

原 著

成人開咬者と個性正常咬合者の咀嚼・嚥下時における 口腔周囲筋筋活動の比較

倉島茂樹 福井只美

鶴見大学歯学部矯正学教室

Shigeaki KURASHIMA and Tadayoshi FUKUI

Department of Orthodontics, School of Dental Medicine, Tsurumi University

キーワード：開咬，咀嚼，嚥下，筋電図，舌運動

抄録：本研究では、開咬者群および正常咬合者群に硬さの異なる2種類の寒天試料をそれぞれ口腔内に保持させた状態から嚥下まで自由に咀嚼させた時の左右の咬筋、口輪筋、オトガイ筋、および顎舌骨筋の筋電図と積分筋電図を記録し比較検討した。本研究で用いた寒天試料は舌と口蓋により圧縮粉碎される0.6%の寒天試料と歯で粉碎、咀嚼される4%の寒天試料を用いた。

その結果、1) 正常咬合者群では口唇安静時および中心咬合位時に各筋の筋活動はほとんど認められないのに対して、開咬者群では口唇安静時にオトガイ筋の不随性の筋活動が認められ、中心咬合位時には口輪筋とオトガイ筋の活発な活動が認められた。2) 開咬者群では、寒天試料の口腔内保持時に口輪筋、オトガイ筋および顎舌骨筋の筋活動が認められた。3) 開咬者群と正常咬合者群の4%寒天試料咀嚼時の咀嚼回数および粉碎・咀嚼時間には有意な差は認められなかった。4) 開咬者群では、舌の動きが大きく関与する0.6%寒天試料を圧縮・粉碎し舌後方へ運ぶ時間および4%寒天試料咀嚼後の粉碎された食塊が舌により舌後方へ輸送される(Stage II transport)時間が正常咬合者群に比べ有意に長い値を示した。5) 開咬者群では、寒天試料の嚥下時に口腔周囲筋(口輪筋、オトガイ筋)および顎舌骨筋に活発な筋活動が認められた。

以上の結果より、開咬者は日常生活における咀嚼・嚥下時の口腔周囲筋の活動のみならず舌後方への食塊輸送機能が正常咬合者と異なることが示唆された。

(Orthod. Waves 59(5) : 352~363, 2000)

Comparison of perioral muscle activities during chewing and swallowing between normals and subjects with open bite

Abstract : The purpose of this study was to clarify electromyographic differences in the masseter, orbicularis oris, mentalis, and mylohyoid muscle activity during chewing and swallowing the agar samples in normal and open-bite subjects. The samples used in this experiment were a 0.6% agar sample crushed by compression between the tongue and hard palate and a 4% agar sample that was ground by the teeth.

The following results were obtained :

1. In open-bite group, involuntary EMG activity of the mentalis was observed while in the mandibular rest position.
2. In the open-bite group, EMG activity of the orbicularis oris, mentalis, and mylohyoid muscle when the subjects held and swallowed the agar sample was significantly greater than in the normal group.
3. No significant differences were observed in the number of chewing cycles and the length of chewing time between the open-bite and normal groups, when chewing the 4% agar sample.
4. In the open-bite group, the time required for chewing the 0.6% agar sample by compressive grinding and transporting it to the posterior part of the tongue, and the time required for transport the bolus formed after chewing the 4% agar sample to the posterior part of the tongue (Stage II transport), were significantly longer in comparison to the normal group.

(Orthod. Waves 59(5) : 352~363, 2000)

緒 言

咀嚼および嚥下は、視覚、嗅覚、触覚などのあらゆる感覚と過去の食体験から口腔に入る前の食物の性質を感知することから始まる。そして、ひとたび口腔内に取り込まれた食物は瞬時にしてその物性や温度が認知され、硬い食物は舌によって臼歯部に運ばれ咀嚼され、軟らかい食物はそのまま舌と口蓋で圧縮・粉碎される。その後、粉碎された食塊は舌により舌後方部、咽頭へと運ばれ嚥下される^{1,2)}。この一連の過程では、歯や顎顔面形態と舌や咀嚼筋をはじめとする口腔周囲筋の機能との調和と協調は必要不可欠であり、これらのバランスが崩れると咀嚼、嚥下機能の低下は免れない。金子³⁾らの調査では、混合歯列期以降の脳性麻痺患者の44.2%が開咬を示し、その多くが重篤な咀嚼、嚥下障害を示すという。一方、健常者では開咬の出現率はかなり低いが、開咬者は特徴的な顎顔面の形態を示し、さらには咀嚼機能の低下、嚥下時の舌や口腔周囲筋の異常な筋活動を示す者が多い。そのため、現在までに顎口腔機能と開咬の関連について、さまざまな角度から解析され検討が行われている⁴⁻¹⁰⁾。筋電図学的研究では Itsuki⁸⁾、Tulley¹¹⁾、Perry¹²⁾らが、開咬者では液体嚥下時に口腔周囲筋や舌骨上筋群が著しい筋活動を行うことを報告しているが、開咬者の日常の食生活に則した食品の咀嚼、嚥下時の筋活動についての報

告は見当たらない。そこで本研究の目的は、成人女子開咬者に半固体状の食品および固体状の食品を咀嚼、嚥下させ、その時の咬筋、口腔周囲筋（口輪筋、オトガイ筋）、および顎舌骨筋の筋活動を筋電図学的に解明することにある。また、典型的な開咬者の咀嚼、嚥下時の側面頭部 X 線ビデオ映像から舌の動きと食塊の移動を観察し筋活動との関連性についても検討を加えた。

資料ならびに方法

I. 被験者

本研究の被験者は開咬者群として、鶴見大学歯学部付属病院に来院した患者および本学学生の中から骨格性下顎前突を除く女性開咬者13名（年齢 21.6 ± 1.8 歳）を、正常咬合者群としては、特に咀嚼、嚥下に異常がなく、著しい叢生および捻転を認めない本学女子学生の中から個性正常咬合者11名（年齢 20.5 ± 1.5 歳）をそれぞれ選択した。なお、各被験者には、予め本研究の趣旨を十分に説明し協力者として同意を得た（開咬者1名は、側面頭部 X 線ビデオ映像の撮影についても同意を得た）。正常咬合者群と比較した開咬者群の顎顔面形態の特徴は、口腔模型による分析結果から前歯部咬合関係は overbite -3.0 ± 1.6 mm, overjet $+4.7 \pm 2.1$ mm の開咬および上顎歯列弓の狭窄を示し、側面頭部 X 線規格写真から歯槽的には下顎前歯の唇側傾斜、骨格的には下顎が後方回転を示した（表1, 2）。

表 1 正常咬合者群および開咬者群の口腔模型計測値 (mm)

	正常咬合者群 (n=11)		開咬者群 (n=13)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
overbite	2.7	0.9	-3.0***	1.6
overjet	2.9	0.8	4.7*	2.1
上顎				
犬歯間幅径	35.3	2.0	33.2*	1.9
第一小臼歯間幅径	43.0	1.3	39.4**	3.4
第一大臼歯間幅径	41.3	1.3	40.1	2.5
歯列弓長径	38.3	2.1	38.0	1.9
Basal Arch Width	46.1	1.6	42.7**	3.4
Basal Arch Length	31.6	2.0	31.1	2.3
下顎				
犬歯間幅径	26.2	1.6	28.1	2.1
第一小臼歯間幅径	34.1	1.1	35.4	2.3
第一大臼歯間幅径	35.4	1.4	37.3	3.0
歯列弓長径	33.4	1.4	32.1	2.1
Basal Arch Width	39.8	1.0	39.0	3.5
Basal Arch Length	30.3	1.8	29.0	2.1

S. D. : 標準偏差

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$ *** : $p < 0.001$

表 2 正常咬合者群および開咬者群の側面頭部 X 線規格写真計測値 (°)

