原 著 論 文

咀嚼機能評価のための米飯咀嚼に関する研究

今井 敦子

A Study on the Mastication of Steamed Rice for Evaluation of Masticatory Function

Atsuko Imai

Abstract : The purpose of the present study was to investigate mastication of steamed rice as the end point for evaluation of masticatory function. Tongue motion was simultaneously recorded with the mandibular movement and EMGs of anterior and posterior temporal and masseter muscles. Observations of masticatory function were the recording of tongue motion with B-mode ultrasonographic image in the median sagittal plane of the mandible, the relationship between tongue and mandible motions and the cooperation of tongue and mandible motions and EMGs of masticatory muscles.

Traces showed two phases, the sorting out (SO) and bolus formation (BF) phases, observed during mastication. Efficient masticatory function corresponded with the change of food texture in the progress of mastication. Their motion and the EMGs were changed according to the patterns and rhythms and automatically regulated. The function enabled evaluation by recognition of SO and BF phases during mastication of steamed rice.

Key words : mastication, tongue movement, steamed rice, end point

I. 緒 言

顎口腔系の機能のなかでも咀嚼は、生命維持に必要なエネルギー供給源としての消化活動の第一歩である¹⁾。

この咀嚼機能を臨床において評価する際に、これまで、被験食品としてガム、ピーナッツ、グミなどが用いられてきた。しかしながら、これらの食品は、嚥下を行わない点、嗜好性および摂食頻度に個人差が大きい点などの問題を持っている。

ところが、米飯は日本人の主食であり、年齢を問わず嗜好性、摂食頻度とも高い食品²⁾であり、機能評価時において摂食から嚥下に至るまで最も日常に近い咀嚼が発揮される。しかも食品テクスチャーも安定しており、被験食品と

しての適性が非常に高い^{3~5)}。

したがって、著者は補綴咬合治療によって咀嚼機能が回復、向上が図られたか否かを評価するうえで、「米飯を咀嚼できる」ことがエンドポイント⁶⁾、つまり評価する項目になるものと考えた。

ところで、咀嚼は単に歯、咀嚼筋、顎関節のみならず、舌や頬などの口腔周囲組織の協調も加わった総合的な活動によって初めて行われる複雑な運動^{1,7~9)}である。著者ら¹⁰⁾は、硬さの異なる米飯の咀嚼を観察したところ、上下顎歯で噛み舌が補助的な役割を担っている場合と、舌が口蓋とで圧縮して主体的な役割を果たす場合とがあること、また、日常、口にする食品の多くにおいて、舌が補助的な役割を担う咀嚼がみられることを明らかにしてきた。

そこで本研究では、舌が補助的な役割を担う咀嚼に注目して、その基礎的研究として、健康者において咀嚼筋筋活動、下顎運動、そして舌運動の同時記録から米飯咀嚼時の機能状態を把握することを目的とした。

大阪歯科大学大学院歯学研究科歯科補綴学専攻（指導：川添堯彬教授）

Osaka Dental University, Graduate School, Major in Prosthodontics (Director : Prof. Takayoshi Kawazoe)

平成9年10月1日受付

II. 研究方法

1. 被験者および被験食品について

被験者は、顎口腔系に自覚的、他覚的に異常を認めない健康有歯顎者 12 名 (22 歳～31 歳, 平均年齢 26.2 歳) を選び、被験食品として米飯を選択した。被験米として魚沼産コシヒカリ 4 合 (571.4 g) を用い、一定条件で洗米した後、恒温槽 (ISUZU, ウォーターバス MW-11 S) を用いて 30°C に設定した水 (volvic) 857 cc にて IH 炊飯ジャー (NEC, NKJ-10 CIH) を用い炊飯した²⁾。まず、内径 24 mm, 深さ 4 mm のカップに米飯 15 g を詰め、その後 5 g を除去し、かまぼこ型になるように形状を整えた。つまり、米飯の被験量を 10 g とし、各被験者ごとに 10 g の米飯を自由に咀嚼させ、咀嚼開始から最終嚥下までの記録を行った。

2. 舌運動, 下顎運動および筋電位の測定

1) 舌運動の測定

舌運動の観察には、東芝社製超音波診断装置 SSA-250 A および身体接触部 56×15 mm, 中心周波数 7.0 MHz の電子コンベックスプローブ (PVF-738 F) を用いた。記録に際しては、各被験者に安静座位の姿勢をとらせ、フランクフルト平面が可及的に床と平行になるようにした。

安静状態でオトガイ下部正中中部皮膚表面を確認した後、プローブを伸縮性テープを用いて貼付した。画面上で、左右第一大臼歯を結んだ線上の舌背部にカーソルの位置を設定し、B モードおよび M モード像を描出し、VTR (SONY, CVD-1000) に下顎運動垂直成分とともに記録保存した。また同時にラインスキャンレコーダ (東芝, LSR-100 A) により再生した。

