原 著 論 文

嚥下閾からみた全部床義歯装着者の咀嚼機能評価

越野 寿 平井 敏博 横山 雄一 牧浦 哲司
松実 珠千 田中 慎介 田中 真樹 岩崎 一生

Method of Evaluating Masticatory Function at Swallowing Threshold for Complete Denture Wearers

Koshino Hisashi, Hirai Toshihiro, Yokoyama Yuichi, Makiura Tetsuji,
Matsumi Tamachi, Tanaka Shinsuke, Tanaka Maki and Iwasaki Kazuo

歯科補綴学的意義

全部床義歯装着者の咀嚼機能評価のために、ピーナッツ咀嚼時の嚥下閾に至るまでの咀嚼回数、嚥下閾の食塊の物性と咀嚼効率を測定、検討した。その結果、嚥下閾に至るまでの咀嚼回数と咀嚼効率との間には統計学的に有意な負の相関が認められ、嚥下閾に至るまでの咀嚼回数が、摂食・嚥下機能を示す指標になり得ることが示唆された。

抄 録

本研究では、食物の粉碎から食塊形成までの一連の機能を評価する方法を確立することを目的として、ピーナッツ咀嚼による咀嚼効率の測定、嚥下閾に至るまでの咀嚼回数ならびにそのときの食塊の物性を測定し、検討を加えた。被験者は、顎口腔系機能に自覚的・他覚的な異常が認められない正常有歯顎者男性9名（有歯顎群：平均年齢 30.1 ± 3.5 歳）と本学歯科内科クリニック総合診療室で無歯顎補綴治療を受け、良好な経過を辿っている上下顎全部床義歯装着者男性8名（全部床群：平均年齢 68.3 ± 4.9 歳）である。なお、実験はすべての被験者に対してその趣旨を十分に説明し、同意を得た上で開始した。

得られた結果は以下の通りである。

1. 嚥下閾におけるピーナッツ食塊の硬さ応力は、有歯顎群と全部床群との間に有意な差は認められなかった。
2. 嚥下閾に至るまでの咀嚼回数は、有歯顎群と全部床群との間に有意な差が認められた ($P < 0.01$)。
3. 全部床群においては、有歯顎群に比較して咀嚼効率が低いことを咀嚼回数の増加で補完している可能性が示された。
4. 有歯顎群、全部床群において、咀嚼効率と嚥下閾に至るまでの咀嚼回数との間には、ともに負の相関が認められた。

以上の結果から、全部床義歯装着者におけるピーナッツ咀嚼時の嚥下閾に至るまでの咀嚼回数が摂食・嚥下機能を示すパラメータになり得ることが示された。

和文キーワード

咀嚼, 嚥下, 嚥下閾, 硬さ応力, 咀嚼回数

I. 緒 言

咀嚼とは、食物を口腔内に取り込んでから、これを噛み砕き、唾液を混ぜながら食塊を形成し、食塊を咽頭から食道へ移動させる嚥下に至るまでの一連の過程を意味している。

従来、咀嚼機能の評価においては、効率よく食物を粉碎できるか否かの観点からの検討が多くなされてきた¹⁻⁸⁾。すなわち、Manly ら¹⁾、Hirai ら⁶⁾、Ishijima ら⁷⁾ はピーナッツを試験食品として、また、石原²⁾ は生米を試験食品として、一定の咀嚼条件によってピーナッツあるいは生米の粉碎程度から咀嚼効率を算出した。また、今村³⁾ は吸光光度計を用いて試験食品の粉碎程度を、古谷ら⁵⁾、志賀ら⁸⁾ はグミゼリーを用い、溶出した成分から試験食品の粉碎程度を測定し、咀嚼機能の評価する方法を報告している。これらの方法による咀嚼機能評価は、補綴装置や治療法の改良に大きく貢献してきたといえる。一方、咀嚼の過程を食品の取り込みから嚥下に至るまでと捉えて、摂食・嚥下機能として評価する方法についての検討はほとんどなされていない^{9,10)}。なお、Feldman らは¹¹⁾、嚥下関における食塊の物性を、Shiozawa ら^{12,13)} は、食塊の物性と舌運動との関係を検討している。

