原 著

摂取食品の形状が咀嚼運動に与える影響

新 井 映 子 山 田 好 秋* 西 坂 剛**

東京学芸大学教育学部生活科学学科

* 長崎大学歯学部口腔生理学教室（主任：佐藤俊英教授）

** 東京農工大学保健管理センター

〔受付日：平成3年10月29日〕

Influences of size in soft foods on masticatory process in humans

Eiko Arai, Yoshiaki Yamada* and Tsuyoshi Nishisaka**

Department of Home Economics, Faculty of Education, Tokyo Gakugei University

* *Department of Physiology, School of Dentistry, Nagasaki University*

(Director : Prof. Toshihide Sato)

** *Health Science Center, Tokyo University of Agriculture and Technology*

〔Accepted for publication : October 29, 1991〕

Key words : Soft foods/Food size/Masticatory process/Cineradiography

Abstract : Agar jelly (0.5%), which has the similar physical properties to bavarian cream (bavarois) or pudding available in a market, was tested to study how soft foods were processed in the human oral cavity. Cineradiographic observations revealed that the soft foods were caught between the tongue and hard palate and crashed to be swallowed, when the food size was small. As the food size exceeded a value (20×20×15 mm), however, teeth were evident to participate in the food process as well as the tongue and hard palate. The strain, just before the food was crashed in the mouth, was estimated to be the same range as that obtained by an instrumental measurement. This was the first evidence that the parameters measured by instrument were confirmed to be reasonable *in vivo*. The food size also affected the masticatory time which was evaluated from the food intake to the deglutition. The food size of 20×20×15 mm was again indicated to have influence on the masticatory time. It is concluded that the test foods should be smaller than 15×15×15 mm, when the soft foods are studied how they may be processed in the mouth.

緒 言

近年、咀嚼機序の解明や咀嚼機能評価のために、摂取食品試料の texture と咀嚼運動の関連が研究されている。そして試料のパラメータの量的

変化と、咀嚼筋活動量¹⁻⁴⁾、咀嚼時間⁵⁻⁶⁾、咀嚼回数⁷⁾などが比例して変化することが明らかにされている。しかし、これらの研究は、嚥下に至るまでに多くの咀嚼を必要とするような硬い試料^{5,8-11)}に限られていた。一方、日常摂取される食品には、jelly や bavarois、豆腐などのように、軟らかなゲル食品も多い。これらの食品は、歯列による粉碎過程を経ずに、舌と硬口蓋により直ちに圧縮、咀嚼されることが多い。この咀嚼様式におい

〒184 小金井市貫井北町 4-1-1

* 〒852 長崎市坂本町 7-1

** 〒184 小金井市中町 2-24-16

Fig. 1 Texturometer

Parameters in texture were measured by a Texturometer. It composed of a plunger (a : shear or b : compression) and a table (d). The material (c : 15×15×15 mm) was placed on the table and compression and deformation were measured when the plunger moved up and down at the speed of six times per minutes.

では、咀嚼筋や顎運動の関与はきわめて少ないものと推察される。しかし、試料の諸性状が咀嚼運動に与える研究において、このような軟らかい食品の咀嚼様式に関する報告は見あたらない。

そこで、本研究は、種々形状を変化させた軟らかなゲル状モデル試料と市販ゲル食品を用いて、X-ray cinematography (以下X線撮影と略記) による咀嚼運動の解析を行い、パネリストによる試料の咀嚼様式および咀嚼から嚥下に至るまでの時間的要素について検討した。

材料および方法

ゲル状モデル試料は、粉末寒天（純正化学製）を0.5% (W/V) に調整後加熱し、一定の温度に冷却した寒天 jelly である。試料の味覚的および嗅覚的違和感を減ずるため、5% granulated sugar および微量の lemon essence を添加した。試料の形状は、パネリスト用として3辺の長さ(mm)が10×10×15 (V_1), 15×15×15 (V_2), 20×20×15 (V_3), 25×25×15 (V_4) および 30×30×15 (V_5) の5種類の直方体を作製した。Texture 測定用にはパネリスト用モデル試料 V_2 と同じものを使用した。対照試料としての市販のゲル食品は bavarois, custard pudding, 卵豆腐, および木綿豆腐を選んだ。