2) 下顎運動および筋電位の計測

下顎運動は、マンディブラーキネジオグラフ (Myo-tronics, MKG-K 6) を用いて、切歯点の運動軌跡として記録した。咀嚼筋筋電位の記録は、直径 5 mm の銀塩化皿状表面電極 (日本光電, NT-611 U) を中心間距離 20 mm で可及的に筋線維の走行に平行となるように左右側の咬筋中央部 (Mm), 側頭筋前部 (Ta) および後部 (Tp) に粘着カラーで貼付し、双極誘導にて行った。なお、時定数を 0.03 秒, 高域遮断周波数を 1 kHz とし、接地電極を耳朶においた。下顎運動および筋電位の記録は、データレコーダ (TEAC, XR-510) に同時に収録し、データの再生にはサーマルアレイレコーダ (日本光電, WS-682 G) を用いた。

3. 舌運動, 下顎運動および筋電位の解析

摂食から嚥下までを対象とし、舌運動の M モード像の肉眼的観察から、上下の移動幅が小さく、不規則な食品選別

図 1 A typical BF and SO phases of M-mode in the median sagittal plane of mandible
矢状断Mモード像における SO 相および BF 相

相 (SO 相) と上下の移動幅が大きく安定したストロークを示す食塊形成相 (BF 相) の 2 相に分けた (図 1)。その後、各実験ごとにストロークを選び出し¹⁾検討を行った。

1) 矢状面断 B モード舌運動の解析

正中矢状断における舌運動軌跡の B モード画像を 14 フレーム/秒でラインスキャンレコーダ (東芝, LSR-100 A) により再生した。SO 相では最初の咬みしめ直後の 1 ストロークを、BF 相からは、嚥下様運動直前の 1 ストロークを選び出し、1 ストローク中における舌の運動様相を観察した。

2) 下顎運動および舌運動の関連についての解析

SO 相では最初の咬みしめ直後の 5 ストロークを、BF 相からは嚥下様運動直前の 5 ストロークを選択した。こねまわしなどのストロークを可及的に除外した連続する 5 ストロークとした。

下顎運動および舌運動における時間的パラメータとして、1. 下顎運動サイクルタイム, 2. 舌運動サイクルタイム, 3. 開口相時間, 4. 咬合相時間, 5. 閉口相時間について、また各ストロークにおける舌運動と下顎運動の時間差に関するパラメータとして、6. 舌運動最下点と開口相開始点との時間差, 7. 舌運動最下点と咬合相開始点との時間差, 8. 舌運動最下点と閉口相開始点との時間差を選択した (図 2)。なお、各測定点の測定にはデジタルノギス (NSK, 951-101 MAX-15 P) を用いた。

3) 舌運動, 下顎運動および咀嚼筋活動の協調性についての解析

各測定期間におけるデータの解析区間は、SO 相では最初の咬みしめ直後の 5 ストロークを、BF 相からは嚥下様運動直前の 5 ストロークを選択した。すべて連続する 5 ストロークとし、こねまわしなどのストロークは、可及的に除外した。

舌運動軌跡をタブレット (Hewlett packard, 46088

図2 Measurement parameters of tongue and mandibular movements

1. Cycle duration of mandibular movements, 2. Cycle duration of tongue movement, 3. Duration of opening phase of mandibular movement, 4. Duration of occlusal phase of mandibular movement, 5. Duration of closing phase of mandibular movement, 6. Time lag between lowest points of tongue stroke and beginning points of opening stroke, 7. Time lag between lowest points of tongue stroke and beginning points of occlusal stroke, 8. Time lag between lowest points of tongue stroke and beginning points of closing stroke

舌運動ならびに下顎運動の計測パラメータ

舌および下顎運動における時間的パラメータとして、

1. 下顎運動サイクルタイム, 2. 舌運動サイクルタイム, 3. 開口相時間, 4. 咬合相時間, 5. 閉口相時間について、また各ストロークにおける舌運動と下顎運動の時間差に関するパラメータとして、6. 舌運動最下点と開口相開始点との時間差, 7. 舌運動最下点と咬合相開始点との時間差, 8. 舌運動最下点と閉口相開始点との時間差