	正常咬合者群 (n=11)		開咬者群 (n=13)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Facial angle	84.8	1.9	82.0*	2.9
Convexity	7.6	5.2	13.1*	5.8
SNA	82.1	3.2	81.1	4.8
SNB	79.0	2.0	75.8	3.7
ANB	3.2	2.1	5.3	2.8
Mandibular plane	30.3	6.4	37.7**	3.3
Y-axis	64.2	1.7	69.6***	3.1
Gonial angle	129.2	9.7	127.6	2.5
Ramus inclination	5.3	3.5	0.4**	4.1
U-1 to FH	113.3	5.3	115.2	5.4
FMIA	53.5	6.7	45.6**	4.8
Interincisal angle	110.1	35.0	110.7	6.7

S. D. : 標準偏差

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$ *** : $p < 0.001$

II. 筋電図の測定

1. 咀嚼および嚥下試料

本研究の咀嚼試料には、半固体状の軟らかい食品に0.6%寒天試料を、固体状の硬い食品に4%寒天試料を用いた。これらの試料は、いずれも直径20mmの半球状で3%の砂糖を含んでいる。これら2種類の咀嚼試料の硬さを物性測定装置(33005, 山電レオナ)を用いてテクスチャー解析を行った。測定は、室温20°Cで行い直径5mmの円筒型プランジャーで圧縮速度1mm/s, 圧縮率67%で2回圧縮した。解析の結果、0.6%の寒天試料の硬さは 4.29 ± 0.93 kPa (n=8), 4%の寒天試料の硬さは 61.95 ± 1.57 kPa (n=8)であり、0.6%寒天試料の硬さはTakahashi¹⁴⁾らが報告している舌と口蓋により圧縮・粉碎される硬さの範囲に、4%寒天試料の硬さは歯により粉碎・咀嚼される範囲に含まれていた。

2. 被検筋

筋電図(EMG)を導出する筋は、左右咬筋、口輪筋、オトガイ筋および顎舌骨筋とした。顎舌骨筋は、舌による口蓋圧迫時や嚥下時の初期に活発な筋活動を示すという報告があることから舌運動および嚥下の指標として採用した¹⁵⁻¹⁷⁾。

3. 測定方法

被験者をシールドルーム内の椅子にフランクフルト平面が床と平行になるように座らせ、被験動作の妨げにならないように頭部は固定せずに測定を行った。双極の皿状表面電極(電極間距離15mm, NECメディカルシステムズ, 東京)を用い左右咬筋浅層筋腹中央部, 上唇左側口輪筋中央部, オトガイ部正中のオトガイ筋停止部, 舌骨体のすぐ上の顎舌骨筋停止部の皮膚上に心電図用ペースト(カージオクリーム, 日本光電, 東京)を介在させテープで固定しEMGを導出した。前述の方法で導出した筋電位を時定数0.03sで処理し、ハイパスフィルター(SRフィルター3315, NF回路, 東京)で遮断周波数15Hzにより低周波数帯域を減衰した後に筋電図原波形としてペンレコーダー(RT2116A, NEC三栄, 東京)に紙送りスピード10mm/sで記録した。また、積分器(7747, NEC三栄, 東京)を用いてEMGを全波整流後時定数0.1sで平滑化処理し、これらの積分筋電図波形も筋電図原波形と共にペンレコーダーに記録した。

4. 被検動作

食物を摂取する以前の口腔周囲筋筋活動を記録するために被験者にわずかに口唇を開かせ口腔周囲筋が最もリラックスした安静状態(以下口唇安静時)をとらせ、その後、その口唇安静時から口唇を閉じ上下の臼歯を軽く接触させた状態(以下中心咬合位)をとらせた。なお、口唇安静時については、筋電図原波形上で各被験者の咬筋に意識的な緊張がなく、口腔周囲筋の

表3 正常咬合者群および開咬者群の各筋の最大筋活動時の最大振幅値(μ V)

	正常咬合者群 (n=11)		開咬者群 (n=13)	
	Mean	S. E.	Mean	S. E.
左側咬筋	252.7	26.2	136.9**	19.1
右側咬筋	266.1	30.0	123.2***	16.9
口輪筋	244.8	41.6	326.1	60.2
オトガイ筋	555.2	86.8	853.9**	52.0
顎舌骨筋	147.3	17.4	92.0**	9.8

S. E.: 標準誤差 **: p<0.01 ***: p<0.01

筋活動が最小になった状態とした。次に0.6%および4%寒天試料を数秒間口腔内にそれぞれ保持した後、咀嚼リズムや回数を特に規定せず自由咀嚼を行わせた。

これらの動作は、各被験者にそれぞれ6回ずつ行わせ記録を行った。なお、実際に0.6%寒天試料が舌と口蓋で圧縮・粉碎され、4%寒天試料が歯により粉碎・咀嚼されているか否かは、記録ごとに被験者に確認した。

III. 筋電図の分析および評価方法

筋活動の大きさは、各被検筋の最大筋活動時の最大振幅値に対する比率である相対的筋活動で表した^{8,18)}。その基準となる各筋の最大筋活動は、咬筋; 中心咬合位での最大かみしめ時, 口輪筋; 口唇最大前方突出時(上下口唇を最も前方に突出させた時), オトガイ筋; 下唇最大前方突出時(下口唇を最も前方に突出させた時), 顎舌骨筋は舌による口蓋最大圧迫時(最も強く舌背で口蓋を押し上げた時)とした(表3)^{8,17)}。0.6%寒天試料の舌により圧縮・粉碎され舌後方に送られる期間(図1b), 4%寒天試料の歯による粉碎・咀嚼期間(図1b₁)および舌後方への食塊の輸送(Stage II transport)期間(図1b₂)は、各期間の所要時間とその際の筋活動量比(被検筋の筋活動量の総和に対する各筋の筋活動量が占める割合)を求めた¹⁹⁾。4%寒天試料の歯による粉碎・咀嚼については、咀嚼回数(咬筋の活動開始から嚥下前までのペースト放電の回数)も計測した。これら筋電図原波形および積分筋電図波形から得られた値から各被験者の平均値を代表値として算出し、さらに両群の平均値および標準誤差を求めた。両群間の有意差検定にはStudentのt検定を用いた。

IV. 側面頭部X線ビデオ映像の記録

開咬者における0.6%寒天試料の口腔内保持、咀嚼および嚥下時の舌運動および食塊の流れを検証するために側面頭部X線ビデオ映像の記録を行った。典型的な筋活動を示した開咬者1名を選択し、筋電図測定条件と一致させるために頭部は固定せずに座位にて硫酸バリウムを含む0.6%寒天試料を自由咀嚼させた。撮

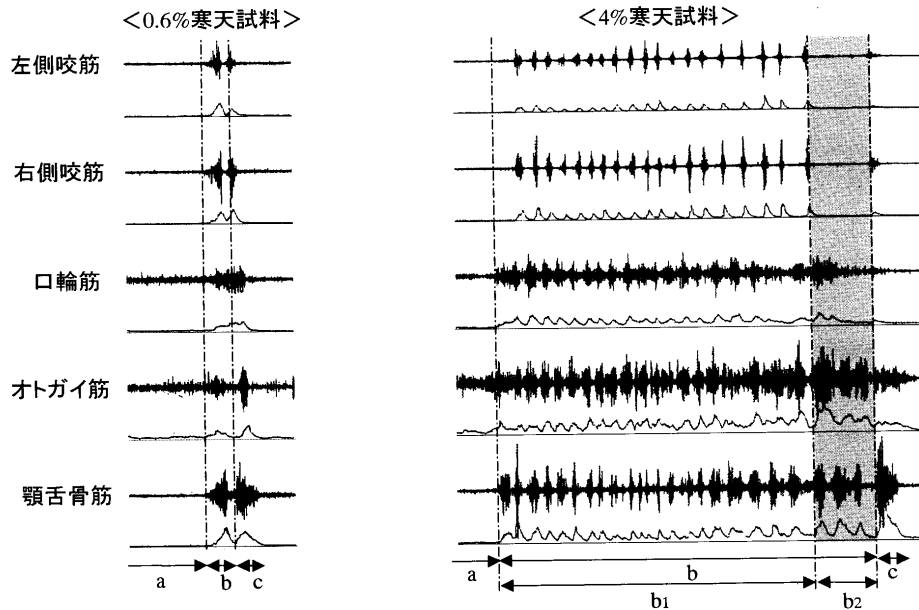


図 1 0.6%寒天試料および4%寒天試料の分析区間

- a : 寒天試料が口腔内に保持されている状態
 b : 寒天試料の圧縮・粉碎および舌後方への輸送期
 b₁ : 寒天試料の歯による粉碎・咀嚼期
 b₂ : 舌後方へ食塊の輸送 (Stage II transport) 期
 c : 嚥下

