨上筋群は補助的に働き、次いで嚥下準備期から嚥下期では逆に舌骨上筋群が主となり閉口筋は補助的に働いていた。

また舌骨上筋群は咀嚼後半の食塊形成から嚥下に至る経緯では、舌骨上筋群は左右同時に協調して働いていることが明らかにされた。

文 献

- 1) 本間和代, 河野正司, 本間済, 櫻井直樹. 自由咀嚼と片側咀嚼の機能的差異の検討. 補綴誌. 2005; 49: 459-468.
- 2) 仁村秀由喜, 小林義典. 咀嚼運動における主咀嚼側咀嚼時と非主咀嚼側咀嚼時との差異. 補綴誌. 1990; 34: 1127-1139.
- 3) 尾崎宏嘉. 顎口腔機能の左右差と習慣性咀嚼側に関連する因子についての研究. 廣大歯誌. 2002; 34: 48-59.
- 4) 林幸男, 内藤元, 浅野隆, 高井周太郎, 小林喜平. 主成分分析を応用した習慣性咀嚼側の客観的評価への試み. 補綴誌. 2003; 47: 95-106.
- 5) 枅倉純, 志賀博, 小林義典. 主咀嚼側咀嚼時と非主咀嚼側咀嚼時との間の機能的差異—グミゼリー咀嚼時の運動機能, 咀嚼筋筋活動, ならびに咀嚼能率—. 日咀嚼会誌. 2000; 9: 57-64.
- 6) 椿本貴昭, 岩崎正一郎, 瑞森崇弘, 中村隆志, 高島史男. 複数食品による咀嚼の側性の定量的評価に関する研究. 補綴誌. 2001; 45: 494-503.
- 7) 鈴木丈一郎, 金原留美子, 長田牧子, 金指幹元, 五味一博, 新井高. 習慣性咀嚼側と歯蝕の状態に関する臨床的研究. 日歯保存誌. 2005; 48: 356-361.
- 8) Aktekin M, Kurtoglu Z and Oztürk AH. A bilateral and symmetrical variation of the anterior belly of the digastric muscle. *Acta Med Okayama*. 2003; 57: 205-207.
- 9) Mizumori T, Arai K, Tsubakimoto T and Yatani H. Chewing side continuity and masticatory performance. *Prosth Res & Pract*. 2006; 5: 10-14.
- 10) 大崎仁子, 永木恵美子, 本田領, 石井千佳子, 四井資

