原 著 論 文

咀嚼時の食物動態に関する研究

木戸 寿明

The Study of Food Behavior on Mastication

Toshiaki Kido

Abstract : The object of mastication is to crush food and form a swallowable food bolus. To comprehend masticatory function, it is essential to understand food behavior during mastication. However, there are almost no reports available there of.

The purpose of this study was to observe food behavior after food crushing and consider the association between food behavior and chewing patterns.

I designed a new method to estimate food behavior. Peanuts, which were chewed, were gathered separately from the buccal side and lingual side after varying numbers of chewing strokes, and then the amount and the degree of crushing of each peanut was measured. As subjects, twenty cases of chewing sides were selected, and food behavior and chewing patterns were measured. The results were as follows :

1. As mastication proceeded, the amount of broken peanuts on the buccal side decreased significantly and those on the lingual side increased gradually. In addition, the degree of crushing was higher on the lingual side than on the buccal side.

2. Food behavior was influenced by chewing patterns. The amount of peanuts on the lingual side was greater and the degree of crushing was less in case of Type III (compound type) than Types I (grinding type) and II (chopping type).

Key words : mastication, food behavior, chewing pattern, masticatory performance

I. 緒 言

咀嚼機構を解明することは、咬合の構築により咀嚼機能を維持、回復することを主な目的とする歯科学の領域において重要な課題の1つである。そこでこれまでに、咀嚼機能を定量的に評価する試みが数多くなされてきている¹⁻⁷⁾。その中で、広く用いられているものが、食品の粉砕度を指標として、各個人の咀嚼の能力を評価する節分法^{1,2)}である。この節分法は、咀嚼の主な目的を食物の粉砕として捉え、その能力の優劣により評価することを基本的な考え方としている。この立場から、食物を粉砕する場

である咬合面の形態との関係についても、主に咬合接触関係に着目して検討が行われ、咬合接触と咀嚼能率との関連性が明らかにされてきた⁸⁾。

しかし、咀嚼行動は食物の粉砕のみではなく、粉砕した食物を唾液と混和し、嚥下可能な食塊を形成することも不可欠である。この場合、咬合面において粉砕を受けた食物がどのような動態を示すのか問題となる。咀嚼の過程においては、開口状態の時に、頬粘膜および舌が食物を咬合面上へと乗せ、次いで、閉口することにより上下顎咬合面間で食物が粉砕される。この基本的な運動が嚥下に至るまで繰り返され、それに伴い食物は頬側あるいは舌側へと流れと考えられる。この咀嚼が進行する過程で、食物の粉砕粒がどのような動態を呈し、嚥下に至るかは不明な点が多い。

ところで、咀嚼中の粉砕を受けた食物の動態は、咀嚼運動経路、咬合面形態、頬粘膜の運動、舌の運動等により決

新潟大学大学院歯学研究科歯科補綴学専攻（指導：河野正司教授）
Niigata University, Graduate School of Dentistry, Major in
Prosthodontics (Director : Prof. Shoji Kohno)
平成8年1月19日受付

定され则认为られる。食物の動態に、これらの機能がいかに関与しているかを解明すれば、咀嚼に適した顎口腔系の形態と機能を決定する一助となる。

そこで本研究では、咀嚼の進行に伴う食物の動態を把握することを目的として、その様相を規定すると予想される因子の内、特に咀嚼運動経路に着目して検討することとした。

II. 研究方法

1. 被験者

顎口腔系に異常を認めない年齢 20 歳から 27 歳の成人 12 名を選定した。小窩裂溝を越える修復物が存在せず、上下顎臼歯部の頬舌的被蓋関係が正常な歯列を測定対象として、8 名の被験者については両側の歯列を、4 名の被験者については片側の歯列を対象とし、計 20 例の歯列について分析を行った。その対合関係は、Angle I 級が 18 例、Angle III 級が 2 例であった。

2. 食物動態の評価法

食物動態を把握する手段として、一定回数のピーナッツ咀嚼後、頬側に貯留する粉碎ピーナッツ粒子の量と、舌側に貯留する量を測定するとともに、この粒子の大きさを計測する方法を新たに考案し、これらの値から食物の流れを追求した。

すなわち、ピーナッツ 3 g をあらかじめ指定した咀嚼側において、5 回、10 回および 20 回と一定回数を咀嚼させ、嚥下しないように咬頭嵌合位で閉口状態を保たせ、頬側に貯留しているピーナッツ粒子を術者が口腔内より採取した。その後、舌側に貯留した粒子を吐き出してもらうことにより頬側、舌側それぞれに貯留したピーナッツを別々に回収した。さらに各々のピーナッツを 10 mesh 篩にて篩分し、篩上に残留する粒子の量を計測した。

この方法により、次に示す頬側および舌側の貯留率と、貯留したピーナッツ粒子の粉碎度の 2 つの指標を求めた。

貯留率は、全回収重量に対する頬舌側各々に貯留したピーナッツ粒子の重量の割合であり、粉碎度は、各貯留重量に占める 10 mesh 篩を通過した小さな粒子の重量の割合を示すものである。