影は、X線ビデオ装置(DHF-105 CX, 日立メディコ, 東京)を使用し、X線照射条件は管電圧 60 kVp, 管電流 2.0 mA として3回記録を行った。

結 果

I. 口唇安静時および中心咬合位の筋活動の比較

正常咬合者群と開咬者群とを比較すると前者は口唇安静時および中心咬合位には各筋の筋活動は認められなかった(図2, 3)。しかし、後者では、口唇安静時においてオトガイ筋が、また中心咬合位において口輪筋とオトガイ筋がそれぞれ活動し、両群間の口腔周囲筋筋活動には有意差が認められた(図2, 3)。

II. 0.6%寒天試料の口腔内保持, 咀嚼および嚥下時の筋活動の比較

0.6%寒天試料の口腔内保持時では正常咬合者群では、ほとんど筋活動が認められないのに対して、開咬者群では、口輪筋、オトガイ筋および顎舌骨筋が有意に大きい筋活動を示した(図4, 5)。

0.6%寒天試料が口蓋と舌によって圧縮・粉碎され、舌により舌後方へ輸送される所要時間は、正常咬合者群は 1.67 ± 0.18 秒であるのに対して、開咬者群は 3.09 ± 0.21 秒と有意に長い傾向が認められた(図4, 6)。また、この際に正常咬合者群では開咬者群に比べ

左右咬筋および顎舌骨筋の筋活動量比が大きかったのに対して、開咬者群では総筋活動量(筋活動量の総和)の大部分を口腔周囲筋、特にオトガイ筋が占める結果となった。

嚥下時では、咬筋の筋活動に両群間に有意差は認められなかったが、口輪筋、オトガイ筋および顎舌骨筋のそれぞれの筋活動は開咬者群が有意に大きかった(図4, 7)。

III. 4%寒天試料の口腔内保持, 咀嚼および嚥下時の筋活動の比較

4%寒天試料の口腔内保持時には、正常咬合者群の各筋がほとんど筋活動を示さなかった(図8, 9)。一方、開咬者群では、口輪筋、オトガイ筋および顎舌骨筋が有意に大きな筋活動を示し、両群とも0.6%寒天試料の口腔内保持時とほぼ同様の傾向が認められた(図8, 9)。

4%寒天試料の歯による粉碎・咀嚼時間と咀嚼回数は両群間に有意差が認められず、筋活動量比は、開咬者群では正常咬合者群と比較して口輪筋・オトガイ筋の活動が占める割合はきわめて大きく、左右咬筋の活動の割合が小さかった(図8, 10)。

粉碎された4%寒天試料の食塊が舌により舌後方への輸送(Stage II transport)される時間は、正常咬合者群では 0.83 ± 0.05 秒であるのに対して、開咬者群で

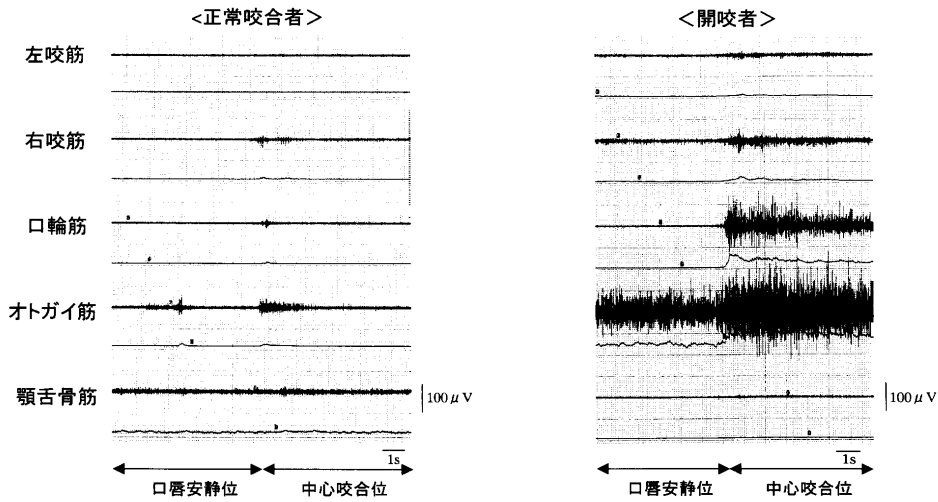


図 2 口唇安静時および中心咬合位の筋電図原波形と積分波形の代表例

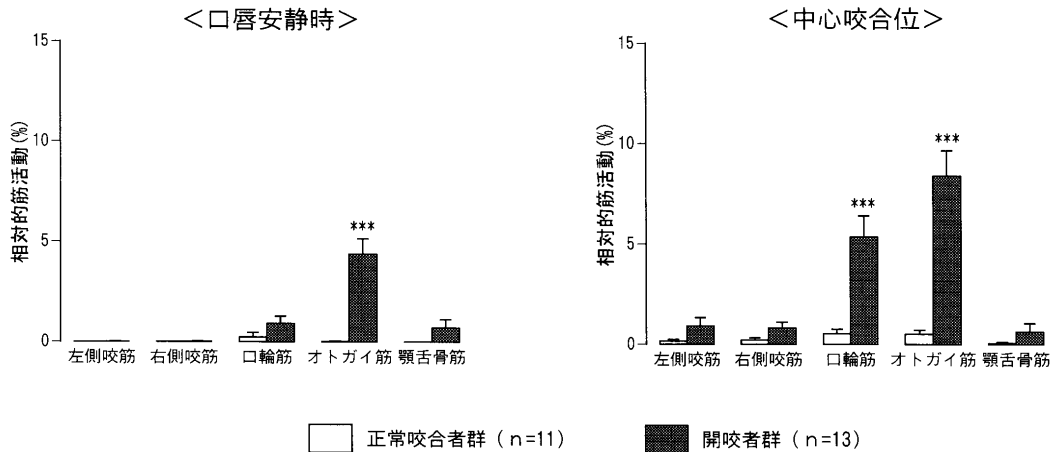


図 3 口唇安静時と中心咬合位における相対的筋活動の平均値と標準誤差
*** : p < 0.001

は 1.28 ± 0.09 秒と有意に長かった (図 8, 11). また, この期間の筋活動量比は, 正常咬合者群では左右咬筋の活動量が約 24%, 顎舌骨筋の活動量が約 19%, 口輪筋・オトガイ筋の筋活動量が約 58% を占めるのに対して開咬者群では左右咬筋の活動量が約 6%, 顎舌骨筋の活動量が約 9% の割合を占めるにとどまり, 総筋活動量の約 85% を口輪筋・オトガイ筋の筋活動量が占めていた.

4% 寒天試料の嚥下時では, 左右咬筋筋活動は, 両群間に有意差は認められず, 開咬者群では, 正常咬合者群と同程度であった (図 8, 12). しかし, 口輪筋, オトガイ筋および顎舌骨筋のそれぞれの筋活動は開咬者群の方が有意に大きかった.