B) を用いて、15 秒ごとにサンプリング周波数 2 kHz に相当する頻度で量子化した。下顎運動および筋電位信号は、A/D コンバータ (SDS, DASBOX-8400 A) にて同様に量子化し、舌運動とともにハードディスク (Hewlett packard, HP Series 9000 Model 382) ならびに光磁気ディスク (Hewlett packard, HP Series 6300 Model 650/A) に格納した。最大開口から最大閉口までを 1 ストロークとし、筋電位信号を最小二乗誤差規範に基づいた 2 次、3 次多項式適合による移動平均法にて RMS 値に変換し、それぞれの運動軌跡および RMS 値を、前後 150 ポイントの加重移動平均法で平滑化処理した。また、各ストロークあたりのサンプル数を 300 ポイントのデータ系列にそろえて正規化し、個々のストロークを加算平均処理した^{4,5,12)}。

舌運動最下点、下顎運動垂直成分の咬合相開始点、および各咀嚼筋活動ピークを用いて、舌運動、下顎運動および咀嚼筋活動の協調様相を観察した (図 3)。

4. 統計処理について

各被験者ごとに得られた計測値の統計学的検定には、対応のある 2 群間の検定を使用した。なお、検定の有意水準

図3 Measurement parameters of functional cooperation of tongue and mandibular motion, and EMGs of masticatory muscles

舌運動、下顎運動および咀嚼筋活動の協調様相に関する計測パラメータ

は危険率 5% に設定した。

III. 結 果

1. 矢状面断 B モード舌運動像の解析

図 4 に、被験者 1 における矢状面断 B モード像での舌運動様相の一例として、SO 相での舌運動様相を示す。開口開始時、舌の前部に食塊がみられる。最大開口に向け、前部はオトガイ下部方向へ向かう。閉口相に移行すると前部はさらにオトガイ下部方向へ、中央部は口蓋方向へと移動する。咬合相に移行すると、前部、中央部は口蓋方向へ向かう。

図 5 に、同被験者における BF 相での舌運動様相を示す。開口と同時に前部は口蓋方向へ、中央部、後方部はオトガイ下部方向に平らな形態となる。食塊は、中央部にみられる。最大開口から閉口の開始とともに前部はさらに口蓋方向へ、後部はオトガイ下部方向に移動する。咬合相にはいると前部は、オトガイ下部方向へ、中央部は口蓋方向へと向かう。

この超音波による矢状面断 B モード像により観察された咀嚼運動時の舌の運動様相は、12 名の被験者全員について、ほぼ同様に認められた。

2. 下顎運動および舌運動の関連についての解析

図 6 に下顎運動および舌運動サイクルタイム、図 7 に開口相、咬合相、閉口相時間の SO 相、および BF 相における平均値、標準偏差および両相間における平均値の差の検定結果を示した。さらに、図 8 に舌運動最下点と開口相、咬合相、閉口相各開始点との時間差の SO 相、および BF 相における平均値、標準偏差および両相間における平均値の差の検定結果を示した。下顎運動サイクルタイムの平均値は、BF 相 (264.7 msec) では、SO 相 (299.8 msec)

図 4 Tongue movements during SO-phase
SO 相における舌運動様相 (被験者 1)

よりも短縮し、2 相間に有意差が認められた。舌運動サイクルタイムの平均値は、同様に SO 相 (298.9 msec), BF 相 (286.9 msec) で短縮傾向にあり、2 相間に有意差は認められなかった。

開口相および閉口相時間の平均値は、SO 相ではそれぞれ 121.1 msec, 93.7 msec であったが、BF 相ではそれぞれ 107.0 msec, 88.9 msec で短縮傾向にあり、2 相間に有意差は認められなかった。BF 相での咬合相時間の平均値は 101.6 msec であり、SO 相の平均値 87.8 msec よりも延長傾向にあり、2 相間に有意差が認められた。

舌運動最下点-開口相開始点との時間差の平均値は、BF 相 (74.7 msec) では SO 相 (76.8 msec) よりもわずかに短縮傾向にあり、2 相間に有意差は認められなかった。舌運動最下点-咬合相開始点との時間差の平均値は、BF 相 (28.3 msec) では SO 相 (-0.198 msec) よりも延長傾向にあり、2 相間に有意差が認められた。舌運動最下点-閉口相開始点との時間差の平均値は、BF 相 (99.4 msec) では SO 相 (117.5 msec) よりも延長傾向にあり、2 相間

に有意差が認められた。

3. 舌運動、下顎運動および咀嚼筋活動の協調性についての解析

舌運動、下顎運動および咀嚼筋活動の各アベレージ正規化包絡線を用い、1 ストロークを 100% としたときの舌運動最下点および各筋活動ピークの協調様相の全被験者の結果を図 9 に示す。SO 相では、舌運動最下点は咬合相開始と同時にあった。しかしながら、各筋活動ピークは、それよりもかなりはやい時点であった。BF 相では、咬合開始と同時に各筋活動はピークに達し、舌運動最下点も同時であることが明らかとなった。

さらに、SO 相と BF 相の 2 相間には有意差が認められ、協調様相の違いが明らかとなった。

図 5 Tongue movements during BF-phase
BF相における舌運動様相 (被験者1)