試料の texture は、Texturometer (GTX-2, 全研) を用い、剪断法と圧縮法の2方法により測定

した (Fig. 1)。剪断値は、V型プランジャーにより剪断に要する力を硬さ (kg)、剪断までの変形を歪量 (cm/cm)、また圧縮破断値は、直径 50 mm の円形プランジャーにより圧縮破断に要する力を硬さ (kg)、圧縮破断までの変形を歪量 (cm/cm) として、それぞれの値を求めた。測定は、クリアランス 2 mm、プランジャー移動速度 6 回/分、室温 $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 、品温 $7 \pm 1^\circ\text{C}$ で10回行い、平均値を求めた。

試料の捕捉から嚥下に至る一連の咀嚼運動の観察と解析は、5% (W/V) のX線造影剤（バリトプ 120, カイゲン製）を添加した形状の異なる0.5% 寒天 jelly を、歯および口腔領域に認めるべき障害のない健康な4名の被験者に試食させることにより実施した。用いたシステムは、拡大ステレオ撮影装置 OPTI, I・ITV システム OPTI LUX およびX線 TV 用 Videorecorder SIRECORD N（シーメンス社）である。X線の撮影方向は側頭部より対側方向とした。撮影前に造影剤添加 jelly と無添加 jelly とでは texture 特性に差のないこと、味覚的違和感もきわめて少ないことを確認した。

実験の性質上、多くの被験者を対象にX線映画の撮影を行うことは困難であった。そこで、別の40名の成人男子および女子（年齢19～24歳）を対象に、以下の方法で、咀嚼時間および咀嚼方法の検討を行った。

咀嚼時間は、試料を口腔内に捕捉した瞬間から

Table 1 Texture of the test food (agar jelly) and foods obtained from market.

Foods	Shear		Compression	
	Hardness (kg)	Strain (cm/cm)	Hardness (kg)	Strain (cm/cm)
	mean (S.D.)	mean (S.D.)	mean (S.D.)	mean (S.D.)
0.5% Agar jelly	0.03 (0.01)	0.09 (0.01)	0.20 (0.02)	0.19 (0.00)
Bavarois	0.02 (0.01)	0.12 (0.00)**	0.10 (0.02)**	0.27 (0.01)**
Custard Pudding	0.02 (0.01)	0.19 (0.01)**	0.15 (0.01)**	0.39 (0.01)**
Egg custard	0.05 (0.01)*	0.27 (0.02)**	0.33 (0.04)**	0.46 (0.02)**
Tofu (Momen)	0.08 (0.01)**	0.24 (0.01)**	0.28 (0.04)**	0.37 (0.01)**

* and ** mean significances at 1 and 0.1% levels, respectively, between the datum of the 0.5% agar jelly and that of the foods obtained from market.

嚥下開始までとし、被験者自身にストップウォッチ (SO25-6000, 服部セイコー) で計測させた。

咀嚼方法の検討は、以下のように行った。まず、4名の被験者を対象に行ったモデル試料咀嚼時の連続X線像を解析することで、咀嚼方法を咀嚼に関与した器官別に、4種類に分類した。そして、40名の被験者にモデル試料を試食させた後、その咀嚼方法をこの4種類の分類から被験者自身に選択させた。いずれの被験者にも、咀嚼方法についての特別な指示、あるいは説明は与えず、自然に咀嚼するよう指示した。モデル試料の品温は、Texturometer による測定条件と同様 $7 \pm 1^\circ\text{C}$ 、室温は $24 \pm 1^\circ\text{C}$ とした。