IV. 0.6% 寒天試料の口腔内保持, 咀嚼および嚥下時の X 線ビデオ映像の記録

図 13 A (矢印) に示す 0.6% 寒天試料を被験者に口腔内に保持させると, 寒天試料は舌前部と切歯乳頭付近の口蓋との間に保持されていた. 次にそれを自由咀嚼させると保持されていた位置から口腔前部に運ばれ, 上下顎前歯舌側面と舌尖によって圧縮・粉碎されてその部位に食塊が形成された (図 13 B). これに続き, 被験者の舌尖がこの食塊をすくい上げるようにして舌後部に輸送しようとする (図 13 C). しかし, 一回の舌運動で食塊を舌後方へ輸送しきれずに何回かこの運動を繰り返す様子が確認された (図 13 D). また, この時に舌尖部は上下前歯間に突出し, オトガイ筋 (*) 付近が膨隆する様子が観察された.

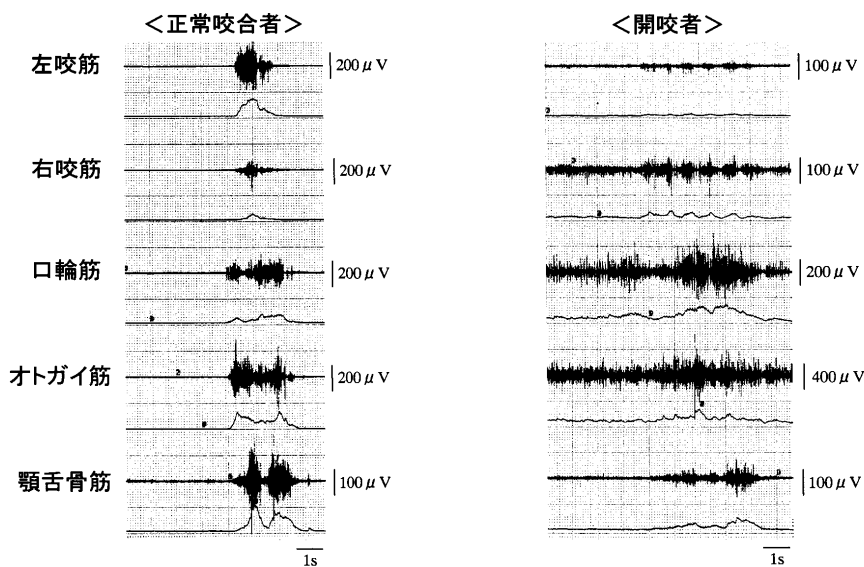


図 4 0.6%寒天試料の口腔内保持, 咀嚼および嚥下時の筋電図原波形と積分波形の代表例

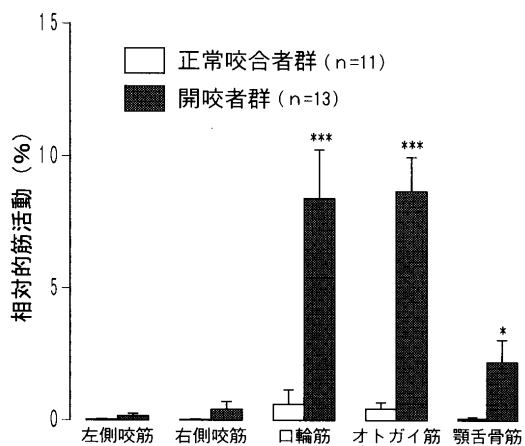


図 5 0.6%寒天試料を口腔内に保持した時の相対的筋活動の平均値および標準誤差
* : $p < 0.05$ *** : $p < 0.001$

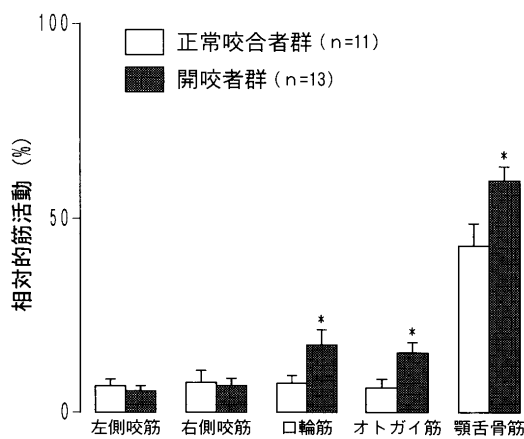


図 7 0.6%寒天試料嚥下時の相対的筋活動の平均値
* : $p < 0.05$

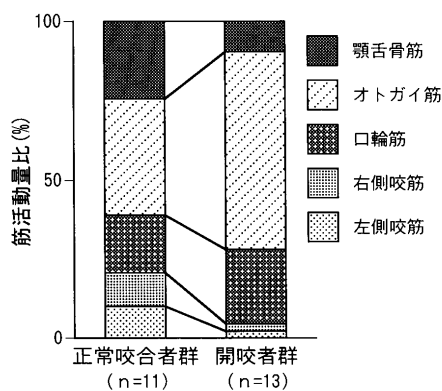
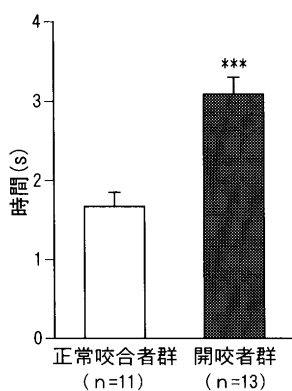


図 6 0.6%寒天試料が圧縮・粉碎され舌後方に送られる時間の平均値と標準誤差およびその期間の筋活動量比
*** : $p < 0.001$

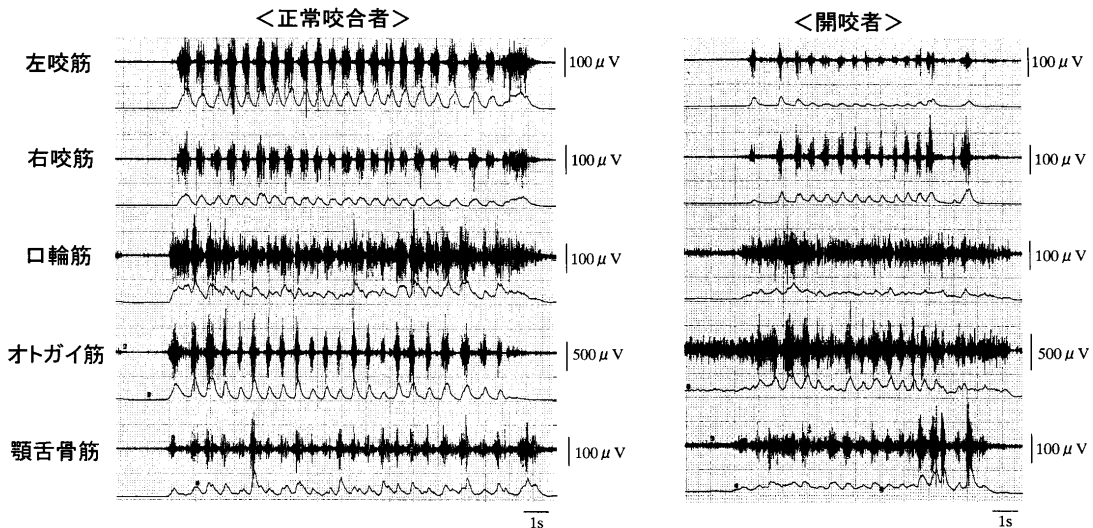


図 8 4%寒天試料の口腔内保持, 咀嚼および嚥下時の筋電図原波形と積分波形の代表例

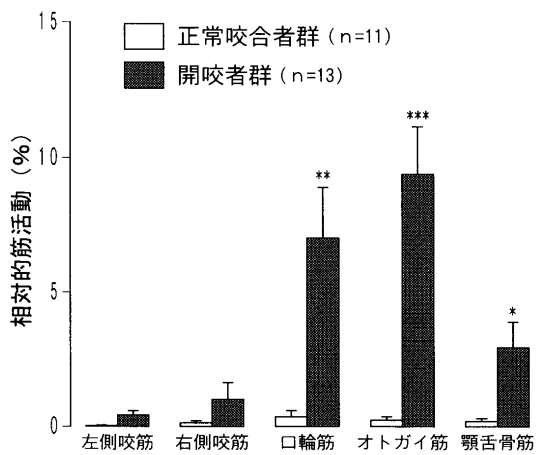


図 9 4%寒天試料を口腔内に保持した時の相対的筋活動の平均値および標準誤差
* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$ *** : $p < 0.001$