なお、咬合面上に残留したものは、舌側に貯留したものとした。図 1 は、採取したピーナッツの 1 例である。

3. 咀嚼運動パターンの測定法

各被験例におけるピーナッツ咀嚼時の第 1～第 20 ストロークの運動軌跡をサホンビジトレナー Type II LC にて前頭面投影像を測定、記録した後、X-Y プロッター (EPSON 社製 HI-80) にて出力、観察した。

図 1 The particles of peanuts gathered from one subject
口腔内から採取したピーナッツの一例

III. 結 果

1. 食物動態に関して

全被験例 20 例において、各々 3 回の咀嚼試験を行い、得られた計測値の平均値を求め、これを各被験例の代表値とした。

全被験例の頬側および舌側における貯留率および粉碎度を表 1 に示す。また、全被験例の平均値から作成したグラフを、貯留率に関して図 2 に、粉碎度に関して図 3 に示す。

貯留率の平均値は、5 回咀嚼時では、頬側 50.4 (S.D. = ± 13.8)%，舌側 49.7 (± 13.8)% と、頬舌側ほぼ同程度貯留していた。10 回咀嚼時には、頬側 41.4 (± 10.3)%，舌側 58.3 (± 10.3)% となり、5 回咀嚼時と比較して、頬側貯留率は 9% 減少、舌側貯留率は 9% 増加を示し、20 回咀嚼時には、頬側 29.0 (± 10.0)%，舌側 71.1 (± 10.0)% と、頬側貯留率は 5 回咀嚼時よりも 21.4% 減少し、舌側貯留率との差は 42.1% と拡大した。

咀嚼回数の増加に伴い、舌側貯留率が増大する現象は、咀嚼の進行に伴い、ピーナッツ粒子が頬側から舌側へ移動していることを表している。また、各咀嚼回数における標準偏差を比較すると、咀嚼回数が増加するごとに小さく

表 1 The percentage of the amount of peanuts and degree of crushing on buccal and lingual side and the type of chewing patterns
全被験例の貯留率、粉砕度および咀嚼運動パターン

被験例	咀嚼運動パターン	貯留率						粉砕度					
		5 回咀嚼		10 回咀嚼		20 回咀嚼		5 回咀嚼		10 回咀嚼		20 回咀嚼	
		頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側
1	I	55	45	39	61	31	69	6	16	13	32	40	64
2	I	51	49	50	50	35	65	6	12	22	39	45	74
3	II	65	35	44	56	32	68	11	22	26	40	48	69
4	II	50	50	45	55	29	71	5	10	12	18	35	58
5	II	62	38	52	48	35	65	13	13	16	32	35	52
6	I	76	24	30	70	10	90	5	47	21	39	42	51
7	II	67	33	47	53	28	72	2	18	8	14	22	40
8	II	48	52	36	64	22	78	4	19	16	24	32	52
9	III	40	60	38	62	23	77	20	21	16	38	35	50
10	II	52	48	55	45	35	65	5	20	18	41	36	64
11	II	61	39	53	47	40	60	9	27	19	41	15	52
12	III	31	69	20	80	8	92	3	12	15	26	19	53
13	II	41	59	42	58	36	64	22	19	32	30	46	61
14	III	57	43	52	48	39	61	6	15	10	15	18	37
15	I	55	45	51	49	24	76	6	33	37	53	44	77
16	I	62	38	47	53	44	56	11	38	47	53	66	79
17	III	44	56	41	59	40	60	6	17	20	34	44	60
18	III	33	67	32	68	30	70	4	21	16	34	50	61
19	III	20	80	32	68	24	76	6	13	16	24	26	46
20	III	37	63	21	79	14	86	8	14	27	25	48	47
平均		50.4	49.6	41.4	58.6	29.0	71.0	7.9	20.4	20.4	32.6	37.3	57.4
標準偏差		13.8	13.8	10.3	10.3	10.0	10.0	5.3	9.4	9.5	10.9	12.7	11.6

単位：％

図 2 The change of the percentage of the amount of peanuts on buccal and lingual side with increasing the number of chewing cycles
咀嚼回数の増加に伴う頬側および舌側の貯留率の推移

なっており、各被験例間における貯留率の差が小さくなることが分かる。統計学的に、図 2 に示すごとく一元配置分散分析法および多重比較 (Scheffe 法) により、各咀嚼回数の貯留率に有意差が認められた。

粉砕度に関しては、5 回咀嚼時では、頬側 7.9 (± 5.3) %、舌側 20.4 (± 9.4) %、10 回咀嚼時には、頬側 20.4 (± 9.5) %、舌側 32.6 (± 10.9) %、20 回咀嚼時には、頬側 37.3 (± 11.6) %、舌側 57.4 (± 11.6) % を示し、咀嚼回数の増加に伴い、頬側、舌側ともに粉砕度は高くなる