測定値の差の検定は、いずれも Student's t-test により行った。

結 果

1. 試料および市販ゲル食品の texture 特性

0.5% 寒天 jelly および市販の軟らかいゲル食品4種の texture を Table 1 に示す。剪断法による測定では、硬さは bavarois と custard pudding が同値を示し、以下寒天 jelly、卵豆腐、木綿豆腐の順に大きくなった。歪量は、寒天 jelly が全試料の中で最小値となり、以下 bavarois, custard pudding, 木綿豆腐、卵豆腐の順に大きくなった。一方、圧縮法により硬さを測定した結果、寒天 jelly は bavarois および custard pudding より有意に値が大きく、木綿豆腐および卵豆腐よりも小さくなった。歪量は剪断法と同様、寒天 jelly が

最小値となり、以下 bavarois, 木綿豆腐, custard pudding, 卵豆腐の順に大きくなった。

試料が口腔内で咀嚼されるとき重要なパラメータの1つである破断に要する圧力を、次のように求めた。すなわち、0.5% 寒天 jelly の硬さは、Texturometer で $0.20 \pm 0.02 \text{ kg}$ と測定されたが、このとき jelly とプランジャーの接触面積は 2.25 cm^2 であることから、破断に要する圧力は $88.9 \pm 8.9 \text{ g/cm}^2$ と計算された。一方、X線映画のスチール写真 (Fig. 2) から、試料が舌と硬口蓋の圧縮により破断する様子が逐一観察できた。そこで、変形前(A)の jelly の試料高と、最大変形時(C)の試料高の比を求め、口腔内における jelly の歪量を計算した。その結果、4名の被験者の平均は、 $0.22 \pm 0.02 \text{ cm/cm}$ であった。この歪量から、jelly の硬さは $0.23 \pm 0.02 \text{ kg}$ と算出された。

2. X線撮影による試料の咀嚼様式の解析

Figure 2 は軟らかいゲル試料の咀嚼様式を示す。試料 V_1 および V_2 は、口腔内に捕捉された直後に(A)、舌背表面に乗せられてすみやかに切歯乳頭部まで移送され(B)、舌の上昇により口蓋前方部に押し付けられて変形した(C)。試料が最大変形量に達した時の状態を、図(C)およびスチール写真(F)に示す。その後、さらに大きな圧力が加えられ、試料は破壊され(D)、数回の舌運動により嚥下閥に達するまで粉碎され、嚥下された(E)。このX線法により観察された咀嚼運動は、4名の被験者全員について、ほぼ同様に認められた。一方、試料の形状が大きく (V_3 以上) なるに従い、舌と硬口蓋による圧縮に加えて、歯列に

Fig. 2 Visual representation of the intraoral process for the test food.

A through E are obtained from the X-ray video films and F shows the original photograph of C. The test food (V_2) was placed on the tip of the tongue in the first stage (A), then fixed between the hard palate and the tongue (B). C shows the maximum deformation of the food. The food finally crashed and swallowed (D and E).

Table 2 Intraoral preparations of the soft food for the swallowing.

(1) Compressional milling by the tongue and the hard palate.
(2) Slicing by the incisors and compression by the tongue and the hard palate.
(3) Grinding by the molars and compression by the tongue and the hard palate.
(4) Slicing by the insisors, grinding by the molars and compression by the tongue and the hard palate.

よる粉碎が先行するようになった。それらの咀嚼様式は、咀嚼に参加した器官別におおむね4種類に分類された (Table 2)。この分類を用い、形状の異なるゲル試料の咀嚼様式について検討を行った。

3. 試料の咀嚼時間

形状の異なる5種類の寒天 jelly の咀嚼時間を

Figure 3 に示す。咀嚼時間は試料の形状が大きくなるに伴い延長した。測定された咀嚼時間は、被験者全体では $V_1 : 1.5 \pm 0.9$ 秒, $V_2 : 2.5 \pm 1.4$ 秒, $V_3 : 3.8 \pm 1.9$ 秒, $V_4 : 4.7 \pm 2.2$ 秒および $V_5 : 6.3 \pm 2.1$ 秒であり, V_1 と V_2 , V_2 と V_3 および V_4 と V_5 の間に有意差が認められた。また, 5種類の中では, V_3 についてのみ男女間で有意

Fig. 3 Time from food-intake to the first deglutition for the test food.

The time between food-intake to deglutition when the five sets (V_1 - V_5) of the test food (0.5% agar) were given to forty subjects. Asterisks are indicating that there is a statistical difference (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$).

