嚥 下 の 閾 に つ い て

九州歯科大学生理学講座 (指導: 中原 敏教授)

中 村 修 一

昭和57年4月28日受付

On Factors Effecting Swallowing Threshold

Shuichi Nakamura

Department of Physiology (Director : Prof. Satoshi Nakahara)
Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

The purpose of the present paper is to investigate factors related with swallowing threshold ceased from mastication and beginning on swallowing in feeding. It seems that the number of masticatory strokes and the size of masticated foods were most important for swallowing threshold. Therefore, in this experiment, the variation of the number of masticatory strokes was examined by tests of ten times, feeding raw rice, and the relationship between the number of masticatory strokes and masticatory performance or size of foods in swallowing was investigated.

The results obtained were as follows:

1. The number of masticatory strokes for 5g peanuts to swallowing on 21 subjects were average 43.5 ± 17.3 times and coefficient of variation was 39.5%. This value of each subject was different with one another.

The masticatory performance of these subjects was average 4.5 ± 0.6 Kg.cm/g. The correlation coefficient of masticatory performance and the number of masticatory strokes was 0.11, there was no correlation between them.

2. The coefficient of variation for the number of masticatory strokes in same individual examined by repeating tests masticated 1g raw rice to swallowing on 15 subjects was 11.1%. This value of each individual was stable relatively.

The distribution of particle size of raw rice masticated by same number of strokes as this test was following the Rosin-Rammlar comminution rule.

There was no correlation between the volume of test foods passed through 100 mesh of a sieve and the masticatory performance.

3. The smaller the particle size of raw rice pulverized by a mortar, the fewer the number of masticated strokes.

緒 言

通常、食物を咀嚼し嚥下するのは無意識のうちにやっている。ある程度、食物が咀嚼されると自然に嚥下されるが、このとき咀嚼をやめ、嚥下に移るのはどんな情報によるのであろうか。本実験では嚥下を開始する情報となりうると思われる咀嚼回数、咀嚼時間を数回記録した筋電図で調べ、その値の変動や食物の粉碎度との関係調べた。

研究 方 法

I. 咀嚼能力について

被験者は18才から25才までの、悪習慣をもたない正常咬合と思われる成人21名である。まず全被験者の咀嚼能力を調べた。咀嚼能力は佐藤 (1958)¹⁾ の人工の咀嚼試料を用い、太田 (1966)²⁾ の表示法を応用して求めた。

被験者に人工の咀嚼試料 (以下人工試料と略す) を5 g 与え、1秒1回のリズムで10回嚥ませた。ついで咀嚼した人工試料を回収し篩で 8・14・28・48・100 Mesh の順に篩い分けた。この粉碎粒子の粒度分布が Rosin-Rammlar の粉碎の法則、

$$y = e^{-bx^n}$$

(y は篩上げ量, x は粒子径, e は自然対数の底, b と n は粉碎機構を示す恒数) を満足することを確認した後、太田の方程式、

$$y = -4.98 \times 10^{-4} x^2 - 0.13 \times 10^{-2} x + 5.86$$

(y は咀嚼の仕事量, x は 8 Mesh の篩上げ重量パーセント) を応用して咀嚼のエネルギーを求めた。

II. 咀嚼時の咬筋筋電図

同じ21名の被験者にピーナッツ 5 g を与え、自然に嚥下するまで咀嚼させ、その時の咬筋筋電図を記録した。筋電図は中原ら (1971)³⁾ や中村 (1981)⁴⁾ の方法に従い両側咬筋より導出し、フィルム速度 5 cm/sec で記録を行なった。この筋電図から咀嚼回数、咀嚼時間および咀嚼のリズムを測定した。

III. 嚥下時における試料の粉碎状態について

18才から25才までの成人15名について、嚥下時の試料の粉碎状態を調べた。すなわち、試料に生米 1 g を用い、自然に嚥下するまでの咬筋の筋電図を記録した。同じテストを10回繰り返し、嚥下するまでの咀嚼回数の平均値を求めた。次に同一被験者に同じ試料を与え、この平均咀嚼回数で新たに咀嚼させ、その後、咀嚼した試料

を容器に吐き出させて回収した。回収した試料は Tyler 式標準篩 (8・14・28・48・100 Mesh) で水篩しアセトンに浸した後、乾燥させ各篩の篩上げ重量パーセントを求めた。