- 隆, 川本達雄. 習慣性咀嚼側と咬筋の形態および顎顔面形態との関係について. 歯科医学. 2005; 68: 220-226.
- 11) Shiga H, Kobayashi Y, Arakawa I and Shonai Y. Selection of food and chewing side for evaluating masticatory path stability. *Odontology*. 2003; 91: 26-30.
 - 12) 田中康隆. EMG Coordination Pattern からみた咀嚼運動の食品差について. 補綴誌. 1988; 32: 798-813.
 - 13) 千綿一郎, 志賀博, 小林義典. 咀嚼運動の機能的分析—安定性の評価のための被験食品の検索—. 補綴誌. 1998; 42: 857-866.
 - 14) Shiozawa K, Kohyama K and Yanagisawa K. Influence of ingested food texture on jaw muscle and tongue activity during mastication in humans. *Jpn J Oral Biol*. 1999; 41: 27-34.
 - 15) 稲葉仁, 志賀博, 小林義典. 各種食品咀嚼時の末梢からのフィードバック調節. 補綴誌. 2001; 45: 271-282.
 - 16) Naiki H, Ono Y, Tanaka E, Iwayama K, Uesugi N and Komasa Y. Mandibular movement and EMG activity during ingestion and swallowing. *J Osaka Dent Univ*. 2006; 40: 1-5.
 - 17) 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. 2008; 34: 1-6.
 - 18) Peyron MA, Maskawi K, Woda A, Tanguay R and Lund JP. Effects of food texture and sample thickness on mandibular movement and hardness assessment during biting in man. *J Dent Res*. 1997; 76: 789-795.
 - 19) Wang JS and Stohler CS. Textural properties of food used in studies of mastication. *J Dent Res*. 1990; 69: 1546-1550.
 - 20) Himmlova L, Goldmann T, Ihde S and Konvickova S. Time analysis of hard and soft bolus processing. *Bio-med Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*. 2007; 151: 327-332.
 - 21) 埴総司, 坪井明人, 渡辺誠, 稲井哲司, 佐々木啓一. 咀嚼運動中の頬筋筋活動の特徴. 顎機能誌. 2003; 9: 206-207.
 - 22) Karlsson S and Carlsson GE. Characteristics of mandibular masticatory movement in young and elderly dentate subjects. *J Dent Res*. 1990; 69: 473-476.
 - 23) Lucas PW, Ow RK, Ritchie GM, Chew CL, Keng SB. Relationship between jaw movement and food breakdown in human mastication. *J Dent Res*. 1986; 65: 400-404.
 - 24) van der Bilt A, Weijnen FG, Ottenhoff FA, van der Glas HW and Bosman F. The role of sensory information in the control of rhythmic open-close movements in humans. *J Dent Res*. 1995; 74: 1658-1664.
 - 25) Thexton A. Jaw, tongue and hyoid movement—a question of synchrony? Discussion paper. *JR Soc of Med*. 1984; 77: 1010-1019.
 - 26) Felício CM, Couto GA, Ferreira CL, Mestiner Junior W. Reliability of masticatory efficiency with beads and correlation with the muscle activity. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*. 2008; 20: 225-230.
 - 27) Palmer JB, Rudin NJ, Lara G and Cropton AW. Coordination of mastication and swallowing. *Dysphagia*. 1992; 7: 187-200.
 - 28) Hiimeae KM, and Palmer JB. Food transport and bolus formation during complete feeding sequences on foods of different initial consistency. *Dysphagia*. 1999; 14: 31-42.
 - 29) 山田賢, 堀竜平, 小林利広, 中西正尚, 田村康夫. 小児と成人における嚥下時喉頭運動と口腔周囲筋筋活動との協調. 小児歯誌. 2003; 41: 71-76.
 - 30) 西田宜弘, 青木重人, 山田賢, 長谷川信乃, 田村康夫. 嚥下時における口蓋への舌圧接状態についての検討—第1報成人における舌圧接状態と口腔周囲筋筋活動の経時的变化—. 小児歯誌. 2006; 44: 37-46.
 - 31) 相澤秀夫, 佐々木啓一, 渡辺誠. 自発嚥下時における顎筋, 舌骨筋群活動の時系列的検討. 補綴誌. 2001; 45: 582-591.
 - 32) Palmer JB, Hiimeae KM, Matsuo K and Haishima H. Volitional control of food transport and bolus formation during feeding. *Physiol Behav*. 2007; 91: 66-70.
 - 33) 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. 2006; 10: 62-71.
 - 34) 虫本栄子, 田中久敏, 古山智成. 開・閉口筋電図による嚥下動作の評価法. 補綴誌. 2000; 44: 292-299.
 - 35) Burnett TA, Mann EA, Stoklosa JB, and Ludlow CL. Self-triggered functional electrical stimulation during swallowing. *J Neurophysiol*. 2005; 94: 4011-4018.
 - 36) 古閑公治, 村山伸樹, 永谷正巳, 中原智喜, 中西亮二. 表面筋電図を用いた嚥下運動の解析—健常若年者の半固形物と水嚥下時について—. *Jpn oral biol*. 2005; 54: 1388-1393.
 - 37) Shiozawa K, Kohyama K and Yanagisawa K. Food bolus texture and tongue activity just before swallowing in human mastication. *Jpn oral biol*. 1999; 41: 297-302.
 - 38) Shiozawa K, Kohyama K and Yanagisawa K. Relationship between physical properties of a food bolus and initiation of swallowing. *Jpn oral biol*. 2003; 45: 59-63.
 - 39) Kohyama K, Sawada H, Nonaka M, Kobori C, Hayakawa F and Sasaki T. Textural evaluation of rice cake by chewing and swallowing measurements on human subjects. *Biosci Biotechnol Biochem*. 2003; 71: 358-365.
 - 40) Moreno I, Sanchez T, Ardizzone I, Aneiros F and Celemin A. Electromyographic comparisons between clenching, swallowing and chewing in jaw muscles with varying occlusal parameters. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2008; 13: E207-213.

- 41) Abe S, Kaneko H, Nakamura Y, Watanabe Y, Shintani M, Hashimoto M, Yamame G, Ide Y, Shimono M, Ishikawa T, Yamada Y and Hayashi T. Experimental device for detecting laryngeal movement during swallowing. *Bull Tokyo Dent. Coll.* 2002; 43: 199-203.
- 42) 上田直克, 弓場直司, 田中昌博, 徳永徹, 河野亘, 金田龍洙, 今西俊雅, 川添堯彬. 咀嚼得手側の自覚に関する調査. *補綴誌* 1991 ; 35 : 708-714.
- 43) Christensen LV, Radue JT. lateral preference in mastication: an electromyographic study. *J Oral Rehabil.* 1985; 12: 429-434.
- 44) 内藤元. 咀嚼の側性に関する研究. *日大口腔科学.* 2004 ; 30 : 1-10.
-