差が認められた。

4. 試料の咀嚼方法

形状の異なる5種類の寒天 jelly の咀嚼方法を、Figure 4 に示す。なお、咀嚼時間の測定結果より、男女間に大きな差異が認められなかったことから、結果は男女合わせて集計した。咀嚼方法は、試料の形状が大きくなるに伴い変化した。すなわち、体積の小さな V_1 および V_2 では、先のX線撮影による観察結果同様、被験者全員が舌と硬口蓋による圧縮のみで jelly を咀嚼した。しかし、 V_3 になると圧縮のみで咀嚼した被験者は10%で、90%の被験者は咀嚼に歯列の関与を必要とした。なお、 V_3 を圧縮のみで咀嚼した被験者は、全員が男性であった。一方、体積のより大きな V_4 および V_5 では、被験者全員が咀嚼に歯列の関与を必要とした。また、咀嚼に関与した歯種は、試料の体積が大きくなるに従い、切歯または臼歯から、切歯と臼歯の両者へと変化した。これらの結果は、X線撮影による結果とも一致した。

考 察

寒天やゼラチンは濃度を変えることにより、硬さをはじめとする種々の texture を任意に変化させることができる^{9,10)}。また、物質自体が呈味を示さないために、試料に味を付与することもできる。すなわち、同一の味を有しながら、texture の異なる種々の試料を調製することが可能である。これは、従来用いられてきた試料のように、硬さを変えるために種類や味の全く異なる材料を用いることなしに、咀嚼様式の検討を行える利点がある。さらに、組織が均質であることから、種々の形状に成形することも容易である。以上の点から、試料の形状、texture および味などが咀嚼運動に与える影響について検討するにあたり、寒天やゼラチンは最適な試料であると思われる。

本研究で用いた0.5%寒天 jelly は、任意の形に成形可能な jelly の中で、最も軟らかい硬さのものである。剪断法によりこの硬さを市販のゲル

Fig. 4 Graphical representation how the test foods were processed.

As the size of the food increased (V_1 to V_5) the mean to crash the test foods changed from the process with the tongue and the palate (compression alone) to that with the teeth as well as the tongue and the palate.

(1) Compressional milling by the tongue and the hard palate.

(2) Slicing by the incisors and compression by the tongue and the hard palate.

(3) Grinding by the molars and compression by the tongue and the hard palate.

(4) Slicing by the incisors, grinding by the molars and compression by the tongue and the hard palate.

試料と比較した結果、市販の bavarois や custard pudding とほぼ同様の硬さを、また歪は全試料の中で最小値を示した。柳沢ら (1989)¹¹⁾ は、Texturometer による試料の硬さ、凝集性、歪の測定値などより咀嚼筋活動量を推定し、寒天のようなゲル試料は、日常摂取される 144 品目の試料中で、最も咀嚼筋活動量の少ない試料であると報告している。本研究に用いた 0.5% 寒天 jelly は、柳沢らの測定した jelly よりもさらに硬さや歪量が小さく、咀嚼に要する咀嚼筋活動量はごくわずかと推察される。

咀嚼に歯列が関与するような硬い試料においては、V 型プランジャーを用いた剪断法による硬さが、咀嚼筋活動量とよく対応することが報告されている¹²⁾が、きわめて軟らかいゲル試料の場合には、必ずしも歯列が関与しないと考えられる。本研究において測定されたように、圧縮法による測定では、0.5% 寒天 jelly の硬さは bavarois や pudding よりわずかに大となった。William ら (1962)¹³⁾は、ヒトが舌を硬口蓋に押し付けることにより発生する圧力を測定し、その平均値が口蓋前方では 86 g/cm²、口蓋側方では 85 g/cm²、口蓋中央では 52 g/cm² であると報告している。本実験より計測された口腔内での jelly の圧縮破断に要する圧力 (88.9 ± 8.9 g/cm²) は、舌によって口蓋前方または側方において発生される圧力とおおむね等しいため、試料に用いた寒天 jelly や bavarois ならびに custard pudding は、舌と硬口蓋による圧縮によって破壊され得る硬さであることが判明した。しかし、卵豆腐や木綿豆腐のように、破断に要する圧力が舌の発生する圧力よりも大きなゲル試料の場合には、咀嚼に歯列の関与が必要となることが推察される。