図 3 The difference between the degree of crushing on buccal and lingual side
頬側および舌側の粉砕度の差異

が、いずれの咀嚼回数においても、舌側の粉砕度は頬側よりも高い結果となった。統計学的には図 3 に示すごとく、t-検定により各咀嚼回数において、頬側と舌側の粉砕度に有意差が認められた。

2. 咀嚼運動パターンに関して

20 例のピーナッツ咀嚼における下顎運動軌跡の前頭面投影像を観察し、各被験例における咀嚼経路について、図 4 に示すごとく 3 つのパターンに分類し、各被験例におけ

図 4 The classification of the chewing patterns. The examples of actual survey (upper row) and schematic drawings (lower row)
咀嚼運動パターンの分類。実測例（上段）と模式図（下段）

る分類結果を表 1 に示した。

grinding を主体とし、咀嚼の第 5 相⁹⁾が明瞭に認められる Type I が 5 例、chopping を主体とし、運動野全体の垂直成分の強い Type II が 8 例、そして、開口路において、第 5 相は認められないものの、運動野全体の側方成分の強い Type III が 7 例であった。Type II、Type III の分類は、咬頭嵌合位における測定点を原点とする測定座標系における正中矢状面からの開口路最下点の側方変位量が 5 mm 以内の被験例を Type II、5 mm 以上を Type III として決定した。

3. 咀嚼運動パターンと食物動態との関連性

各被験例の咀嚼運動パターンの違いにより、頬・舌側のピーナツ粒子の貯留率に特徴がみられるか否か検討した。

頬側の貯留率に関して、全被験例の咀嚼回数にみられる推移をグラフ上に示し、その上に咀嚼運動パターンごとに分類して図 5 に表示した。このグラフでは、各被験例の各咀嚼回数における貯留率を対応させるために、同一被験例のデータを線で結んで示した。

さらに、舌側の粉砕度に関しても同様に図 6 に示した。また、各咀嚼パターン別に算出した貯留率と粉砕度の平均値を表 2 に、さらに、各例にみられた貯留率、粉砕度について、数値の高い順に、20 例の中における順位化を行い、各咀嚼パターン別の順位の平均値を表 3 に示した。

順位化した結果に着目して検討すると、貯留率に関しては、各咀嚼回数ともに、Type I、Type II は 10.4～14.0 位と、10 位台前半の、ほぼ同様の順位となった。一方、

Type III は 5.1～8.6 位と、各咀嚼回数において高い順位を示し、全体の中で、貯留率が多い被験例により構成されていることが分かった。

また、粉砕度に関しては、Type I が、5.0～7.4 位と、すべての咀嚼回数において順位が高く、Type II、Type III の順にその順位が低くなった。

以上のことから、咀嚼運動パターン別に、舌側に移動したピーナツ粒子の量に関してみると、表 2、表 3 に示すごとく、各咀嚼回数ともに Type III が大きな値を示し、Type I、Type II は小さな値をとることが分かった。そして、その粒子の大きさの構成をみると、Type I は小さな粒子の割合が多く、Type III は小さな粒子の割合が少なかった。また、Type II はその中間の割合となっていることが明らかとなった。統計学的な検定では、一元配置分散分析法および多重比較 (Scheffe 法) により、表 2、表 3 に示す結果となった。

ここで、全被験例の貯留率と粉砕度の関係を、各咀嚼運動パターン別に、図 7 に示すごとく散布図を作成し、検討してみた。

5 回咀嚼時には、Type I に属する被験例は、グラフ中左上の領域、すなわち、貯留率が少なく、粉砕度は高い状態の領域を占めた。Type II に属する被験例は、Type I のやや下方に位置した。そして、Type III に属する被験例は、グラフの右下の領域、すなわち、貯留率が多く、粉砕度は低い状態の領域を占めた。そして、10 回、20 回と咀嚼回数が増加すると、このパターンごとの分布は、収束傾向を示すものの、基本的な相互的位置関係を保ちながら、グラフの右上の領域、すなわち貯留率、粉砕度ともに高い

図 5 The percentage of the amount of peanuts on lingual side when observe each chewing patterns separately. The solid lines show subjects which belong to each chewing patterns, the broken lines show subjects which belong to other chewing patterns

咀嚼運動パターン別にみた舌側貯留率

それぞれのパターンに属する被験例を実線で示し、他のタイプに属する被験例は破線で示した

図 6 The degree of crushing on lingual side when observe each chewing patterns separately. The solid lines show subjects which belong to each chewing patterns, the broken lines show subjects which belong to other chewing patterns

咀嚼運動パターン別にみた舌側粉砕度

それぞれのパターンに属する被験例を黒線で示し、他のタイプに属する被験例は破線で示した

表 2 The mean values of the percentage of the amount of peanuts and degree of crushing when observe each chewing patterns separately
咀嚼運動パターン別にみた舌側における貯留率, 粉砕度の平均値