図 6 Cycle duration of mandibular and tongue movements
全被験者における下顎および舌運動サイクルタイム

IV. 考 察

咀嚼は、顎口腔の諸器官や筋神経系による合目的な運動であり、意識的にも反射的にも動作しうる^{1,7-9)}。ゆえ

に、この多機能器官によって遂行される咀嚼をできるだけ多くの生体信号の同時記録により解明することが必要であると考えられる。力丸ら¹³⁾は、ポジトロンCTを用いてガム咀嚼時における咀嚼筋および舌筋活動の画像解析を行い、咀嚼時中における舌の動きが非常に高いことを報告している。また、下顎を他動的に押し上げると側頭筋の求心性入力によって外舌筋であるオトガイ舌筋と茎突舌筋に筋活動が誘発される舌と下顎との協調反射¹⁴⁻¹⁶⁾についても報告されている。したがって、舌は咀嚼と密接に関連しており機能的にも協調運動を支えていると考えられる。

そこで今回、下顎運動および咀嚼筋活動の観察に舌運動を加え、矢状面断Bモード舌運動像、舌運動と下顎運動との関連、舌運動、下顎運動および咀嚼筋活動の協調から、健常者における米飯咀嚼時の運動を分析、検討した。

1. エンドポイントについて

病気を抱える者やその危険に曝される者には健康上重要な節目があり、これを転機としてその経過に質的な変化を

図 7 Duration of opening, occlusal and closing phase of mandibular movement
全被験者における下顎運動の開口相、咬合相および閉口相時間

図 8 Time lag between lowest points of tongue stroke and beginning points of opening, occlusal and closing stroke
全被験者における舌運動最下点と下顎運動開口相、咬合相および閉口相開始点の時間のずれ

図 9 Functional cooperation of tongue and mandibular motion, and EMGs of masticatory muscles
全被験者における舌運動、下顎運動および咀嚼筋活動の協調様相

きたしたり、終止符が打たれる。これをエンドポイント⁶⁾と呼ぶ。このエンドポイントに着目して、その人が良くなったとか悪くなったとか、治療の効果があったかどうかなどの判断のよりどころとする。エンドポイントは生存期間の終点という狭い意味で用いられてきた。しかしながら、死ぬことなどがまれな良性疾病では特定の症候の出現

などがエンドポイントとなる。そのほか、医療の評価においては患者の生活の質を反映するエンドポイントも重要である。つまり、エンドポイントをもっと広く解釈して、疾患の進行度や治療効果を評価する基準という意味で使う場合も多く、広い応用分野を持っている。

このエンドポイントは、明らかな差がついて、ばらつき

が少なく、特に観察者間で評価が動きにくいものが望ましいといわれる。そこで、本研究においては、咀嚼機能回復を評価するうえで、その嗜好性や摂食頻度からみて「米飯を咀嚼できる」ことをエンドポイントに設定した。

2. 被験食品としての米飯について

咀嚼機能評価のための被験食品の条件として、日常性のある食品、組成が均一、大きさの規格が容易、試験を繰り返す際にできるだけ同質な試料が得やすい食品が望まれる。さらに味やにおいなどによる感覚受容器への刺激が少ない食品であることも要件となる。逆に、調理方法によって大きく変化する食品や、外来食品であるなどの理由から日本人にとって「なじみ」に個人差を認める食品は、被験食品としては不適当であると考えられる。さらに、嚥下を行わない食品も咀嚼機能評価のための被験食品としては不適当である。

日本人の主食であり、嗜好性、摂食頻度とも年齢を問わず高く、個人差が認められない米飯の被験食品としての適性は高い²⁾。著者ら²⁾は、米飯の物性からみた咀嚼機能評価のための被験食品としての適性をみる目的で、テクスチュロメーターを用いた各条件下での実験の結果、浸水時間12時間以内、保温時間6時間以内では非常に安定しており、再現性も高いことを報告しており、被験食品としての適性を認めている。

これまで、著者ら¹¹⁾は各種食品における咀嚼運動の観察を行ってきた。その結果、咀嚼中における舌運動と食品テクスチャーとの関連性は非常に高いことが明らかとなった。

そのうえで、食品そのものの物性を示すテクスチャーを明らかにし、舌運動を分析した結果、咀嚼進行に伴うテクスチャーの変化の多い食品の咀嚼時における舌運動は、不安定であり、再現性が低く、個人差が大きいたことが明らかとなった³⁻⁵⁾。それらの食品に比べ米飯は、摂食から嚥下までの下顎運動ならびに舌運動が安定しており、再現性が高く、個人差が小さいことが明らかとなった³⁻⁵⁾。米飯は、粒状食品でありながら付着性が高く、咬断を行わないため、食塊形成が容易にできる咀嚼しやすい食品であり、比較的スムーズで規則的に安定した運動ならびに協調作用を行うことが明らかとなっており^{17,18)}、検査時において最も日常に近い咀嚼が発揮されると考えられる。咀嚼機能評価のための被験食品として食品からのみではなく、機能的な面からみてもその適性が示唆されている。