従来より、X 線造影剤を試料に塗布または添加することで、試料の口腔内での拡がり^{14,15)}や嚥下の状態¹⁶⁾などが視覚的に研究されてきた。これらの研究は、咀嚼や嚥下における口腔諸器官の協調運動を記録するために行われたもので、嚥下までに多くの咀嚼運動を必要とする硬い試料や、液状の試料を用いて行われたものがほとんどである。そして、本研究における寒天 jelly のようなきわめて軟らかな試料を対象とした咀嚼様式に関する報告はない。本研究では、寒天ゾルに造影剤を添加しゲル化させることにより、jelly に造影剤を均質に分散させることができた。その結果、軟らかい試料の咀嚼様式のみならず、jelly の破断状態から、口腔内における jelly の歪量や硬さを初めて実測することができた。すなわち、口腔内における歪量の実測値 (0.22 ± 0.02 cm/cm) は、Texturometer により得られた値 (0.19 ± 0.00 cm/cm, Table 2) よりも、わずかに大きいことが明らかとなった。また、X 線映画より算出された口腔内での試料の硬さ (0.23 ± 0.02 kg) も、Texturo-

meter による測定値 (0.20 ± 0.02 kg) より、わずかに大きな値となった。試料の硬さや歪は、プランジャーによる圧縮速度の上昇に伴って増加することが知られており⁹⁾、X線撮影により得られた口腔内での硬さや歪が、Texturometer による測定よりも若干大きい値を記録したのは、舌の圧縮速度がプランジャーの圧縮速度よりも大きいためと推察される。これまで試料の物性測定は、ヒトの咀嚼運動に近い形で行われてきたが、両者の関係を直接証明する研究はなかった。本研究はX線撮影により、口腔内での試料の動態を観察し、これが Texturometer による測定値とほぼ一致することを初めて明らかにすることができた。

ヒトには一定の嚥下閾があるため、試料の硬さ^{17,18)}や重量¹⁹⁾が増すにつれて咀嚼時間は延長することが報告されている。このことに関しては、ネコ²⁰⁾およびウサギ²¹⁾を対象とした動物実験でも確認されている。しかし、それらは、歯列による粉碎を必要とするような硬い試料を用いて測定されたものがほとんどであるため、軟らかい試料と咀嚼時間との関係については明らかではない。本研究において同一の硬さの試料の形状(体積)を変化させて測定した結果、きわめて軟らかいゲル試料の場合にも、咀嚼時間は体積増加と比例して延長することが明らかとなった。すなわち、咀嚼時間は従来の硬い試料による測定結果同様、試料の量(本研究では形状)により影響を受けることが判明した。咀嚼時間の測定には、食品 texture の研究¹⁸⁾に採用されている自己計測法を用いた。自己計測した結果と、他者により計測した結果との比較は、特別行わなかった。したがって、絶対値の比較においては、若干の誤差が予想される。しかし、本研究では試料の形状と咀嚼時間の相対的比較を目的としており、5種類の試料の咀嚼時間を、同一の被験者により同一の条件で測定することで、測定法に起因する誤差は無視できると思われる。

X線撮影による解析から、0.5%寒天 jelly は、 $15 \times 15 \times 15$ mm 以下の大きさならば、舌と硬口蓋による圧縮のみで粉碎され、嚥下されることが確認された。しかし、形状が大きくなるに従い、歯列による粉碎過程も加わるようになった。その