	舌側貯留率			舌側粉砕度		
	5 回咀嚼	10 回咀嚼	20 回咀嚼	5 回咀嚼	10 回咀嚼	20 回咀嚼
Type I	40.2(± 9.9)	56.6(± 8.8)	69.0(±11.6)	29.1(±15.1)	43.3(± 9.2)	69.0(±11.6)
Type II	44.3(± 9.3)	53.3(± 6.4)	67.9(± 5.6)	18.5(± 5.1)	30.0(±10.6)	55.9(± 9.0)
Type III	62.6(±11.5)	66.3(±11.3)	74.6(±12.0)	16.2(± 3.8)	27.9(± 7.9)	50.7(± 8.5)

mean(±s.d.) 単位: %

** : p<0.01 * : p<0.05

表 3 The mean values of the ranks of the percentage of amount and degree of crushing when observe each chewing patterns separately
咀嚼運動パターン別にみた舌側における貯留率, 粉砕度の順位の平均値

	舌側貯留率			舌側粉砕度		
	5 回咀嚼	10 回咀嚼	20 回咀嚼	5 回咀嚼	10 回咀嚼	20 回咀嚼
Type I	14.0(±3.6)	11.0(±4.9)	10.4(±6.2)	7.4(±6.8)	5.0(±3.7)	5.2(±5.1)
Type II	12.8(±4.9)	13.5(±4.8)	11.6(±4.5)	10.3(±5.4)	11.1(±6.8)	10.1(±4.8)
Type III	5.1(±4.4)	6.4(±5.8)	8.6(±6.7)	12.4(±4.8)	12.9(±4.2)	14.0(±5.0)

mean(±s.d.) 単位: 順位

* : p<0.05

図 7 The relationship between the percentage of the amount and the degree of crushing on lingual side
舌側の貯留率と粉砕度の関係

領域へと移行している。

この散布図からみても, 各咀嚼回数, 特に 5 回咀嚼時において, Type I, Type II と比較した場合, Type III は, 舌側に存在するピーナッツ粒子は多く, その構成は大きな粒子が多い状態であることが確認できた。

IV. 考 察

1. 実験方法について

1) 食物動態の測定法について

従来の篩分法^{1,2)}では, 口腔内で粉砕された食品をまとめて回収していたが, 今回, 咀嚼の進行に伴う食物の動態を把握する目的で, 頬舌側に貯留するピーナッツを別々に回収した。この方法により, ピーナッツ粒子の頬舌的な流れと, 各々の粉砕度に関して定量的に評価することが可能となった。

被験食品のピーナッツは含水量が少なく, また, 水洗後の水溶性成分の消失が少ないことから¹⁰⁾, 従来より篩分法に用いる試験食品としての性能が優れていることが認められている。そして, 咀嚼するピーナッツの量は 3 g としたが, これは, Manly ら²⁾の篩分法における咀嚼量であることを参考に決定した。実験に際し咀嚼量の多少について, 違和感を訴える被験者はなかった。

また, 粉砕度を決定するにあたり, Taylor 標準篩の 10 mesh 篩 (約 1.68 mm 間隔) を用いた。この篩径は, 粒子分布を測定するために, 複数の篩を用いて分析を行った Manly ら²⁾, あるいは生米を用いた石原¹⁾の研究において, 咀嚼の進行による粒子径の減少に敏感に表現する篩径であることが実証されている。そこで, 今回の実験の目的である粉砕を受けた粒子の流れを追求するにあたっては, 10 mesh 単一の篩を, 粉砕度を決定する閾値として用いることとした。

2) 咀嚼運動経路の測定法

切歯点を測定点として、咀嚼運動経路を測定するために、サホンビジトレナーを古屋ら¹¹⁾の方法で補正し、を使用した。本方法は生体への侵襲が少なく、かつ、測定基準座標が被験者間で可及的に同一に設定できることから、各被験例における測定運動経路の比較が可能である。この点から、本実験の目的である咀嚼運動パターンの認識に関して、適した装置であったといえる。

これまでに咀嚼運動経路を観察し、分類する試み^{12,13)}は行われているが、研究者により分類法が異なり、統一された方法が得られるに至っていないのが現状である。そこで、独自にパターン分類するにあたり、まず、第5相の有無により2つに区分を行い、第5相の認められるものをType Iとした。さらに、第5相の認められない群について、開口運動において垂直成分が強く、側方成分の弱い群をType II、側方成分の強い群をType IIIとした。したがって、開口路に留意した分類法であるといえる。

ところで、咀嚼運動経路は、食品テクスチャーの変化に応じて、その経路が変化することが知られている^{14,15)}。したがって、ピーナッツ咀嚼において、咀嚼の進行に伴う粒子の粉碎、唾液との混和による粒子凝集により、その性状が変化し、咀嚼の初期と末期では運動経路が異なることが十分考えられる。そこで、各被験者の咀嚼運動パターンを決定するにあたり、まず、第1～第20ストロークを1ストロークごとに分解し、観察を行った。その結果、経路の大小、多少の変位は認められたものの、基本的なパターンに変化はないことを確認し、各被験例の咀嚼運動パターンを1つのパターンで代表させることとした。