内径24 mm、深さ4 mmのカップを用いた場合、15あるいは20 gが米飯の物性を表す量であることを明らかにした²⁾。しかしながら、1回の咀嚼量として被験量15 gは大きく、SO相の初期にて被験量の影響が下顎運動ならびに舌運動に顕著に現れる。そこで、本研究では被験量の影響を受けない最大の量である10 gを用いた。大きさ、形

状の相違が米飯の圧縮率の変化の影響を受ける可能性があるため、まずカップに米飯15 gを詰め、その後5 gを除去し、かまぼこ型になるように形状を整え、可及的に同じとなるようにした。

3. 研究方法

被験者としては、臨床的に顎口腔系に異常を持たない、個性正常咬合を有する者を選択した。また舌癖や舌に異常を持たない者を選択した。

各被験者で十分予備実験を繰り返し、被験者に慣れさせた後、本実験を開始した。

1) 測定方法

これまで、人における咀嚼運動などの動的な舌の動きの観察は、舌の形態形成上困難であり、X線テレビを用いた研究がわずかにあるのみである^{19,20)}。しかしながら、X線テレビ法では異なる組織像が重なり、位置的規定が難しい。しかも、口腔諸器官の動きを高い精度でとらえるためには多量なデータを必要とするため、依然として被爆と撮影場所の制限などの問題も多い。また、CT、MRIなどは、舌の静止画像の描出には最適であるが、ともに数秒間静止していなければ情報を得ることができず、咀嚼などの動態の観察には不向きである²¹⁾。

超音波診断装置は、手技が簡単なうえに、生体に対して非侵襲性であり、舌などの軟組織を中心とした運動情報をリアルタイムで得ることが可能である²²⁻²⁵⁾。また、反射エコーの強さの変化を画面表示するBモード法ならびに対象組織が、時間経過とともにどのように動くかを表示することのできるMモード法を用いることが可能となる。

非常に小型、軽量のプローブを用いることにより、舌骨上筋群や下顎の動きから受ける影響の減少を図ることができ、さらに、下顎への固定の際に装置を必要とせず、非常に生理的な状態での舌運動観察が可能となった¹¹⁾。しかしながら、定点をとらえることが難しく、また、舌尖、舌縁部などのような口腔底に空気層のできる部位、顎骨や舌骨、歯など硬組織の観察は難しいという難点はあるものの、正中矢状断における断面像の解析ができることは利点であり、舌運動の詳細を把握するうえでその有用性は高い。

2) 解析方法

Abd-El-Malek²⁶⁾は、一側の歯が欠損している被験者に色をつけたガムなどを咀嚼させることにより観察し、咀嚼時の舌運動は、5相に分けられるとしている。今回の米飯咀嚼時の肉眼的観察から、5相のうちSO相およびBF相の2相が判断できた。SO相は、最初の咀嚼の咬合相が終わり上下臼歯が離れたときから始まる相で、舌は急速に動いて、いまだ十分に咀嚼されていない大きな食物片を選び分けている。食物片は再び咬合面上に乗せられるが、十分に咀嚼された食物は、舌の外縁部に集められる。この運動

は、食物がすべて十分咀嚼されるまで繰り返される。BF 相では、舌が一侧から対側へと交互運動を行い、その後嚥下運動へと移る。舌は食物と唾液を混ぜ合わせ、唾液によってつまれた食塊が形成され嚥下運動へと移ると考えられている²⁶⁾。つまり、SO 相では食片の大きさなどが異なるため舌の運動が不規則になり、食塊形成が始まると規則的になると考えられる。

そこで今回、米飯咀嚼における全容をとらえることを目的として、解析区間を SO 相および BF 相の 2 相とした。しかしながら、SO 相から BF 相には徐々に移行し、明確な境界はない³⁾。肉眼的観察により、SO 相および BF 相の大きく 2 相にわけ、特徴的な 5 ストロークを選択した。つまり、最初の咬みしめ直後最も食品の物性の影響を受ける時期を SO 相とし、最初の嚥下様運動直前の食塊形成を確実にしている時期を BF 相とし、解析を行った。個人差が大きく、運動に大きく影響を及ぼすこねまわしについては、今回可及的に除去した。