ため、軟らかいゲル試料の場合にも、咀嚼様式は試料の形状によって影響を受けることが示唆された。堀尾、河村(1988)²²⁾らは、試料の texture が咀嚼運動に及ぼす影響を検討し、試料の硬度、剪断性が増すほど咬筋筋電図の振幅が増し、咬筋活動が大きくなることを報告している。この時、硬度の違いは歯根膜の感覚受容器により受容され、咬筋活動に強く影響すると考察している。本研究で用いた試料は、これまで咀嚼運動の研究に用いられた試料と比較してかなり軟らかなものである。このため、試料は舌と硬口蓋の圧縮により十分粉碎でき、食片の形状が小さければ歯列の関与なしに粉碎され嚥下された。歯列の関与しない、したがって、歯根膜感覚受容器の関与しない咀嚼過程には、口腔粘膜や舌の機械受容器が関与すると考えられる。Smith ら(1985)²³⁾は舌背と口蓋に非侵害性機械刺激を加え、あらかじめ保持した閉口筋活動に対する影響を観察した。その結果、口蓋の刺激に対しては咬合力の減少を、舌尖より後方の舌背刺激に対しては閉口力の増加を報告している。この結果は、舌尖と口蓋での圧縮過程が、閉口筋の活動を抑制し、歯列の関与を困難にしていることを示唆している。さらに、Hellstrand(1982)²⁴⁾は、ネコの口蓋を機械的に刺激することで、外舌筋への興奮性反射を観察している。すなわち、舌と口蓋による圧縮過程に、口蓋から舌筋への正の feedback の関与が示唆される。Boyd と Sherman(1975)²⁵⁾はパネリストに14種の硬さの試料を与えて研究した結果、咀嚼は試料の硬さが増加するに従い圧縮から咬断へと変化するのではないかと推察している。この時、ヒトは口腔内に試料を取り込んだ直後の、最初の咀嚼でその硬さを評価すると推察している。本研究では、硬さに加え、試料の形状(体積)が、この最初の咀嚼による評価の対象となっていることを明らかにしている。すなわち、試料の形状が V_1 から V_5 にその体積を増すに従って、咀嚼の方法が圧縮から咬断へと変化した(Fig. 3)。ここでも、咀嚼時間での観察同様、試料 V_3 にその特殊性が観察された。すなわち、 V_3 以上の形状になると、咀嚼に歯列による咬断や臼磨が加わるようになった。このことは、 V_3 を境界として、主たる咀嚼様式が、

圧縮から歯列の参加による咬断に変化したことを意味している。そのため、 V_3 の形状は、口腔内の感覚受容器が関与する反射制御の切り替え点(閾値)であると考えられる。Thexton (1973)²⁶⁾がネコを対象に行った実験から明らかにしているように、この閾値が口蓋刺激の面積だけでなく、刺激の速度にも左右されることから、舌による圧縮速度によってもこの閾値が変化することが予想される。 V_3 において歯列の参加する割合が女性において高いこと、そして、咀嚼時間に V_3 の形状で若干の性差が観察されたことは、舌の圧縮速度に性差があった結果とも考えられる。

以上の結果より、寒天 jelly のようにきわめて軟らかいゲル試料の場合にも、咀嚼様式は、試料の形状により影響を受けることが明らかとなった。口腔内の感覚入力咀嚼筋や舌筋の活動に影響を与えることは、多くの動物実験から明らかである²⁷⁻³¹⁾。

今後、試料の texture が咀嚼様式に及ぼす影響について検討する際、試料の形状に十分な注意をはらうことが必要である。本研究で用いた寒天 jelly の場合には、被験者全員が同一の方法、すなわち舌と硬口蓋で圧縮して咀嚼することが確認された $15 \times 15 \times 15$ mm 以下の大きさが適切であると結論された。

結 論

0.5% 寒天 jelly を試料に用いて、X線撮影に

より、軟らかい試料の咀嚼様式を検討した。その結果、軟らかい試料は歯列による粉碎過程を経ずに、舌と硬口蓋による圧縮運動のみによって咀嚼されることが明らかとなった。また、X線撮影により記録された試料の変形より、口腔内での試料の歪や硬さが初めて実測された。それらの値は、Texturometer により得られた値とほぼ一致することが確認された。