IV. 嚥下におよぼす咀嚼試料の粒子の大きさについて
被験者はIIの実験と同じ15名で行なった。試料の粒子の大きさを変えた時、嚥下にどのような変化があるかを調べた。試料には生米を使用した。予め乳鉢で粉碎した生米を Tyler の篩 (8・14・28・48・100 Mesh) にかけて、各々の篩い上げられた生米を 1 g づつ秤量した。この生米を被験者に与え、嚥下するまで自然に嚥ませ、筋電図でその咀嚼回数を測定した。

研 究 結 果

I. 咀嚼能力について

被験者21名について求めた咀嚼能力を Table 1 に示す。8 Mesh の篩上げ重量の平均値は、 $49.5 \pm 12.1\%$ であった。咀嚼能力の平均は $4.5 \pm 0.6 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ であり、被験者中最大の咀嚼能力値は $5.3 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ 、最小値は $3.2 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ であった。

II. 咀嚼時の咬筋筋電図

正常咬合21名に試料 (ピーナッツ 5 g) を与え嚥下するまでの咬筋筋電図を記録した。この記録より咀嚼回数・咀嚼時間・咀嚼リズムを求めた (Table 2)。

咀嚼回数の平均は 43.5 ± 17.3 回で変異係数は 39.4% であった。咀嚼回数の最も多いのは94回であり最も少ないのは29回であった。Fig. 1 に比較的よく嚥んだ人 (54回) とあまり嚥まなかった人 (40回) の筋電図を示す。なお実際の測定は図1の記録より早いスピードで記録観察した。

咀嚼時間の平均は 31.2 ± 11.0 秒であり変異係数は 35.1% であった。咀嚼時間の最も長い人は66.6秒であり、最も短い人は19.5秒であった。咀嚼1回当たりの平均の咀嚼時間は0.71秒であり、咀嚼のリズムの平均は 1.5 Hz であった。咀嚼リズムで最も早い人は 2.1 Hz であり、最も遅い人は 1.0 Hz であった。Fig. 2 に咀嚼回数と咀嚼時間の関係を示す、両者の相関係数は0.80であった。

咀嚼能力と嚥下までの咀嚼回数との相関関係を Fig. 3 に示す。両者の相関係数 r は0.11であった。

III. 嚥下時における試料の粉碎状態について

被験者15名に試料 (生米) 1 g を与え、嚥下するまで自然に咀嚼させるテストを10回繰り返し、左右咬筋の筋電図を記録した (Fig. 4)。Table 3 はこの筋電図から

Table 1 Masticatory performance of 21 normal occlusal subjects. The average of the masticatory performance were 4.5 ± 0.6 kg. cm/g.

Case	Masticatory Performance	
	Over size % (8 Mesh)	kg. cm/g
1	59.4 %	4.0
2	35.9	5.3
3	34.4	5.2
4	43.3	4.9
5	44.7	4.8
6	39.1	5.0
7	34.4	5.2
8	57.9	4.1
9	41.8	4.9
10	54.9	4.3
11	33.3	5.3
12	64.3	3.7
13	54.7	4.3
14	56.1	4.2
15	68.0	3.5
16	71.8	3.2
17	49.9	4.6
18	61.5	3.9
19	57.9	4.1
20	37.9	5.1
21	38.5	5.1
Mean	49.5	4.5
SD	12.1	0.6

Table 2 The number of strokes and the duration of mastication of normal occlusal subjects to swallowing.

Case	Number of strokes	Duration of mastication sec.	Chewing rhythm Hz
1	56	40.1	1.4
2	51	44.0	1.2
3	34	33.1	1.0
4	94	59.3	1.6
5	43	31.3	1.4
6	45	41.3	1.1
7	30	21.5	1.4
8	43	26.7	1.6
9	29	19.4	1.5
10	37	20.5	1.8
11	48	29.4	1.6
12	40	19.4	2.1
13	36	19.4	1.9
14	42	24.9	1.7
15	37	18.4	2.0
16	35	35.4	1.0
17	45	43.7	1.0
18	53	34.5	1.5
19	46	24.5	1.9
20	67	43.5	1.5
21	29	25.7	1.1
Mean	43.5	31.2	1.5
SD	17.3	11.0	0.3

Fig. 1 Two typical cases of electromyogram of both masseter muscles during mastication of the test food to swallowing.

Upper and lower trace in each record indicate the discharge from the left and the right masseter muscle respectively. The number of strokes in case A and B were 54 and 40 times respectively.

測定した咀嚼回数, 咀嚼時間, 咀嚼リズムを示したものである. Fig. 4 の筋電図から明らかなように各被験者とも嚥下にいたるまでの咀嚼時間と回数には若干のばらつきがあるが, 各測定値の平均値を標準偏差で除した変異係数の平均は咀嚼回数で11.1%・咀嚼時間で10.5%を示し比較的安定していることがわかる. 被験者で最も多く噛んだ人は90回であり, 最も少ない人は25回であった.