考 察

I. 研究方法について

被験者は、正常咬合者および開咬者とも年齢による成長因子や性差による影響因子を除外するために成人女性を選択した。その結果、比較的安定した値が得られた。

Arai ら¹³⁾や Takahashi ら¹⁴⁾は、日常の食生活において軟らかい半固体状のゲル食品は、舌と口蓋によって圧縮・粉碎され、食品の硬さが増すと歯による咀嚼に移行すると報告している。そこで本研究では、実際の食生活を想定して半固体状の軟らかい食品として0.6%寒天試料を、固体状の硬い食品として4%寒天試料を用いた。これら2種類の咀嚼試料は、食物からの

視覚情報によって咀嚼、嚥下時の咬筋、口腔周囲筋(口輪筋、オトガイ筋)および顎舌骨筋の筋活動に変化が生じないように同じ色で同じ形状のものを使用した。

筋電図学的に舌運動を解析する方法には、針電極を用いて舌筋内から導出する方法と表面電極を用いて舌背から導出する方法があるが両者とも食品咀嚼時の舌の微妙な知覚や運動を妨げてしまう可能性があるため、本研究では、舌骨体上の皮膚上から表面電極を用いて顎舌骨筋の筋活動を導出し口腔内の舌運動を調べた。Hryciyshyn ら¹⁵⁾は、顎舌骨筋から筋電図を導出した結果、顎舌骨筋は嚥下時の初期に活発に活動することを報告している。また、塩澤ら¹⁶⁾は舌前突時、舌による口蓋圧迫時、および嚥下時に顎舌骨筋の真上の皮膚から表面電極で導出した筋活動と舌背から導出した舌筋活動がほぼ同様の活動を示したことを報告し、顎舌骨筋の筋電図には顎舌骨筋以外の舌骨上筋や内舌筋などの筋活動が混入している可能性があると考えしている。これらのことから導出した顎舌骨筋の筋電図は、口腔内での舌の運動、特に舌を硬口蓋に押し付ける状態をきわめて良く反映すると思われる。

II. 顎顔面形態と筋活動について

過去の顎顔面形態と咀嚼筋機能についての研究によれば、開咬者の特徴的な咬筋の付着部位、筋の走行、発育程度、さらには咬合状態が咬筋の活動性の低下を引き起こすとされている²⁰⁻²³⁾。本研究では、顎顔面の形態的特徴が全く異なる正常咬合者群と開咬者群の咬筋、口輪筋、オトガイ筋および顎舌骨筋の最大筋活動時の積分筋電図最大振幅値を計測したところ、明らかに両群間の各筋の活動性に違いが認められた(表3)。これによると以前から報告されているように開咬者群では左右咬筋の活動性の低下に加え舌体および口腔底

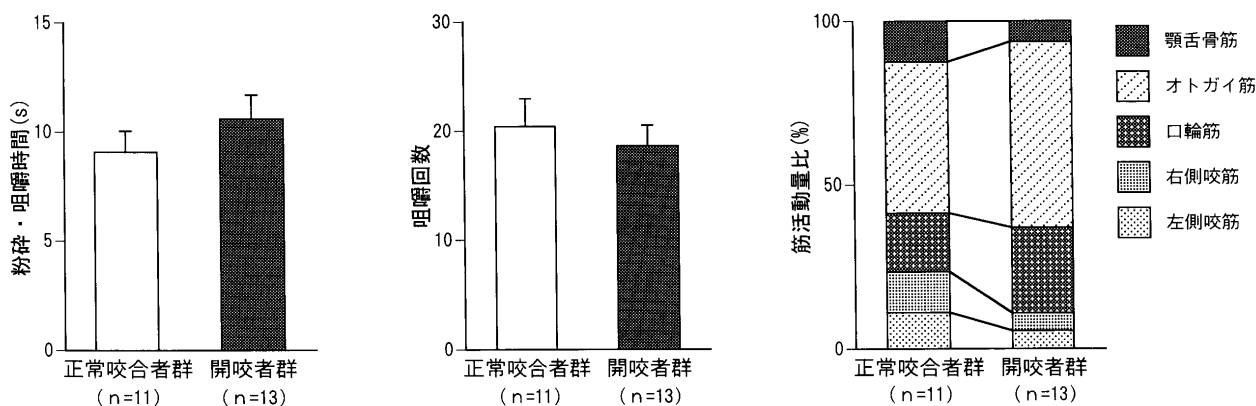


図 10 4%寒天試料咀嚼時の歯による粉碎・咀嚼時間・咀嚼回数の平均値と標準誤差およびその期間の筋活動量比

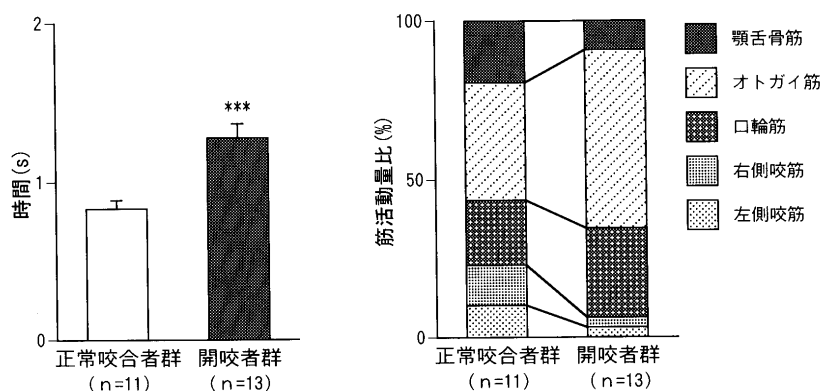


図 11 粉碎された4%寒天試料の食塊が舌により舌後方へ輸送 (Stage II transport) される時間の平均値と標準誤差およびその期間の筋活動量比

*** : p < 0.001

を引き上げる顎舌骨筋の活動性の低下も認められた。また、口腔周囲筋では口輪筋の活動性は両群間に差は認められないのに対し、開咬者群では下口唇を挙上させるオトガイ筋の活動性は高い結果が得られた。これらのことは、顎顔面形態の違いが咀嚼筋のみならず顎口腔領域のその他の筋の活動性に影響を与えることを示唆している。

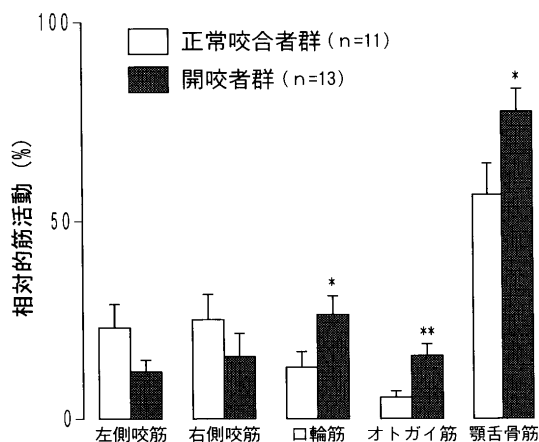


図 12 4%寒天試料嚥下時の相対的筋活動の平均値および標準誤差

* : p < 0.05 ** : p < 0.01

III. 口唇安静時および中心咬合位の筋活動について

本研究では、顎顔面形態の異常による口唇閉鎖不全の影響を排除した口唇をわずかに開いた口唇安静時に開咬者群と正常咬合者群では筋活動に違いがあるかを比較した。口唇安静時における各被験者の筋の活動パターンは安定し、再現性が高く、その結果、口唇安静時には、口輪筋の活動性に両群間に有意差は認められなかったが、オトガイ筋において開咬者群に不随性の筋活動が認められた。Baril と Moyers²⁴⁾が開咬の原因の一つである吸指癖をもつ24名(平均年齢8歳6カ月)の小児について下顎安静位の筋電図の測定を行っ