2. 実験結果について

1) 食物動態の特徴について

従来、口腔内において粉碎を受ける食物の様相は、その粉碎度に注目して把握しようとする試みが行われており、正常有歯顎者における咀嚼回数と粉碎粒度との関係は、ピーナッツでは対数確率関数に従うとされている²⁾。しかし、口腔内における食物の流れに着目して検討された報告はこれまでにほとんどない。今回の測定の結果、健康者における食物動態の特徴として、咀嚼の進行に伴い頬側貯留率は順次減少し、舌側貯留率は逆に増加する。さらにその粉碎度は舌側の方が頬側よりも高いということが判明した。この様相は、食品の粉碎度に主眼が置かれた研究では知り得なかったことである。また、河野¹⁶⁾は、補綴物の咬合面が具備すべき要件の1つとして、食物を細分できる構造であるとともに、その食片が口腔前庭ではなく、固有口腔内へと流入することの重要性を概念的に述べているが、得られたピーナッツの挙動は、その要件が有歯顎者において具体的に満たされていることを示すものである。

食物の粉碎と、粉碎された食物粒の口腔内への取り込み

という行動は咀嚼の過程に不可欠であることを考えると、観察された食物の動態は目的性を有しており、破碎性食品の咀嚼機構を考える上で、基本的な概念の1つとなると思われる。そこで、この食物動態測定法を咀嚼能力の評価法として応用していくことを見据え、基本的な評価基準を考えた場合、次のことが挙げられよう。

まず、頬側には粒子は残存しておらず、舌側において粉碎された粒子が唾液と混和されて、一塊となったbolusとなっているのが咀嚼完了の状態、速やかにこの状態に達するものが咀嚼の能力が高いことになる。次に、頬側に大きな粒子が残存している場合は、まだ咀嚼の途中であり、さらなる粒子の粉碎と、唾液との混和が必要である。さらに、咀嚼の過程において頬側に細かい粒子が多数認められる場合には、咀嚼にかかわる器官の形態あるいはその機能が、咀嚼の目的に適していないといえよう。このように、頬側および舌側に貯留する食物の状態を観察することにより、咀嚼能力を十分に評価できる可能性があると考えられる。

2) 咀嚼運動パターンと食物動態の関係

咀嚼運動パターンの違いにより、舌側の貯留率および粉碎度に相違を生じる原因について考えてみたい。

咀嚼時に食物を咬合面上に乗せるには、頬粘膜および舌の運動によるものであるが、咀嚼中の頬粘膜、舌の運動の様相を文献的に検討してみる。Schieppatiら¹⁷⁾の報告によると、頬筋は、咬合相の終わりから活動を開始し、最大開口位においてその活動は最大となり、咬筋の活動開始とともに活動を停止するという。また、X線テレビ映画によりピーナッツ咀嚼時の舌運動を観察した戸村¹⁸⁾は、舌は咀嚼開始とともに舌背上の食品を臼歯咬合面上に運ぶため、作業側方向に大きくねじれ、最大開口時に両側舌縁点の傾斜度は最も大きくなり、さらに、閉口途中まで、臼歯舌側面付近を強く圧迫し、食品を保持しようとしていると報告している。

また、食品を咬合面上に乗せる機能に関しては、Manlyら²⁾は、ピーナッツ咀嚼の過程においては、大きな粒子が選択的に粉碎されることを確認している。さらに、口腔周囲組織の感覚受容器を遮断し、粉碎粒度の分布を比較した榎村¹⁹⁾の報告をみると、粗い粒子の粉碎能は、頬粘膜、舌粘膜および口蓋粘膜、特に頬粘膜の感覚が遮断されると阻害されたとしている。これらの報告から、口腔内に分散した粒子はrandomに咬合面上に乗せられ、粉碎を受けるのではなく、頬粘膜、舌により、大きな粒子が選択され、咬合面上に乗せられると推察できる。

これらの報告から考えると、頬粘膜、舌は、咀嚼運動経路中、最大開口位付近にて食物、特に粉碎を受けていない大きな粒子を下顎の咬合面上に乗せるために機能していると考えるのが妥当である。その時、咬合面上に乗せられる粒子量は咬合面の大きさにより決まってしまうため、余剰

図 8 The relationship between the occlusal surface of the mandible and the buccal mucosa nearby maximum opening of the mandible. Compared with Type I and Type II, the distance between them is shorter in case of Type III (refer to the arrow)

最大開口位付近での下顎咬合面と頬粘膜の位置関係（模式図）

Type I, Type IIと比較して, Type IIIでは, 下顎咬合面と頬粘膜が近接した状態となる（矢印の部分）

の粒子は頬側ないし舌側へと流れてしまう。このことから、貯留率、粉砕度の差は、上下の咬合面間の粉砕によって頬舌側に流れていく量の差によることに加えて、主に開口時に咬合面上に乗らなかった大きな粒子が、頬舌側いずれに流れるかで決定されていると考えられる。