近年、とくに高齢者における摂食・咀嚼・嚥下機能の回復程度がQOLの向上にも影響することが示唆されており¹⁴⁾、咀嚼・嚥下を一連の機能と捉え、評価することが重要と考える。このことから、著者らは、正常有歯顎者を被験者として、種々の食品摂取時の嚥下関に至るまでの咀嚼回数ならびに嚥下関における食塊の物性、ピーナッツ咀嚼時の咀嚼効率を測定、検討した。その結果、食品の種類にかかわらず、嚥下関に至った時点の食塊の硬さ応力は30 kPa以下であること、また、咀嚼効率と嚥下関に至るまでの咀嚼回数との間には統計学的に有意な負の相関があることを報告した¹⁵⁾。この結果を踏まえて、著者らは、全部床義歯装着者においても、咀嚼効率と嚥下に至るまでの咀嚼回数との間には統計学的に有意な負の相関が認められるとの仮説を設定した。

本研究では、食物の粉碎と食塊形成までの一連の機能の評価する方法を確立することを目的として、ピーナッツ咀嚼による咀嚼効率の測定、嚥下関に至るまで

図1 Creepmeter system (Yamaden, RE-3305S, HC-3305)
Left: whole of system
Right: Pranger and control unit
クリープメータ物性試験システム (山電社製 RE-3305S, HC-3305)
左図: システム全体
右図: プランジャーと制御部分

の咀嚼回数ならびにそのときの食塊の物性について検討を加えた。

II. 方 法

1. 被験者

本研究の被験者として、顎口腔系機能に自覚的・他覚的な異常が認められない正常有歯顎者男性9名（有歯顎群：平均年齢 30.1 ± 3.5 歳）と本学歯科内科クリニック総合診療室で無歯顎補綴治療を受け、良好な経過を辿っている上下顎全部床義歯装着者男性8名（全部床群：平均年齢 68.3 ± 4.9 歳）を選択した。なお、実験はすべての被験者に対してその趣旨を十分に説明し、同意を得た上で開始した。

2. 嚥下関に至るまでの咀嚼回数および食塊の硬さ応力、付着性の測定方法

両被験者群に、ピーナッツ約3 gを自由咀嚼させ、嚥下直前に吐き出させる行為を3回繰り返し、試料を採取するとともに、咀嚼回数を測定した。続いて、クリープメータ物性試験システム（山電社製 RE-3305S, HC-3305）およびクリープメータ自動解析装置（山電社製 PCI-3305）（図1）を用いて、採取した3回分の食塊の硬さ応力、凝集性、付着性を測定した。なお、テクスチャーの測定に際しては、厚生省通知の「高齢者用食品の表示許可の取り扱いについて」に準拠して、直径40 mm、高さ15 mmのステンレス製容

図2 Number of chewing strokes until swallowing threshold
嚥下閾に至るまでの咀嚼回数

図3 Hardness of bolus at swallowing threshold
食塊の硬さ応力

器に試験食品を満たし、これに対して直径 20 mm のプランジャーを用い、クリアランス 5 mm, 圧縮速度 10 mm/sec にて、2 回圧縮し、硬さ応力、凝集性、付着性の各々を算出した¹⁶⁾。

3. 咀嚼効率の測定方法

咀嚼効率の測定には篩分法を用いた。すなわち、3 g のピーナッツを 20 回咀嚼させた後、粉碎されたピーナッツの全量を回収する操作を 3 回繰り返し、その全量を試料とした。この試料を 5, 10, 20, 40 mesh の篩で篩分し、各篩上のピーナッツ容積を測定し、全篩上残留量に対する 5 mesh 篩い通過量の百分率を咀嚼効率として算出した。なお、各篩上のピーナッツ容積の測定に際しては、Kapur ら¹⁷⁾の方法に準じ、篩上のピーナッツ片を目盛り付きスピッチグラスに移し、毎分 1500 回転の遠心分離後に計測を行った。

4. 統計処理方法

群間の比較には t-test を、2 者間の相関の検討には単回帰分析法を用いた (SPSS Inc, SPSS for Windows)。

III. 結 果

1. 嚥下閾に至るまでの咀嚼回数および食塊の硬さ応力、凝集性、付着性

有歯顎群 9 名のピーナッツ咀嚼時の嚥下閾に至るまでの咀嚼回数の平均値および標準偏差は 21.9 ± 11.3 回

図4 Stickiness of bolus at swallowing threshold
食塊の付着性

であった。一方、全部床群 8 名のそれらは 33.1 ± 5.1 回であり、全部床群の咀嚼回数は有歯顎群のそれに比して有意に高い値を示した ($P < 0.01$) (図 2)。

有歯顎群 9 名のピーナッツ咀嚼時の嚥下閾における食塊の硬さ応力の平均値および標準偏差は 15.6 ± 8.1 kPa であった。一方、全部床群 8 名のそれらは 15.1 ± 8.5 kPa であり、全部床群と有歯顎群の食塊の硬さ応力には有意な差は認められなかった ($P > 0.05$) (図 3)。