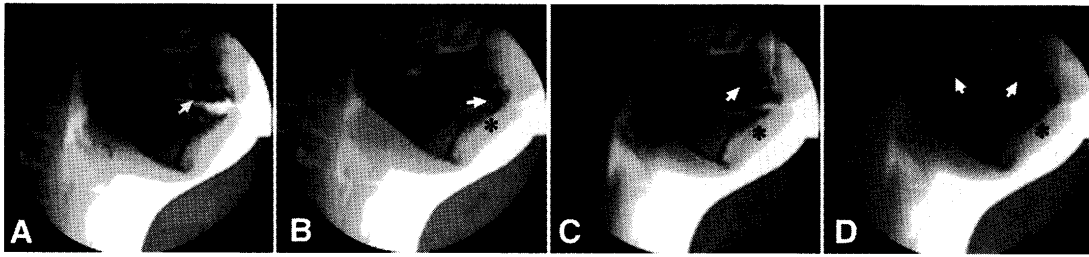


図 13 開咬者の 0.6%寒天試料の口腔内保持, 咀嚼および嚥下時の側面頭部 X 線ビデオ写真
 A : 口腔内保持時, B : 舌と口蓋による圧縮・粉碎時, C : 食塊の舌後方への運搬 (Stage II transport) 開始時, D : 1 回の嚥下では食塊を舌後方へ運搬しきれず, 食塊が固有口腔の前方と後方に分かれている。

矢印 : 0.6%寒天試料 * : オトガイ筋の膨隆

たところ 9 名にオトガイ筋の緊張が認められたと報告している。本研究では, 口唇に全く力を入れない状態にもかかわらず, 開咬者では筋電図原波形上から 13 名中 11 名に持続的な緊張亢進が認められ, このことから筋神経系の不調和が生じていることが示唆された。一般に開咬者は, 混合歯列期の頃から咀嚼, 嚥下, 発音, 呼吸時などに下口唇は絶えずオトガイ筋の収縮により上顎前歯切縁付近まで強く押し上げられ口腔の閉鎖を行う。このようなオトガイ筋の活動様式は繰り返し習得されることにより筋活動が定着すると思われる。そのため本研究の成人開咬者では, Baril と Moyers²⁴⁾が報告した小児に比べオトガイ筋の持続性の緊張亢進がよりいっそう強く引き起こされている可能性が考えられる。このような静的状態における筋の持続的な緊張亢進は, 神経生理学的には, おもに γ 型の緊張亢進(筋肉の伸展受容器である筋紡錘の錘内筋を支配する γ 運動ニューロンの興奮が高まる)が関係するといわれている^{26,27)}。現在までにヒトのオトガイ筋に筋紡錘が分布しているか否かの詳細な報告は見当たらないが, 仮にオトガイ筋に筋紡錘が存在しているとすると慢性的なオトガイ筋の伸張によって錘内筋を支配する γ 運動神経の興奮が亢進するような反射経路が形成されることが考えられる。筋紡錘が存在していないとすると, 口唇閉鎖のたびに下口唇が挙上されることによってオトガイ部周辺の三叉神経感覚枝末端に持続的な機械的刺激が加わり, そこからの求心性信号によって顔面神経運動ニューロンの興奮が反射的に高まっていることが考えられる²⁸⁾。一方, 筋の力学的特性やエネルギー代謝の特性は, 運動負荷により著しく変化すると報告されおり^{29,30)}。特に閉口筋は, 通常より活発に筋活動が行われている場合や顎反射の障害や不適合義歯などで咀嚼機能が十分に行われない場合にはタイプ I 線維が増加する³¹⁾といわれている。このことから開咬者の持続的な筋活動を示すオトガイ筋は, 機能的負担に対する順応現象として組織化学的に難疲労性の変化が生じている可能性が考えられる。

次に口唇安静時から口唇を閉じ中心咬合位の状態をとらせると, 開咬者群ではオトガイ筋がより活発に活動するのに加え, 口唇安静時にはほとんど活動が認められなかった口輪筋の活動が認められた。このことは, Itsuki⁸⁾が開咬者では下顎の後方回転, 開大した gonial angle, 上顎前歯の唇側傾斜, 小さな interincisal angle, 大きな overjet, マイナスの overbite などの形態的特徴と口輪筋およびオトガイ筋の筋活動と相関があったと報告しているように, 開咬者特有の顎顔面形態により口唇閉鎖が困難であることに原因があると思われる。また, ともに口唇閉鎖に関与する口輪筋とオトガイ筋であるが口唇安静時および中心咬合位での活動性の違いは, 上唇部から EMG を導出した口輪筋とオトガイ筋の機能的な違いを示しているとも考えられる。

IV. 0.6%および4%寒天試料の口腔内保持時の筋活動について

0.6%および4%寒天試料をそれぞれ口腔内に保持したとき, 正常咬合者群では各筋の筋活動がほとんど認められないのに対して開咬者群では口輪筋, オトガイ筋および顎舌骨筋が有意に大きい活動を示した。この開咬者群の口輪筋およびオトガイ筋の活発な筋活動は口唇閉鎖によって生じたものと考えられる。一方, 寒天試料の口腔内保持時のような開口量が少ない場合の顎舌骨筋の EMG には, 口腔内の舌筋活動が反映していると思われる¹⁶⁾。また, 口腔内に液体を保持しておき指示に従い嚥下する場合に口腔底に保持するタイプと舌背上に保持するタイプとがある³²⁾と報告があることから正常咬合者と開咬者では食品を口腔内に保持する位置やその時の舌位にも違いがあり, このことが顎舌骨筋の筋活動の差として表れたのではないかと推察される。

V. 0.6%および4%寒天試料の咀嚼時の筋活動について

日常の食生活では0.6%寒天試料のような軟らかい半固体状の食品は、歯による咀嚼は行われず舌と口蓋で圧縮・粉碎され舌後方へ運ばれる^{13,14)}。この所要時間が開咬者群では、正常咬合者群に比べ有意に延長する傾向が認められ、この際、開咬者群の咬筋や顎舌骨筋の筋活動の割合は低いのにに対し口腔周囲筋の活動、特にオトガイ筋の活発な活動が認められた。Arai¹³⁾は、口腔機能に異常のない被験者は軟らかな食品の圧縮・粉碎を口蓋鄰嚥部付近で行ったことを報告しているが、現在までに開咬者の軟らかな食品の咀嚼様式について報告はなく、今回実際 X 線ビデオ映像で開咬者の0.6%寒天試料咀嚼動作を観察すると開咬者は上顎前歯舌側面付近で圧縮・粉碎を行っている様子が確認された。通常、舌を口蓋に強く押し付け0.6%寒天試料を圧縮・粉碎するためには閉口し顎位を安定させる必要があるが³³⁾、咬合が不安定な開咬者は舌の舌尖部や舌縁部を開咬部に挿入することにより顎の安定をはかるといわれている³⁴⁾。そのため、開咬者は半固体状の食品を圧縮・粉碎時に顎位を安定させるための舌の突出動作と舌の挙上動作を同時に行っていると考えられる。また、開咬者の上顎歯列弓の狭窄傾向や舌の運動性の低下も口蓋に対して舌を力強く挙上することを妨げていると思われる^{35,36)}。筋電図原波形からは、正常咬合者では1回もしくは2回の力強い舌による圧縮・粉碎を反映する顎舌骨筋の活動が認められるのに対して、開咬者では数回にわたる弱い圧縮・粉碎を示す筋活動が確認された。これらのことから X 線ビデオ写真で示されたように開咬者は正常咬合者より明らかに前方の開咬部に近い上顎前歯舌側面付近で食品の圧縮・粉碎を行うために効率は悪く、さらに固有口腔の前方で形成された食塊を後方に輸送するために正常咬合者に比べ時間が延長すると考えられる。また、圧縮・粉碎によって食品が開咬部から口腔前庭に漏れ出すのを防ぐため口腔周囲筋を強く収縮させ口唇を閉鎖していることが推測される。