咀嚼時のリズムカルな下顎および舌運動は基本的には脳幹のパターンジェネレータで形成される。咀嚼時に食物と接することで生じる末梢感覚入力によりその運動は、修飾を受けると考えられている²⁷⁻³⁰⁾。

そこで咀嚼運動のリズムに注目し、舌運動および下顎運動における時間的パラメータとして、下顎運動サイクルタイム、舌運動サイクルタイム、開口相時間、咬合相時間、および閉口相時間について、また各ストロークにおける舌運動と下顎運動の時間差に関するパラメータとして、舌運動最下点と開口相開始点との時間差、舌運動最下点と咬合相開始点との時間差、および舌運動最下点と閉口相開始点との時間差を選択した。

多機能器官によって遂行される咀嚼を、できるだけ多くの生体信号の同時記録により解明することが必要であるという考えに基づき、咀嚼中における舌運動、下顎運動、ならびに咀嚼筋筋活動の同時記録を行った。しかしながら、これらのすべてについて同時に考究することは容易ではない。そこで、咀嚼 1 ストローク中のサンプル数をそろえ、正規化することにより、咀嚼周期の影響を減少して SO 相と BF 相間の比較や被験者間での比較を行うことが可能となった^{4,5,12)}。

今回選択した協調様相を示すと考えるパラメータは、咬むことを基準としたものである。つまり、舌運動最下点とは第一大臼歯付近の舌がオトガイ下部方向へ向かう、すなわち下顎歯列に食片および食塊を乗せようとする時点であると考えられる。咬合相開始点とは、咬頭嵌合位に上下顎歯列が位置する時点であり、正しく咬んでいる状態である。また咀嚼筋のピークは、筋活動が最大になる点である。各測定咬むことに関連の深いパラメータをもって協調作用の指標とした。

4. 実験結果

1) 矢状面断 B モード舌運動の解析

SO 相と BF 相の舌運動様相が大きく異なることが明らかとなった。つまり、咀嚼進行に伴う咀嚼機能の違いが明確になったものである。SO 相では、開口時、舌の前方部に食片を保持しており、さらに舌の前方部は下方に下がり、いまだ咀嚼されていない食片を集め、選り分けていると考えられる。閉口が始まると、舌の蠕動運動により舌の上の食片を咬合面上に乗せる運動を行っている。そして咬合相では、歯列上の食片が落ちてこないよう保持しているために開口時下方に下がった舌の前方部は、上方に上がり、中央部も前方部と同様に上方へ上がったと考えられる。BF 相では、開口時食塊は舌の中央部に認められる。食塊がある程度一定の大きさとなり、嚥下可能な状態にするために唾液と混ぜ合わす運動となる。閉口にかけて舌の前部が口蓋の方に上がり咬合の開始とともに中央部が口蓋の方へ上がり、歯列間および舌背と口蓋との間の押しつぶしにより後方へ移動していることが示唆された。

2) 下顎運動および舌運動の関連についての解析

一般の食品では咀嚼進行に伴い食品の物性が変化することにより、咀嚼運動も変化し、この変化が運動の安定性に影響を及ぼしていると考えられている³¹⁾。つまり、咀嚼進行に従い、咀嚼運動は安定し、下顎運動サイクルタイムは短縮する。そして、閉口時の抵抗が少なくなるため閉口相時間が短縮し、また咬頭嵌合位付近での咬みしめが増加するため、咬合相時間が延長したという報告と一致した。さらに舌運動サイクルタイムは、下顎運動サイクルタイムと同様に短縮しており、下顎運動と協調することが示唆された。また、舌運動と下顎運動の関連性についての結果から、開口相は食片を拾い集めるあるいは形状を整える時期である。米飯では、その付着性により物性の変化が比較的少ないために、開口相時間の変化は少なかったと考えられる。また、閉口相との関連では、舌は歯列上へ食片および食塊を運ぶ働きを行っており、食片および食塊の位置の相違が異なるために舌運動最下点と閉口相開始点との時間差が延長する結果となったと考える。咬合相との関連性では、舌が歯列上の食片を保持する機能と後方へ押しやる機能を持ち、舌運動最下点と咬合相開始点との時間差が延長したが、その機能の違いの現れであると示唆された。

3) 舌運動、下顎運動および咀嚼筋筋活動の協調性についての解析

1 ストロークを 100% としたときの下顎運動垂直成分の咬合相開始点を基準とすると、SO 相では、舌が食片を歯列上へ乗せるとほぼ同時に下顎は咬頭嵌合位に達する。食片の大きさが一定ではなく、歯列上からこぼれやすいため、舌運動が最下点をとると咬合相開始が同時に起こると考えられる。食片がいまだ大きく咬頭嵌合位前に咀嚼筋の力は最大に達し、咬み込んでいることが示唆された。