有歯顎群 9 名のピーナッツ咀嚼時の嚥下閾における食塊の凝集性の平均値および標準偏差は 0.05 ± 0.07 であった。一方、全部床群 8 名のそれらは 0.06 ± 0.10 であり、全部床群と有歯顎群の食塊の凝集性には有意な差は認められなかった ($P > 0.05$) (図 4)。

有歯顎群 9 名のピーナッツ咀嚼時の嚥下閾における食塊の付着性の平均値および標準偏差は 214.7 ± 192 N/m² であった。一方、全部床群 8 名のそれらは 466.1

図5 Masticatory performance
ピーナッツ咀嚼時の咀嚼効率

図6 Masticatory performance and number of chewing stroke at swallowing threshold
ピーナッツ咀嚼時の咀嚼効率と嚥下関に至るまでの咀嚼回数

$\pm 178.3 \text{ N/m}^2$ であり、全部床群と有歯顎群の食塊の付着性には有意な差は認められなかった ($P > 0.05$) (図5)。

2. ピーナッツ咀嚼時の咀嚼効率

有歯顎群9名のピーナッツ咀嚼時の咀嚼効率の平均値および標準偏差は $92.9 \pm 3.7\%$ であった。一方、全部床群8名のピーナッツ咀嚼時の咀嚼効率の平均値および標準偏差は $62.1 \pm 7.2\%$ であり、全部床群の咀嚼効率は有歯顎群のそれに比して有意に低い値を示した ($P < 0.01$) (図6)。

3. 咀嚼効率と咀嚼回数

有歯顎群9名と全部床群8名のピーナッツ咀嚼時の

図7 Masticatory performance and number of chewing stroke at swallowing threshold
咀嚼効率と嚥下関に至るまでの咀嚼回数との関係

咀嚼効率と嚥下関に至るまでの咀嚼回数との関係を図7に示した。両群ともに、ピーナッツ咀嚼時の咀嚼効率と嚥下関に至るまでの咀嚼回数との間に有意な負の相関が認められた (有歯顎群: $P < 0.01$, 全部床群: $P < 0.05$)。

IV. 考 察

今日まで、数多くの咀嚼機能評価法が考案され、歯科補綴治療の向上に寄与してきた。しかし、従来の咀嚼機能評価は文字通り咀嚼機能の評価対象としてきており、摂食、すなわち、嚥下に至る過程の検討は十分にはなされていなかった⁴⁾。

超高齢化を迎えた今日に至って、嚥下に至るまでを評価対象として咀嚼機能の評価すべきであるとの考えが提唱されている¹⁸⁾。その1つに、咀嚼能力の評価に関しては、粉碎能力と食塊形成能力とを総合的に評価することが必要であるとの考えから、水分吸収量の多いある特定の煎餅を試験食品として用い、嚥下までの咀嚼回数を計測する方法がある。この方法は、咀嚼運動の初期から末期までを捉え、嚥下運動へ移行するまでの一連の動作を観察することから、咀嚼の実態に則した評価法であるといえる。なお、唾液あるいは水分量の咀嚼機能に及ぼす影響について、高崎ら¹⁹⁾は、唾液分泌量の低下が咀嚼機能の低下を来すことを、渡部ら²⁰⁾は、食塊の含水量が嚥下関を判断する基準の1つになっており、唾液分泌量の減少によって咀嚼時間が延長することを報告している。Pereiraら²¹⁾は、

種々の食品を咀嚼させる実験で、含水量の少ない食品に水分を添加することで、咀嚼機能が改善されることを報告している。

われわれが咀嚼機能評価に用いているピーナッツは、煎餅同様に破砕性の食品ではあるが、粉碎されたピーナッツ片の凝集性は低いため、比較的硬いままのピーナッツ片が口腔内に散乱することになり、十分な咀嚼が営まれなければ、適正な食塊が形成されにくいと考えられる。しかも、本法では、3 g のピーナッツを一度に咀嚼することを求めているため、多くのピーナッツ片が口腔内に散乱することになり、全部床義歯装着者においては、義歯の維持・安定が確保されていない場合には、粉碎されたピーナッツ片が、義歯床下に迷入することで疼痛を惹起し、咀嚼機能評価の実施が困難となる。したがって、ピーナッツを試験食品として用いる本法は、義歯の維持・安定の評価も同時に行える可能性があると考ええる。