次に10回のテストで得た嚥下までの平均咀嚼回数で試料を噛ませ, 吐き出させた咀嚼試料の粒度分布を Table 4 に示す. 試料はそれぞれ 8・14・28・48・100 Mesh の篩で篩い上げられている. 100 Mesh の篩を通過した試料は平均で46.6%であった. 15名の被験者の平均篩い上げ量は 8 Mesh $2.0 \pm 2.6\%$ ・14 Mesh $6.9 \pm 6.9\%$ ・28 Mesh $17.2 \pm 6.7\%$ ・48 Mesh $16.8 \pm 2.6\%$ ・100 Mesh

Fig. 2 The relationship between the duration of mastication and the number of strokes.

The correlation coefficient of the duration of mastication and the number of strokes was 0.80, there was a correlation between them.

Fig. 3 The relationship between the number of strokes and masticatory performance.

The correlation coefficient of the number of strokes and masticatory performance was 0.11, there was no correlation between them.

$10.4 \pm 2.4\%$ であり、28 Mesh と 48 Mesh にピークを示した (Fig. 5)。またこれら被験者全員の咀嚼粉碎粒子の粒度分布は Rosin-Rammler の粉碎の法則を示す

二重対数粒度線図上でおおむね直線になっていることを確認した。

各被験者について 100 Mesh の篩を通過した試料の重量と咀嚼能力との相関係数 r は 0.15 であり、両者の間に相関関係は認められなかった。

Fig. 4 The electromyogram of both masseter muscles in the same subject at mastication tests of 10 times.

Table 4 The distribution of the particle size of the masticated test food when swallowing.

Case	Percentage of weigh oversize				
	8 Mesh	14 Mesh	28 Mesh	48 Mesh	100 Mesh
1	4.4	13.6	30.1	16.1	7.5
2	7.3	22.1	22.1	21.0	11.7
3	0.0	9.7	20.4	17.7	9.7
4	0.0	1.9	12.7	22.3	14.9
5	0.0	1.2	12.8	17.5	11.4
6	0.0	1.5	8.5	15.3	12.5
7	0.0	3.7	18.0	18.2	14.1
8	0.0	8.8	23.5	16.1	8.1
9	3.1	2.7	17.5	15.0	10.5
10	5.5	17.8	23.9	15.3	8.1
11	2.0	1.6	11.3	17.0	11.8
12	0.0	1.2	6.9	12.8	10.5
13	2.0	3.0	13.3	18.0	10.1
14	0.0	0.7	13.0	17.2	9.1
15	6.2	14.0	24.2	12.5	6.2
Mean	2.0	6.9	17.2	16.8	10.4
SD	2.6	6.9	6.7	2.6	2.4

Table 3 The average of the number of strokes and the duration of mastication at mastication test of ten times.

Case	Number of strokes			Duration of mastication			Chewing rhythm
	Mean	SD	Coefficient of variation	Mean	SD	Coefficient of variation	
1	37.0	2.7	7.3	26.6	3.3	12.4	1.4
2	35.9	3.5	9.7	21.9	2.1	9.6	1.6
3	43.6	6.6	15.1	43.0	5.3	12.3	1.0
4	45.5	6.3	13.8	27.8	2.3	8.3	1.6
5	45.1	2.6	5.7	30.9	1.8	5.8	1.5
6	43.0	7.6	17.6	37.6	6.6	17.5	1.1
7	39.9	3.5	8.7	25.4	2.4	9.4	1.6
8	25.5	2.6	10.1	19.5	1.5	7.7	1.3
9	36.6	7.2	19.6	30.6	5.1	16.6	1.2
10	37.8	4.9	12.9	27.8	3.9	14.0	1.4
11	44.7	4.9	10.9	31.2	2.5	8.0	1.4
12	56.5	4.1	7.2	45.3	3.4	7.5	1.2
13	35.8	3.4	9.4	26.8	2.6	9.7	1.3
14	90.0	10.1	11.2	66.6	9.8	14.7	1.4
15	82.5	5.5	6.6	54.7	2.2	4.0	1.5

Fig. 5 The distribution of the particle size of the test food at the time of swallowing.

The degree of pulverization was highest on 28 Mesh and 48 Mesh sieves, the greatest number of particles were remained on them.

Table 5 Correlation between test foods of 4 different particle size and the number of strokes.