次に4%寒天試料の歯による粉碎・咀嚼時間と咀嚼回数を正常咬合者群と開咬者群とで比較したが両群間に有意差は認められなかった。一般的に開咬者は前歯部のみならず側方歯部の均等な上下接触関係も失われており正常咬合者に比べ咀嚼の能率が低いことが予想される³⁷⁾。Yurkstas³⁸⁾らは、咀嚼能率の高い被験者は咀嚼能率の低い被験者より嚥下するまでに食物をより小さな粒子に粉碎し、逆に咀嚼能率の低い被験者は不十分な咀嚼を補うために咀嚼回数を増加させることなく大きい粒子のまま嚥下することを報告している。このことから本研究の結果は、開咬者の咀嚼機能の低下に対する順応もしくは代償作用として嚥下直前の嚥下

閾が正常咬合者と異なっている可能性があることを示唆している。一方、津留³⁹⁾らは正常咬合者8名における食品咀嚼時の咀嚼筋活動の筋電図の記録を行った結果、個人の持つ咀嚼習慣はきわめて安定しているものの個人差があると述べている。また、Horio⁴⁰⁾らは、顎口腔機能に異常がみられない被験者のなかにも食品の粉碎の程度ではなくある回数咀嚼することによって嚥下中枢が刺激され嚥下が引き起こされる者がいることを報告している。おそらく本研究での被験者間でも咀嚼習慣や嚥下習慣は個人差が大きく、このことも正常咬合者群と開咬者群の間に有意差が認められなかった理由の一因であると思われる。

Thexton¹⁾や Hiimae²⁾らが述べている粉碎された食塊が舌により舌後方へ輸送される (Stage II transport) 期間は、0.6%寒天試料の咀嚼時には圧縮・粉碎と舌後方への送り込みがほぼ同時に行われているため筋電図原波形から Stage II transport を判断することは困難である。しかし、4%寒天試料では多くの者が嚥下可能なまでに粉碎してからその食塊を舌により舌後方へ輸送するので、筋電図原波形上で歯による最終咀嚼を示す咬筋の活動終了時から嚥下を示す顎舌骨筋の活動開始までが Stage II transport に相当するものと思われる^{1,2)}。本研究でこの所要時間を比較した結果、開咬者群では有意に延長する傾向が認められた。このことは、開咬者は嚥下直前の食塊形成時に口腔内に広がった食塊を舌ですくい上げ舌背に集めようとしても前方および側方が開咬状態であるため食塊が口腔前庭に漏れたり、舌が開咬部に突出してしまい正常咬合者と比較して食塊形成の効率が悪いためであると思われる。実際に開咬者の0.6%寒天試料咀嚼時の Stage II transport に相当する X 線ビデオ写真で固有口腔前部に形成された食塊を舌ですくい上げ後方に運ぼうとするが一度ではできずに何度か同じ動作を繰り返す様子が観察された。本研究で観察された開咬者の食塊形成や食塊運搬能の低下があったという知見は、加齢により歯の欠損や舌および咀嚼筋などの筋力の低下した高齢者にも認められる^{41,42)}ことから嚥下直前の舌運動および食塊運搬能は歯や筋機能の協調性と密接な関係があると思われる。

VI. 0.6%および4%寒天試料の嚥下について

本研究では、半固体状および固体状の2種類の寒天試料嚥下時に咬筋の筋活動は開咬者群と正常咬合者群の間に差は認められなかったが、口腔周囲筋(口輪筋、オトガイ筋)および顎舌骨筋では開咬者群が活発な筋活動を示した。過去の報告によれば、開咬者は正常咬合者に比べ液体嚥下時に咬筋の筋活動は低く、上下口唇、オトガイ筋、および舌骨上筋群の筋活動が活発であるとされている^{11,12)}。これら多くの研究は、筋活動を

最大振幅値(絶対値)の大きさで評価しているが、Itsuki⁸⁾は、水嚙下時の開咬者の筋活動を本研究と同様に相対的筋活動で評価し、開咬者は舌筋、口腔周囲筋(口輪筋、オトガイ筋)ばかりでなく咬筋も活動させ嚙下を行っていたと報告している。通常、正常嚙下では嚙下時に舌骨および喉頭を前上方に挙上するため下顎骨が固定されてから、舌の後方への運動と硬口蓋に向けての挙上により食塊は咽頭に圧出されるが、開咬者は嚙下時に下顎の顎位の安定や正常咬合者と同程度の嚙下圧形成のために開咬部へ舌を挿入させる代償的な運動を行うといわれている^{34,43)}。秋吉ら³⁶⁾は、開咬を引き起こす要因の一つである舌小帯癒着を有する不正咬合者の嚙下時の舌運動について口蓋正中後部での舌と口蓋の接触様相は多様性に富み、舌背後方部の挙上量が少ないと報告している。また、大西³⁵⁾は、小児開咬患者の嚙下時の舌運動は正常咬合者群より緩慢であったと報告していることから、開咬者は嚙下時の舌の機能や運動性および口蓋との接触様相は正常咬合者よりも劣っており、舌は強力かつ速い動きで食塊を咽頭に圧出できないと考えられる。そのため舌を前方へ突出させる動作は、舌根部を前下方に移動させることにより咽頭部を開き食塊を咽頭に送り込む代償的な動作ととらえることも可能ではないだろうか。本研究で導出した顎舌骨筋の活発な筋活動は、このような力強い舌の前方への突出動作に関与する舌骨上筋や内舌筋などの筋活動を反映しているものと思われる。

本研究の結果から、顎顔面形態および歯槽部の不正を伴う開咬者は、日常生活における咀嚼、嚙下時の口腔周囲筋の活動(代償性もしくは順応性の筋機能)のみならずその咀嚼様式が正常咬合者と大きく異なっていることが示唆された。開咬患者と顎口腔機能の関連性について Subtelny^{4,5)}、Tulley⁶⁾、Massengill ら⁷⁾は、矯正治療を受けた開咬患者の多くが新しい環境に順応するような舌運動を示したと報告している。一方、Straub⁴⁴⁾は開咬患者の異常嚙下癖が矯正治療終了時まで改善されていなければ、それは前歯部の後戻りを引き起こす原因となると述べている。また、近年成人の神経系には適応的可塑性があり摂食行動などは周囲の環境変化に経時的に変容する可能性があるといわれている⁴⁵⁾。これらのことから咬合や形態の不調和の改善は、より正常な咀嚼、嚙下機能の獲得をもたらす可能性を示すものであり、また正常な咀嚼、嚙下機能の確立こそが矯正治療後の咬合の安定性をもたらす第一歩であるかもしれない。そのためにも、開咬者の矯正治療後の安静時や咀嚼、嚙下時の正常機能の獲得を客観的に判断することは重要であると思われる。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました鶴見大学歯学部矯正学教室・桑原洋助教授なら

び研究の細部にわたり数多くのご指導いただきました本学歯学部生理学教室・柳澤慧二教授、塩澤光一博士に深甚なる感謝の意を表します。さらに被験者としてご協力いただきました方々に心よりお礼申し上げます。