この様相について、頬粘膜と下顎咬合面との位置関係をもとに追求してみたい。各咀嚼パターン別に図8の模式図を用いて考えると、Type I, Type IIの開口路と比較して、Type IIIでは下顎咬合面がより咀嚼側方向に向かうため、食物を下顎咬合面上に乗せようとした時に、下顎歯列と頬粘膜の間のスペースが小さくなる。その結果、食物が下顎咬合面上に乗せられる時に、Type I, Type IIでは頬側方向に流れやすくなり、Type IIIでは流れにくく、舌側に多く流れ、貯留していると推測ができる。この時、流れる粒子が大きな粒子が主体であるとする、Type I, Type IIでは、頬側に大きな粒子が流れ、その結果、舌側の貯留率は低下し、粉砕度は高くなる。一方、Type IIIでは、舌側に大きな粒子が流れ、その結果、貯留率は向上し、粉砕度は低下したと考えられる。

3) 咀嚼の能力とは

咀嚼運動が目標とするのは、舌側において粉砕された粒子が唾液と混和されて、嚥下可能な一塊となった bolus となる状態である。bolus を形成するための必要な要件は、舌側に全粒子が貯留することである。さらに、嚥下するためのもう1つの要件として、嚥下閾の存在が挙げられる。嚥下閾に達しない大きな粒子は、さらなる粉砕が必要である。この嚥下するための2つの要件、すなわち食物の舌側への移動と粒子の粉砕が、どのような関係を持ちながら咀嚼が進行するかを表現したものが図7であるといえる。

舌側への粒子の移動に焦点を当てて咀嚼能力を考える

と、速やかに舌側貯留率が多くなる Type IIIに属する被験例が、咀嚼の能力は高いことになる。ところが、その粒子の粉砕の程度は Type I に属するものより低い状態であった。したがって、粉砕の程度の観点からは、他の Type よりも優れているとはいえない。このように、食物の舌側への移動と、粒子の大きさの減少の両方の観点から、咀嚼の能力を判断する必要があると考えられる。

ところで、嚥下するために必要とされる食物の粉砕の程度には、咀嚼する食品の種類、性状による違いがあると考えられる。したがって、その粉砕の程度、いわゆる必要粉砕度に達するまで咀嚼運動を行い、食物を粉砕する必要があるが、必要粉砕度を充足していればそれ以上の粉砕は必要ではなく嚥下は可能になる。

さらに、bolus を形成するという視点から考えると、唾液の存在も、必要不可欠な因子である。唾液の量、質の違いにより食物と混和し、bolus を形成する能力が違ってくことは容易に想像できる。しかし、bolus 形成に必要な混和の程度も食品の種類、性状により異なるであろう。

今回の研究からは、これらの因子に関して言及することはできないが、食品に応じた必要粉砕度と、唾液との必要混和度の解明が進めば、咀嚼の能力に関する知見はさらに深まらうと考える。

4) 頬舌側の粉砕度の差について

咀嚼回数が増加するに従い、舌側に貯留するピーナッツ粒子の量が増大してくる。さらにこのピーナッツ粒子は、頬側に貯留する粒子よりも粉砕度が高いことが明らかとなった。この現象について、ピーナッツを直接粉砕する場合である咬合面との関係から検討してみたい。

機能運動時の上下顎臼歯部の対合間隙を詳細に検討した渡部²⁰⁾の報告によると、咀嚼時に上顎第1大臼歯と、下顎臼歯の咬合面間には、圧搾空間（Squeezing Room）が存在しており、咬頭嵌合位への噛み込み過程において、この空間の中で食片が圧搾、粉砕されるとともに、近心舌側方向へと食物を誘導するとしている。

この立場から、得られた結果を検証してみると、図9に示す模式図のような様相が推察できる。すなわち、上下顎咬合面間にピーナッツが介在した時、圧搾空間よりも頬側あるいは舌側に存在する部分は破碎されるとそのまま大きな粒子として頬舌側に流れる。一方、圧搾空間内に取り込まれた部分は閉口するに従い粉砕される。この圧搾空間は近心舌側に開放されていることから、粉砕されたピーナッツ粒子は舌側へ送り込まれる。その結果、舌側の貯留率は増大するとともに、粉砕度が高くなると考えられる。

この圧搾空間は、渡部が Angle I 級の被験者において認めた空間であるのに対し、今回の被験者は、その大部分が Angle I 級であるものの、他の様式の被験者も含まれている。したがって、対合関係の差異による上下顎歯対合間隙の違いを確認した上でさらなる検討が必要があると