Case	Number of strokes				
	8 Mesh	14 Mesh	28 Mesh	48 Mesh	100 Mesh
1	36	33	21	21	16
2	38	36	27	22	10
3	23	30	20	16	11
4	40	42	50	32	12
5	33	29	23	18	13
6	44	40	32	30	13
7	40	37	34	33	24
8	45	33	24	25	20
9	48	38	28	25	11
10	35	28	25	23	19
11	35	33	32	24	16
12	36	34	32	19	13
13	51	61	55	48	38
14	87	72	71	66	29
15	76	73	61	47	46
Mean	44.5	41.3	35.7	30.0	19.4
SD	16.5	14.9	15.9	13.8	10.6

IV. 嚥下におよぼす咀嚼試料の粒子の大きさの違いについて

Table 5 に粒子の大きさの違いによる嚥下までの咀嚼回数の変動を示す。試料の違いによる嚥下までの平均咀嚼回数は 8 Mesh で 44.5 ± 16.5 回・14 Mesh で 41.3 ± 14.9 回・28 Mesh で 35.7 ± 15.9 回・48 Mesh で 30.0 ± 13.8 回・100 Mesh で 19.4 ± 10.6 回であった。Fig. 6 は両者の関係をグラフにしたものである。粒子が小さくなれば咀嚼回数はほぼ直線的に少なくなることがわかる。なお、これらの試料は粉末であるので食塊が形成しにくいと思われるので、同一被験者に食塊を形成しやすくするために水 5 c.c. と一緒に試料を与え、嚥下までの咀嚼回数に変化があるかどうか調べた。その結果 8 Mesh, 14 Mesh, 28 Mesh の試料では有意の差はなかったが、48 Mesh で 23.7%、100 Mesh で 35.1% 咀嚼回数が減少した。

Fig. 6 The relationship between the number of strokes and the particle size of the test food.

The smaller the particle of the test food, the fewer the number of strokes.

考 察

嚥下を誘発するもの、すなわち嚥下の閾値に関与する因子には、咀嚼された食物の粉碎程度・粘弾性・温度・化学物質の溶解度などの物理化学的性状や嚥下までの習慣的な咀嚼運動（咀嚼時間、咀嚼回数）などが考えられる。

著者は、正常咬合者21名を対象に嚥下までの咀嚼運動（咀嚼時間、咀嚼回数）と咀嚼能力との関係について実

験を行った。Dahlberg (1946)⁵⁾ は嚥下までの咀嚼回数は個人の習慣により固定されており、歯の状態にはあまり影響されないと報告している。Neill (1967)⁶⁾ は咀嚼能力と嚥下までの咀嚼回数との関係を6名の総義歯患者について調べ、両者間に相関がないことを報告している。Yurkstas (1951)⁷⁾ は103名の被験者について咀嚼能力と嚥下までの咀嚼回数について調べ、両者の相関係数 r は0.218であり、咀嚼能力と咀嚼回数に相関がなかったことを報告している。Neill (1967)⁶⁾ や Yurkstas (1951)⁷⁾ の実験において咀嚼能力の検定は Manly and Braley (1950)⁸⁾ の方法に従って行なわれている。この方法は試料にピーナッツを使用し、咀嚼後回収し10 Mesh スクリーンの通過量をもって咀嚼能力と表示するものである。天然の咀嚼試料では回収後の乾燥等に問題があるので著者は人工試料を用いて実験を行った。すなわち咀嚼能力の検定に佐藤 (1958)¹⁾ の人工試料を用い、太田 (1966)²⁾ のエネルギーによる表示法を応用した。その結果、正常咬合者21名における咀嚼能力と嚥下までの咀嚼回数との相関関数 r は0.11 (Fig. 3) であり、Neill (1967)⁶⁾ や Yurkstas (1951)⁷⁾ たちと同様に、両者に相関が認められなかった。

Yurkstas (1951)⁷⁾ は嚥下時の咀嚼試料の大きさ (10 Mesh 篩の通過量) と咀嚼能力との相関係数 r は0.702で両者の間に相関があることを認めている。また、Manly and Vinton (1950)⁹⁾ もピーナッツと人参を使って、咀嚼能力と嚥下時粒子の粉碎程度の間に相関があることを報告している。以上の結果は咀嚼能力の高い人は低い人に比べ嚥下時の食物の粉碎程度が良いということを示すものである。しかし咀嚼能力と咀嚼回数との間に相関が認められないことから、咀嚼能力の低い人がそれを回復補償するために咀嚼回数を増すようなことはしないと考えられる。しかしながら、著者の実験結果では咀嚼能力と嚥下時試料の粉碎程度との相関係数 r は0.15であり、両者の間にも相関はないようであった。この結果は上述の Yurkstas (1951)⁷⁾ や Manly and Vinton (1950)⁹⁾ らの結果と相反するものである。