なお、本論文の要旨は第57回日本矯正歯科学会(1998・仙台)および第58回日本矯正歯科学会(1999・広島)にて発表した。

文 献

- 1) Thexton, A. J. : Mastication and swallowing : an overview, *Br Dent J* 173 : 197-206, 1992.
- 2) Hiiemae, K. M., Heath, M. R., Heath, G. *et al* : Natural bites, food consistency and feeding behavior in man, *Arch Oral Biol* 41 : 175-189, 1996.
- 3) 金子芳洋, 編 : 食べる機能の障害, 第1版, 東京, 1987, 医歯薬出版, 43-61.
- 4) Subtelny, J. D. : Examination of current philosophies associated with swallowing behavior, *Am J Orthod* 51 : 161-182, 1965.
- 5) Subtelny, J. D. : Malocclusion, orthodontic corrections and orofacial muscle adaptation, *Angle Orthod* 40 : 170-201, 1970.
- 6) Tulley, W. J. : Cineradiographic studies of tongue behavior, *Dent Practit* 10 : 135-138, 1980.
- 7) Massengill, R., Robinson, M. and Quinn, G. : Cinefluorographic analysis of tongue thrusting, *Am J Orthod* 61 : 402-406, 1972.
- 8) Itsuki, Y. : Functional differences in tongue, perioral and masseter muscle activities during swallowing in normal and open bite subjects, *J Jpn Orthod Soc* 55 : 461-476, 1996.
- 9) Kydd, W. J., Akamine, J. S., Mendel, R. A. and Kraus, B. S. : Tongue and lip forces exerted during deglutition in subjects with and without an anterior open bite, *J Dent Res* 42 : 858-866, 1963.
- 10) Lowe, A. A., Gurza, S. C and Sessle, B. J. : Regulation of genioglossus and masseter muscle activity in man, *Arch Oral Biol* 22 : 579-584, 1977.
- 11) Tulley, W. J. : Methods of recording patterns of behavior of the oro-facial muscles using the electromyograph, *Dent Rec* 73 : 741-748, 1953.
- 12) Perry, J. H. T. : Muscle contraction patterns in swallowing, *Angle Orthod* 42 : 66-80, 1972.
- 13) Arai, E. and Yamada, Y. : Effect of texture of food on the masticatory process, *Jpn J Oral*

- Biol 35 : 312-322, 1993.
- 14) Takahashi, J. and Nakazawa, F. : Palatal pressure patterns of gelatin gels in mouth, *J Texture Stud* 22 : 1-11, 1991.
 - 15) Hryciyshyn, A. W. and Basmajian, J. V. : Electromyography of the oral stage of swallowing in man, *Am J Anat* 133 : 333-340, 1972.
 - 16) 塩沢光一, 神山かおる, 柳沢慧二 : 口腔内での舌による微細な球状試料の知覚と運搬について, *日咀嚼誌* 3 : 51-56, 1993.
 - 17) Lehr, R. P., Blanton, P. L. and Biggs, N. L. : An electromyographic study of the mylohyoid muscle, *Anat Rec* 169 : 651-660, 1971.
 - 18) Yoshida, K., Takada, K., Adachi, S. and Sakuda, M. : EMG approach to assessing tongue activity using miniature surface electrodes, *J Dent Res* 61 : 1148-1152, 1982.
 - 19) アルバラード・ラリナガ・グアダルーベ, 濱田 貫, 西田文彦, 西野瑞穂 : 成長発達に伴う咀嚼筋の筋活動量ならびに咀嚼リズムの変化に関する研究, *小児歯誌* 27 : 895-906, 1989.
 - 20) Sassouni, V. and Nanda, S. K. : Analysis of dentofacial vertical proportion, *Am J Orthod* 50 : 801-823, 1964.
 - 21) Proctor, A. D. and DeVincenzo, J. P. : Masseter muscle position relative to dentofacial form, *Angle Orthod* 40 : 37-44, 1970.
 - 22) 原 省司 : 咬合接触部位の相違による咀嚼筋活動の変化, *日矯歯誌* 47 : 175-185, 1988.
 - 23) Proffit, W. R., Fields, H. W. and Nixon, W. L. : Occlusal forces in normal- and long-face adults, *J Dent Res* 62 : 566-570, 1983.
 - 24) Baril, C. and Moyers, R. E. : An electromyographic analysis of the temporalis muscles and certain facial muscles in thumb and finger-sucking patients, *J Dent Res* 39 : 536-553, 1960.
 - 25) 榎 恵 : 歯科矯正学, 第2版, 東京, 1986, 医歯薬出版, 61-66.
 - 26) 船越正也 : 病態口腔生理学, 第1版, 東京, 1990, 学建書院, 45-60.
 - 27) Kubota, K. and Masegi, T. : Muscle spindle supply to the human jaw muscle, *J Dent Res* 56 : 901-909, 1977.
 - 28) 中村嘉男 : 咀嚼運動の生理学, 第1版, 東京, 1998, 医歯薬出版, 32-58.
 - 29) Swynghedauw, B. : Developmental and functional adaptation of contractile proteins in cardiac and skeletal muscles, *Physiol Rev* 66 : 710-771, 1986.
 - 30) 森谷敏夫 : 運動と生体諸機能 適応と可逆性, 第1版, 東京, 1999, ナップ, 57-89.
 - 31) 森本俊文 : 顎運動の生理; 石岡 靖, 小林義典, 長谷川成夫, 他 : 顎口腔機能分析の基礎とその応用, 第1版, 東京, 1991, デンタルダイヤモンド社, 26-35.
 - 32) Dodds, W. J., Taylor, A. J., Stewart, E. T., *et al* : Tipper and Dipper Types of Oral Swallows, *AJR*, 153 : 1197-1199, 1989.
 - 33) 金子芳洋, 千野直一, 監修 : 摂食・嚥下リハビリテーション, 第1版, 東京, 1998, 医歯薬出版, 67-72.
 - 34) 金子芳洋, 編 : 食べる機能の障害, 第1版, 東京, 1987, 医歯薬出版, 73-85.
 - 35) 大西暢子 : 開咬を持つ小児の嚥下時の舌運動と口腔内圧に関する研究, *小児歯誌* 31 : 837-849, 1993.
 - 36) 秋吉正敏, 鈴木聖一, 川村雅俊, 他 : 嚥下時舌運動および舌と口蓋との接触様相に関する研究, *日矯歯誌* 54 : 102-111, 1995.
 - 37) 中島昭彦 : 咀嚼機能に関与する二, 三の生理学的要因の分析, *九州歯会誌* 30 : 20-36, 1976.
 - 38) Yurkstas, A. A. : The masticatory act, *J Prosthet Dent* 15 : 248-260, 1965.
 - 39) 津留宏道, 広田賢徳, 丸山剛郎, 他 : 各種食品咀嚼時における咀嚼筋活動の筋電図学的研究, *日本補綴誌* 10 : 63-72, 1966.
 - 40) Horio, T. and Kawamura, Y. : Effects of texture of food on chewing patterns in the human subject, *J Oral Rehabil* 16 : 177-183, 1989.
 - 41) Sheth, N. and Diner, W. C. : Swallowing problems in the elderly, *Dysphagia* 2 : 209-215, 1988.
 - 42) Tracy, J. F., Logemann, J. A., Kahrilas, P. J., *et al* : Preliminary observation on the effects of age on oropharyngeal deglutition, *Dysphagia* 4 : 90-94, 1989.
 - 43) 丸山陽市 : 舌圧と口腔内気圧による嚥下時の舌運動の解析, *九州歯会誌* 38 : 192-214, 1984.
 - 44) Straub, W. J. : Malfunction of the tongue, *Am J Orthod* 46 : 404-424, 1960.
 - 45) Groher, M. E : 嚥下障害(藤島一郎監訳), 第3版, 東京, 1998, 医歯薬出版, 7-28.

主 任 : 桑原洋助 教授 2000年4月10日受付

連絡先 : 倉島茂樹
 鶴見大学歯学部矯正学講座
 〒230-8501 横浜市鶴見区鶴見2-1-3