図 9 The relationship between the crushing of peanuts and Squeezing Room when the mandible close (schematic drawing). There is the space on the occlusal surface which opens in medio-palatal direction, when the particles of peanuts exist between upper and lower occlusal surfaces in lateral position of the mandible (drawing of left side). As the mandible close to intercuspal position, Squeezing Room disappear gradually and the particles of peanuts which are taken in the space are crushed and squeezed to masio-palatal direction (drawing of right side)

閉口時におけるピーナッツの粉碎と圧搾空間の関係 (模式図)

側方位において、上下顎咬合面間にピーナッツが介在した時、咬合面上には、近心舌側方向に解放された圧搾空間が存在する (左図)。咬頭嵌合位へと閉口するに従い、圧搾空間は消失してゆき、空間内に取り込まれたピーナッツは粉碎を受けつつ近心舌側方向へと流される (右図)

思われる。

5) 食物動態と周囲器官とのかかわり

咀嚼の遂行には、食物が咬合面上に乗ることがまず必要であり、この役割を口腔内の軟組織が担っていると考えられることは前述した。

この口腔周囲軟組織の咀嚼行動への参加、そして圧搾空間の機能を検証する目的で1名の被験者を用いて次の実験を行った。

被験者は26歳男子で、左側上顎第1大臼歯に歯冠修復が必要な症例であり、咀嚼運動パターンを測定した結果、Type IIIに分類された。この被験者について、左側上顎第1大臼歯に天然歯を模倣した形態を有するコーヌステレスコープクラウンにて、対合関係がAngle I級となるように修復した。この外冠を装着した状態を正常な状態とみなして、次のような条件下で、左側歯列について食物動態を測定した。

- (1) 咀嚼側の頬粘膜を歯科用ミラーを用いて牽引し、歯

図 10 The occlusal surface without buccal cusp
頬側咬頭を削除した咬合面

列と引き離れた状態。

- (2) 咀嚼側の頬粘膜に、歯科用表面麻酔を施した状態。
- (3) 舌全体に、歯科用表面麻酔を施した状態。
- (4) 左側上顎第1大臼歯に、頬側咬頭を削除した形態の外冠を装着した状態 (図10)。

その結果を図11に示し、各条件下での結果を正常な場合と比較した。

頬粘膜を牽引した場合、舌側貯留率は著明に減少した。また、頬側粉砕度は低くなり、舌側粉砕度は20回咀嚼で100%となった。頬粘膜と歯列が引き離された結果、頬側方向へ大きな粒子のまま多量に流れ、一度頬側に流れた粒子は再び舌側へ移動することはない、舌側に残った少量の粒子は粉砕され尽くした結果であると思われる。

頬粘膜を表面麻酔した場合、貯留率の推移は正常な場合とは異なり、咀嚼回数による順調な増加傾向は示さず、不安定な挙動を呈した。

舌を表面麻酔した場合、舌側貯留率は若干減少した。また、頬側粉砕度は高くなり、舌側粉砕度は低くなった。舌表面の感覚受容器の遮断により、咬合面上にピーナッツを乗せる際の、粒子の大きさに対する選択能が低下し、頬側方向に細かい粒子が流れるとともに、舌側に大粒子が多く残存している結果である。

頬側咬頭を削除した場合、舌側貯留率はやや減少し、頬側粉砕度、舌側粉砕度ともに増加する傾向があった。舌側方向へ開いていた咬合面上の圧搾空間が、頬側方向に解放され、その結果、頬側方向に、多量の小さな粒子が流出した結果であると思われる。

以上のように、諸器官の機能を阻害することにより食物の動態は変化し、それぞれの器官が有する機能の一端を窺い知ることができる結果となった。

このような結果を踏まえて、補綴臨床的な視点から考察を加えたい。全部床義歯装着者で、食物が口腔前庭に滞り、床の下に入り込んでしまうことがしばしば経験される²¹⁾。このような状態になると、咀嚼を続けることは困難

図 11 The percentage of the amount of peanuts and degree of crushing in case of inhibiting function of surrounding organs
周囲器官の機能を阻害した場合の貯留率と粉砕度

となり、義歯を外して清掃を行わなければならない。これを予防するためには適切な頬側のフレンジ外形の設定により、頬筋による圧迫封鎖が十分に行えるようにするとともに、開口路がスムーズに咀嚼側方向へと向かうことにより、頬側に流出する食物の量を減らし、さらに、人工歯の頬側咬頭の被蓋を確実に行うことで、粉砕を受けた粒子が頬側方向へと流れないようにすることで防止することができる。ただし、義歯には顎堤上における安定の問題があり、さらには高齢者の咀嚼運動経路、あるいは全部床義歯装着者の咀嚼運動経路の分析は、データ数が不足しているのが現状であると思われる。今後、機能時の義歯の安定の問題、さらに高齢者の咀嚼運動の特徴と、食物の動態を合わせて検討することにより、咀嚼に適した義歯の形態、製作法を見い出せるものとする。