試料の形状が咀嚼様式に与える影響を検討した結果、形状(体積)の増加に伴い、試料の咀嚼時間および咀嚼方法が変化した。すなわち、試料の形状が $15 \times 15 \times 15$ mm 以下の場合には、被験者全員が舌と硬口蓋による圧縮で試料を咀嚼したが、形状が大きくなるに従って咀嚼に歯列が関与するようになり、主たる咀嚼様式が圧縮から咬断へと変化した。そのため、 $20 \times 20 \times 15$ mm という形状は、咀嚼様式の変化点(閾値)であることが判明した。

咀嚼様式に影響を及ぼす試料の性状としては、形状のほかに texture がある。今後は、圧縮から咬断へと咀嚼様式を変化させる texture の変化点について、検討が必要であると思われる。

本研究の一部は、平成2年度文部省科学研究費補助金奨励研究(A)の交付を受けて行われた。本研究の概要は、第33回歯科基礎医学会総会(1991年10月)において発表した。

抄録 : Bavarois や custard pudding と同様の硬さを持つ0.5% 寒天 jelly を使用して、軟らかい試料の咀嚼様式について調べた。X線映画の解析結果から、寒天 jelly のような軟らかい試料は、その形状が小さい場合には、舌と硬口蓋による圧縮により粉碎されて、嚥下されることがわかった。しかし、形状がある値($20 \times 20 \times 15$ mm)以上になった場合には、咀嚼に歯列による粉碎過程が加わることが明らかとなった。粉碎直前の試料の歪量は、Texturometer による測定値とほぼ一致しており、従来の機器測定値と、口腔内での実測値との関連がはじめて明らかとなった。捕捉から嚥下に至るまでの咀嚼時間は、試料の形状により変化した。 $20 \times 20 \times 15$ mm という形状は、咀嚼時間にも影響を及ぼすことが示唆された。以上の結果より、軟らかい試料の咀嚼様式について検討を行うためには、試料の形状を $15 \times 15 \times 15$ mm 以下に設定することが必要であると結論された。

文 献

1) Octavia, P., Beverly, B. and Willard, M. :

Effect of gum hardness on chewing pattern. *Exp. Neurol.* **92** : 502-512, 1986.