本実験での結果と相違したのは試料の違いや嚥下時試料の回収方法が異なることなどが影響しているものと思われる。この点については今後の検討が必要であろう。

一方、試料の粒子の大きさを変えた時の嚥下までの咀嚼回数は、試料の粒子が小さくなるにつれて、咀嚼回数も減少した。

これらの実験結果を総合すると嚥下の閾値には、個人の習慣が強く影響し、咀嚼回数や嚥下時の食物の粒子に

関しても個人によってある決まった値が存在すると思われる。

最後に swallowing threshold (嚥下閾) という語に関して Shiere and Manly (1952)¹⁰⁾ は嚥下までの咀嚼回数で表わし, Yurkstas (1951)⁷⁾ は嚥下時粒子の粉碎程度で表わしている。著者は嚥下の閾値に関与する因子は多く考えられるので, 咀嚼回数や粉碎程度などの単一の因子をもって表示することは困難であると考え。

総 括

正常咬合と思われる18～21才の被験者について, 食品咀嚼時の咬筋筋電図を数回記録し各記録での咀嚼時間, 咀嚼回数の変動を調べた。また, 各被験者の咀嚼時間および咀嚼回数と咀嚼能力や食物の粒の大きさとの関係について調べた。なお, 咀嚼能力は太田の方法により, また粒子の大きさは Tyler の篩を用い篩い分けた。

得られた結果を要約すると次のとおりである。

1. 21名の被験者の咀嚼能力は平均 $4.5 \pm 0.6 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{g}$ であった。
2. ピーナッツ 5 g を嚥下するまでの咀嚼回数は平均 43.5 ± 17.3 回であった。被験者間の咀嚼回数の変異係数

は39.5%であった。咀嚼能力と咀嚼回数との相関係数 r は0.11で, 両者の間には相関は認められなかった。

また, 平均の咀嚼時間は 31.2 ± 11.0 秒であり, 咀嚼回数と同様に個人差がかなり大きかった。

咀嚼のリズムは平均1.5 Hz であった。

3. 15名の被験者に, 生米 1 g を自然に咀嚼させる実験を10回行なわせ平均咀嚼回数および平均咀嚼時間を求めた。全被験者における変異係数は咀嚼回数で11.1%, 咀嚼時間で10.5%であり, 両者とも個人で比較的安定していた。

この10回のテストで得られた各被験者の平均咀嚼回数で, あらたに生米 1 g を咀嚼させ, 回収しその粒度分布を調べた。粒子の分布曲線は Rosin-Rammlar の粉碎の法則を満足し, 篩上げ量は28 Mesh と48 Mesh のものが多かった。各被験者の100 Mesh の篩を通過した試料と咀嚼能力との相関関係は認められなかった。

4. 生米を粉碎して小さな粒子としたとき咀嚼回数は減少した。

稿を終えるに臨み, ご指導とご校閲をいただいた中原敏教授に衷心より深謝いたします。

引 用 文 献

- 1) 佐藤通泰: 咀嚼能率の測定に使用する人工試料の研究. 九州歯会誌 12: 440—457, 1958.
- 2) 太田俊平: エネルギーによる咀嚼能力の表示法. 九州歯会誌 20: 69—84, 1966.
- 3) 中原 敏・本田栄子・大曲統司明・中村修一・井上 功: 両側咬筋の放電活動の差異について. 九州歯会誌 24: 400—407, 1971.
- 4) 中村修一: 半導体光位置検出器 (PSD) を応用した下顎運動記録装置に関する研究. 九州歯会誌 35: 343—358, 1981.
- 5) Dahlberg, B.: The masticatory habits. An analysis of the number of chews when consuming food. *J. Dent. Res.* 25: 67—72, 1946.
- 6) Neill, D.J.: Studies of tooth contact in complete dentures. *Br. Dent. J.* 123: 369—378, 1967.
- 7) Yurkstas, A.: Compensation for inadequate mastication. *Br. Dent. J.* 91: 261—262, 1951.
- 8) Manly, R.S. and Braley, L.C.: Masticatory performance and efficiency. *J. Dent. Res.* 29: 448—462, 1950.
- 9) Manly, R.S. and Vinton, P.: Factors influencing denture function. *J. Prosthet. Dent.* 1: 578—586, 1951.
- 10) Shiere, F.R. and Manly, R.S.: The effect of the changing dentition on masticatory function, *J. Dent. Res.* 31: 526—534, 1952.