V. 結 論

1. 食物動態を測定する方法を考案し、食物の頬舌的な流れと、その粉砕度について定量的に評価した。
2. 咀嚼回数の増加に伴い、頬側貯留率は順次減少し、舌側貯留率は増加した。また、粉砕度はすべての咀嚼回数において頬側よりも舌側が高かった。したがって、粉砕を受けたピーナッツ粒子は、咀嚼の進行に伴い舌側へと移動し、蓄積される傾向のあることが明らかとなった。
3. 舌側へ移動するピーナッツの動態は、咀嚼運動パターンの影響を受けた。grinding型であるType I、chopping型であるType IIに比較して、複合型であるType IIIが、貯留率が多く、粉砕度は低かった。
4. 頬粘膜の牽引、頬粘膜の表面麻酔、舌の表面麻酔、

頬側咬頭の削除により、ピーナッツ粒子は頬側に多く貯留した。このことより、食物の正常な動態を得るためには、これらの器官の適正な関与が不可欠であることが分かった。

本研究を終えるにあたり、終始懇切なるご指導、ご校閲を賜りました新潟大学歯学部、河野正司教授に謹んで感謝の意を表します。また、実験の遂行にあたり、サホンビトレナーを快く貸与して下さいました東京医科歯科大学、長谷川成男教授に厚くお礼申し上げます。さらに、実験の協力、貴重なご助言を頂いた新潟大学歯学部歯科補綴学第1講座の諸先生方ならびに被験者諸氏に深謝いたします。本研究の一部は、第94回日本補綴歯科学会学術大会(平成7年10月27日、倉敷)において、発表、討論した。

文 献

- 1) 石原寿郎. 篩分法による咀嚼能率の研究. 口病誌 22: 207-255, 1959.
- 2) Manly RS, Braley LC. Masticatory performance and efficiency. J Dent Res 39: 448-462, 1950.
- 3) 小沢 至. ポリエチレンフィルムによる咀嚼切断能力の研究. 口病誌 26: 274-292, 1959.
- 4) 羽田 勝, 田部孝治, 柄博 治ほか. チューインガムによる咀嚼能力の測定—測定用試料としてのチューインガムの基本的性質—. 広大歯誌 9: 232-235, 1977.
- 5) 今村太郎. 比色法を用いた咀嚼能率の簡易測定法の開発. 補綴誌 23: 603-612, 1979.
- 6) 増田元三郎, 藤山恵正, 日高睦代ほか. ATP 顆粒剤を用いた吸光度法による上顎義歯患者の咀嚼能測定について. 顎顔面補綴 4: 86-89, 1981.

- 7) 田中 彰, 志賀 博, 小林義典. グミゼリー咀嚼時のグルコース溶出量の分析による運動機能および咀嚼筋活動の定量的評価. 補綴誌 38:1281-1294, 1994.
- 8) 平沼謙二. 咬合面積並びにその咀嚼効率に及ぼす影響. 補綴誌 1:17-36, 1957.
- 9) 中沢 勇. 下顎運動の補綴学的研究, 有歯顎の運動. 口病誌 13:81-98, 1939.
- 10) 橋本 譲. 篩分法による各種咀嚼粉砕試験用食品の比較について. 口病誌 26:648-676, 1959.
- 11) 古屋良一, 三浦宏之. 顎機能異常の診査・診断法としての下顎運動解析法への臨床的アプローチ. 顎機能 3:135-138, 1983.
- 12) Pröschel P, Hofmann M. Frontal chewing patterns of the incisor point and their dependence on resistance of food and type of occlusion. J Prosthet Dent 59:617-624, 1988.
- 13) 芳賀景嗣, 志賀 博, 小林義典. 咀嚼運動の機能的分析—正常者における各種食品咀嚼時の経路パターン—. 補綴誌 35:907-918, 1991.
- 14) Plesh O, Bishop B, McCall W. Effect of gum hardness on chewing pattern. Exp Neuro 92:502-512, 1986.
- 15) 堀尾 強, 河村洋二郎. 咀嚼運動に及ぼす食品テクスチャーの影響. 歯基礎誌 30:481-488, 1988.
- 16) 河野正司. 寿命の長いクラウンを作るためには. Dental Diamond 11(4):21-27, 1986.
- 17) Schieppati M, Di Francesco G, Nardone A. Patterns of activity of perioral facial muscles during mastication in man. Exp Brain Res 77:103-112, 1989.
- 18) 戸村善明. X線テレビ映画法による咀嚼時の舌運動について 2. 前額方向からの観察. 歯科学報 80:33-51, 1980.
- 19) 榎村光仁. 食物の粉碎能に及ぼす頬粘膜・舌粘膜および口蓋粘膜の感覚の影響について. 歯科医学 45:573-586, 1982.
- 20) 渡部厚史. 側方滑走運動による上下顎大臼歯間の接触間隙の変化. 補綴誌 39:517-529, 1995.
- 21) Watt DM, Macgregor AR. Designing complete denture 62-70, Philadelphia: Saunders, 1976.