BF相では、食塊形成ができ舌が咬合面上に乗せると同時に後方へ押しやる、あるいは唾液と混ぜ合わせるため、咬合相開始と舌運動最下点とがほぼ同時となった。食塊形成の進んだ状態では、唾液との混ぜ合わせが起こっており、食塊はさらにやわらかくなっている。同時に咬頭嵌合位付近で咀嚼筋の力は最大に達し、咬み込んでいることが示唆された。

SO相とBF相の2相間には有意差が認められた。つまり、咀嚼進行に伴う物性の変化に対応して効率よく咀嚼が行われるように協調様相も変化させていることが明らかとなった。

5. 咀嚼機能評価について

これまで咀嚼機能の客観的評価法として、下顎運動、咀嚼筋筋活動、あるいは下顎運動と関連づけた咀嚼筋筋活動についての研究が行われ、その有用性も示唆されてきている^{7,31-34)}。しかし、これらの報告結果は分析区間や被験食品などの違いによっていまだ一致がみられていない。咀嚼機能について粉碎、切断、臼磨などの報告はされている^{1,7,8,31,34,35)}ものの、いまだ明確な生理学的説明ができるに至っていない。

本研究において、咀嚼を円滑に進行させるために補助器官として、また主要器官としても必要不可欠な舌に注目し、舌そのものの動態や、舌と下顎運動ならびに咀嚼筋筋活動との協調様相を観察することにより、一段と明確に咀嚼の動態が明らかとなった。

今回の結果から、咀嚼進行に伴う物性の変化に対応して効率よく咀嚼が行われるよう咀嚼過程が大きく2相に分けられ、この2相を比較することにより、それらの咀嚼様相の違いが明らかになった。すなわち、健常者における米飯咀嚼では、少なくともSO相とBF相が存在し、しかも両相において、各々に必要な機能が十分遂行されていることを明らかにすることができた。

V. 結 論

米飯を被験食品として用い、米飯の咀嚼が可能なことを咀嚼機能評価の1つのエンドポイントと設定するための基礎的研究として、健常者における米飯咀嚼機能の把握を行う目的で、これまで多く行われてきた下顎運動および咀嚼筋筋活動の観察に、舌運動を加え、矢状面断Bモード舌運動像、舌運動と下顎運動との関連、舌運動、下顎運動および咀嚼筋筋活動の協調より咀嚼運動の分析を行った。

その結果、咀嚼進行に伴う米飯の物性の変化に伴い、SO相およびBF相で各運動および協調様相の違いが存在することが明らかとなった。

以上のことから、咀嚼進行に伴う物性の変化に対応して効率よく咀嚼が行われるよう、顎口腔系の種々の反射を利

用し、舌運動、下顎運動および咀嚼筋筋活動やそれらの協調様相のパターンおよびリズムを素早く変化させ、自動調節を行って、嚥下に至る様相が示唆された。さらに健常者における米飯咀嚼は、少なくともSO相およびBF相での各機能が十分遂行されており、これらの機能の存在が咀嚼機能評価での1つのエンドポイントとなりうる可能性が示唆された。

本研究を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜った大阪歯科大学歯科補綴学第二講座川添堯彬教授に深甚なる感謝の意を表します。また本研究に対し種々ご教示を頂いた大阪歯科大学歯科補綴学第二講座田中昌博助教をはじめ、研究遂行上多大なご協力、ご支援をいただいた被験者の皆様、教室員各位ならびに大学院生一同に深謝いたします。

本論文の要旨は、第457回大阪歯科学会例会（1997年12月13日、枚方市）において発表した。なお、本研究の一部は平成9年度大阪歯科大学学術研究奨励助成金（課題番号A 97-05）に依る。