2) Horio, T. and Kawamura, Y. : Effects of

- texture of food on chewing patterns in the human subject. *J. Oral Rehabil.* **16** : 177-183, 1989.
- 3) 田村厚子, 柳沢幸江, 寺元芳子, 赤坂守人：食品の物性と摂食機能に関する研究 第2報 食品の物性による筋電図学的考案. *小児歯誌* **23** : 984-992, 1985.
 - 4) 津留宏道, 広田賢徳, 丸山剛郎, 明石貴雄：各種食品咀嚼時における咀嚼筋活動の筋電図学的研究 I 正常咬合者について. *補綴誌* **10** : 163-172, 1966.
 - 5) 桑原隆男, 高島史郎, 宮内修平, 丸山剛郎：各種食品が咀嚼運動に及ぼす影響に関する臨床的研究. *補綴誌* **31** : 661-674, 1987.
 - 6) Maruyama, T., Higashi, K., Mizumori, T., Miyauchi, S. and Kuroda, T. : Clinical studies on consistency of chewing movements—Chewing path for the same food—. *J. Osaka Univ. Dent. Sch.*, **25** : 49-61, 1985.
 - 7) Ahlgren, J. : Mechanism of mastication. *Acta Odont. Scand.* **24**(Suppl. **44**) : 1-109, 1966.
 - 8) 瑞森崇弘, 桑原隆男, 西尾公一, 宮内修平, 丸山剛郎：咀嚼運動に関する臨床的研究 食品の大きさ・固さの影響について. *補綴誌* **29** : 1062-1069, 1985.
 - 9) 大村公仁子, 赤羽ひろ, 中浜信子：寒天ゲルの破断特性について. *家政誌* **29** : 22-27, 1978.
 - 10) Szczesniak, A.S. and MacAllister, R.V. : Study of gelatin gels and the effect of urea on their formation. *J. Appl. Polym. Sci.* **8** : 1391-1401, 1964.
 - 11) 柳沢幸江, 田村厚子, 寺元芳子, 赤坂守人：食物の咀嚼筋活動量, 及び食物分類に関する研究. *小児歯誌* **27** : 74-84, 1989.
 - 12) 柳沢幸江, 田村厚子, 寺元芳子：咀嚼筋活動量とテクスチュロメーター測定値との相関性. *家政誌* **40** : 1011-1016, 1989.
 - 13) William, L.K. and James, M.T. : Tongue pressures exerted on the hard palate during swallowing. *J. Am. Dent. Assoc.* **65** : 319-330, 1962.
 - 14) Sheppard, I.M., Rakoff, S. and Sheppard, S.M. : Bolus placement during mastication. *J. Pros. Dent.* **20** : 506-510, 1968.
 - 15) Watson, R.M. : Masticatory ability-cineradiographic observations. *J. Dent.* **1** : 54-60, 1972.
 - 16) Rushmer, R.F. and Hendron, J.A. : The act of deglutition : A cinefluorographic study. *J. Appl. Physiol.* **3** : 622-630, 1951.
 - 17) 中村隆志：咀嚼運動調節機構の生理的特性に関する研究. *阪大歯学誌* **32** : 36-55, 1987.
 - 18) 木幡浩子, 原田 務, 松久保隆, 高江州義矩：市販加工食品の食感の唾液分泌および咀嚼時間に及ぼす影響. *栄養誌* **40** : 299-305, 1987.
 - 19) 田中康隆, 虫本栄子, 三谷春保：咀嚼運動のEMG 的検査に用いる各種被検食品の適量について. *歯科医学* **48** : 242-257, 1985.
 - 20) Thexton, A.J., Hiiemae, K.M. and Crompton, A.W. : Food consistency and bite size as regulators of jaw movement during feeding in the cat. *J. Neurophysiol.* **44** : 456-474, 1980.
 - 21) Morimoto, T., Inoue, T., Nakamura, T. and Kawamura, Y. : Characteristics of rhythmic jaw movements of the rabbit. *Arch. Oral Biol.* **30** : 673-677, 1985.
 - 22) 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.
 - 23) Smith, A., Moore, C.A., Weber, C.M., McFarland, D.H. and Moon, J.B. : Reflex responses of the human jaw-closing system depend on the locus of intraoral mechanical stimulation. *Exp. Neurol.* **90** : 489-509, 1985.
 - 24) Hellstrand, E. : Reflex control of cat extrinsic and intrinsic tongue muscles exerted by intraoral receptors. *Acta Physiol. Scand.* **115** : 245-256, 1982.
 - 25) Boyd, J.V. and Sherman, P. : A study of force-compression conditions associated with hardness evaluation. *J. Texture Studies* **6** : 507-522, 1975.
 - 26) Thexton, A.J. : Oral reflexes elicited by mechanical stimulation of palatal mucosa in the cat. *Archs. Oral Biol.* **18** : 971-980, 1973.
 - 27) Yokota, T., Suzuki, K. and Nakano, K. : Reflex control of extrinsic tongue muscle activities by lingual mechanoreceptors. *Jap. J. Physiol.* **24** : 73-91, 1974.
 - 28) Morimoto, T. : Perception of intraoral stimulation, In : *Neurophysiology of the Jaws and Teeth* (ed. by A. Taylor), pp. 369-390, Macmillan Press, London, 1990.
 - 29) Van Willigen, J.D. and Weijs-Boot, J. : Phasic and rhythmic responses of the oral musculature to mechanical stimulation of the rat palate. *Archs. Oral Biol.* **29** : 7-11, 1984.
 - 30) Jüch, P.J.W., Van Willigen, J.D., Broekhuijsen, M.L. and Ballintijn C.M. : Masseter, digastric and omohyoid responses from weak mechanical oral stimuli in the chewing rat. *Brain Behav. Evol.* **25** : 166-174, 1984.
 - 31) Jüch, P.J.W., Oomen, C.A.M. and Van Willigen, J.D. : The effect of infrahyoid-muscle tenotomy on orofacial motor activity in the rat. *Archs. Oral Biol.* **33** : 511-517, 1988.