文 献

- 1) 河村洋二郎. 歯科医学生のための口腔生理学. 75-88, 158-230, 京都:永末書店, 1966.
- 2) 今井敦子, 川添堯彬, 田中昌博ほか. 米飯の咀嚼機能評価のための被験食品としての適性に関する基礎的研究. 補綴誌 41: 856-861, 1997.
- 3) 今井敦子, 辻 功, 木村公一ほか. 各種食品咀嚼の進行における下顎運動および舌運動の観察. 顎機能誌 4: 43-50, 1997.
- 4) 今井敦子, 柏木宏介, 田中誠也ほか. 食品選別相における舌運動軌跡のデジタル化および正規化包絡線による分析. 補綴誌 41・97 回特別号: 65, 1997.
- 5) 今井敦子, 柏木宏介, 田中誠也ほか. 咀嚼進行中の舌運動, 下顎運動および咀嚼筋筋活動の正規化包絡線分析. 補綴誌 41・98 回特別号: 37, 1997.
- 6) 折笠秀樹. 臨床研究デザイン 95-111, 東京:真興交易医書出版部, 1995.
- 7) Ahlgren J. Mechanism of mastication. Acta Odontol Scand 24(Suppl 44): 1-109, 1966.
- 8) 中村嘉男. 咀嚼運動のしくみ. 窪田金次郎編, 咀嚼の話 293-296, 東京:日本歯科評論社, 1983.
- 9) 中村嘉男. 咀嚼運動の神経・筋メカニズム顎運動を中心にー(3)咀嚼運動リズムの形成とコントロール. 歯界展望 63: 477-492, 1984.
- 10) 今井敦子, 河野 亘, 岩山陽子ほか. テクスチャーの異なる米飯咀嚼時における舌および下顎運動の観察. 補綴誌 40・95 回特別号: 37, 1996.
- 11) 今井敦子, 川添堯彬, 田中昌博ほか. 各種食品咀嚼時における舌運動観察に関する超音波画像の応用. 補綴誌 40: 338-341, 1996.
- 12) 今井敦子, 藤野 明, 佐藤正樹ほか. ガムチューイングにおける下顎運動, 舌運動および咀嚼筋筋電図の正規化包絡線による分析の試み. 顎機能誌 4: 37-42, 1997.

- 13) 力丸 尚, 菊池雅彦, 田代 学ほか. ^{18}F -Fluorodeoxy-D-glucose と Positron Emission Tomography を用いたガム咀嚼時の咀嚼筋および舌筋活動測定. 補綴誌 41・97 回特別号: 64, 1997.
- 14) 中村嘉男. 咀嚼筋からの求心性インパルスによる顎および舌運動の神経機構. 口病誌 40: 1-16, 1973.
- 15) 石原靖雄. 下顎舌反射誘発に關与する側頭筋の固有受容器. 口病誌 55: 461-470, 1988.
- 16) 五十嵐一吉. ヒト下顎舌反射の神経機構. 口病誌 63: 108-121, 1996.
- 17) 今井敦子, 岩山陽子, 河野 亘ほか. 米飯咀嚼時における舌の補助的役割の観察. 補綴誌 40・96 回特別号: 110, 1996.
- 18) Imai A, Sato M, Tanaka S et al. Tongue movement during mastication of foods with adhesiveness. J Dent Res 76: 1169, 1997.
- 19) 西村亮介. エックス線映画による嚥下時の舌背の位置の変化に関する研究. 歯科学報 77: 263-309, 1977.
- 20) 戸村義明. エックス線テレビ映画による咀嚼時の舌運動について. 歯科学報 79: 2271-2303, 1979.
- 21) Stone M. Imaging the tongue and vocaltract. Br J Disord Commun 26: 11-23, 1991.
- 22) Stone M, Shawker TH. An ultrasound examination of tongue movement during swallowing. Dysphagia 1: 78-83, 1986.
- 23) Fuhrmann R, Diedrich P. Videogestzte Dynamische B-Mode-Sonographie der Zungenfunktion Wrend des Schluckens. Kieferorthop 54: 10-16, 1993.
- 24) 大塚義顕. 超音波による舌矢状断抽出法の検討. 障歯誌 15: 3-12, 1994.
- 25) 越野 寿. 舌運動機能が咀嚼機能に及ぼす影響—超音波診断装置による舌運動能力の評価と篩分法による咀嚼能力の評価—. 補綴誌 38: 799-810, 1994.
- 26) Abd-El-Malek S. The part played by the tongue in mastication and deglutition. J Anat 89: 250-254, 1955.
- 27) Morimoto T, Kawamura Y. Properties of tongue and jaw movements elicited by simulation of the orbital gyrus in the cat. Arch Oral Biol 18: 361-372, 1973.
- 28) Luschei E, Goodwin G. Patterns of mandibular movement and jaw muscle activity during mastication in the monkey. J Neurophysiol 37: 954-966, 1974.
- 29) Thexton AJ, Hiimae KM, Crompton AW. Food consistency and bite size as regulator of jaw movement during feeding in the cat. J Neurophysiol 44: 456-474, 1980.
- 30) 劉 子軍. 下顎と舌の運動協調に関する研究. 阪大歯学誌 36: 39-52, 1991.
- 31) 丸山剛郎. 臨床生理咬合 159-191, 東京: 医歯薬出版, 1988.
- 32) 柴田孝典. 下顎前突症における顎運動機能に関する研究. 歯科学報 81: 241-265, 1981.
- 33) 瑞森崇弘. 咀嚼運動分析による顎口腔機能診断に関する研究. 阪大歯学誌 32: 105-136, 1987.
- 34) 三田貢司, 小林義典. 咀嚼機能の筋電図学的評価に関する臨床的研究. 歯学 76: 711-760, 1988.
- 35) 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 32: 798-813, 1988.