本研究結果では、嚥下閾におけるピーナッツ食塊のレオロジー学的物性を検討した結果、硬さ応力、凝集性、付着性のいずれにおいても、有歯顎群と全部床群との間に有意な差が認められなかった(図3, 4, 5)。Feldman ら¹¹⁾は、歯の欠損によって嚥下閾の粒度分布が変化することを報告している。Pereira ら²¹⁾の、食品に水分を添加することで咀嚼機能が改善された結果を考え合わせると、嚥下閾の食塊の物性には、食塊の粒度と含水量が影響しており、両者の総合された結果として、食塊の硬さ応力が位置付けられると推測できる。また、食物の性状に対応して咀嚼運動パターンは異なることが報告されており^{22~24)}、Shiozawa ら^{12,13)}は、咀嚼された食塊の付着性が高い場合には、舌による食塊形成において、大きな力が必要となることを示唆している。本研究では、試験食品が、ピーナッツのみであり、凝集性や付着性の違いによる比較はできないが、食品を粉碎していく過程がいかなる状況であれ、嚥下閾と判断される食塊の硬さ応力は、ほぼ一定の値を示すことを示唆していると考えられる。このことは、Peyron ら²⁵⁾の、正常有歯顎者に対して、3種類のナッツ(ピーナッツ、アーモンド、ピスタチオ)、3種類の野菜(カリフラワー、大根、人参)を咀嚼させた結果、それぞれのグループ内の粉碎片の粒度分布が近似していたとの報告とも矛盾しないと考えられる。正常有歯顎者の嚥下閾のピーナッツ食塊の

硬さ応力は 30 kPa 以下になることは既に報告済みであるが¹⁵⁾、全部床義歯装着者においてもピーナッツに関しては、食塊の硬さ応力は 30 kPa 以下になることが確認された。さらに、ピーナッツ食塊において有歯顎者群と同様のレオロジー学的物性を示したことから、全部床義歯装着者においても、有歯顎者同様に、より多くの食品においても、嚥下閾の食塊の硬さ応力が 30 kPa 以下になるものと推測される。

以上のことから、嚥下閾におけるピーナッツ食塊の物性は、有歯顎、全部床義歯装着者などの口腔内の状況にかかわらず、舌で食塊を変形させられる程度の硬さ応力¹⁶⁾と考えられる 50 kPa 以下を示しており、この状態が嚥下に移行する一定の条件であると仮定するならば、嚥下閾に至るまでの咀嚼回数が嚥下閾に至るまでの咀嚼機能評価の有効な指標となると推定できる。

嚥下閾に至るまでの咀嚼回数が嚥下閾に至るまでの咀嚼機能評価の有効な指標になっているか否かの検討として、3 g のピーナッツを咀嚼して嚥下閾に至るまでの咀嚼回数で比較すると、全部床群のそれが有歯顎群のその約 1.5 倍を示した(図2)。一方、咀嚼効率の測定結果では、有歯顎群のそれが全部床群のその約 1.5 倍を示した(図6)。このことは、咀嚼ストローク 1 回あたりの粉碎能力は、有歯顎者が全部床群の 1.5 倍あることを示しており、その分、咀嚼回数が少なくても、嚥下できるだけの食塊を形成できたものと判断することができる。すなわち、全部床群においては、咀嚼効率が低いことを咀嚼回数の増加で補完しているものと考えられた。このような機能の補完について、Mioche ら²⁵⁾は、若年者と高年者の牛肉咀嚼時の筋活動の比較から、加齢による筋活動の低下は、咀嚼回数の増加によって補われていることを報告している。

本研究によって咀嚼回数と咀嚼効率との間に有意な負の相関が認められたことから、嚥下閾に至るまでの咀嚼回数が咀嚼効率に裏付けられた咀嚼機能評価パラメータであることが示された。

V. 結 論

1. 嚥下閾におけるピーナッツ食塊の硬さ応力は、有歯顎群と全部床群との間に有意な差は認められなかった。

2. 嚥下関に至るまでの咀嚼回数は、有歯顎群と全部床群との間に有意な差が認められた ($P<0.01$).
3. 全部床群においては、有歯顎群に比較して咀嚼効率が低いことを咀嚼回数の増加で補完している可能性が示された.
4. 有歯顎群、全部床群ともに、咀嚼効率と嚥下関に至るまでの咀嚼回数との間には負の相関が認められた.

以上の結果から、全部床義歯装着者におけるピーナッツ咀嚼時の嚥下関に至るまでの咀嚼回数が、摂食・咀嚼・嚥下機能を示すパラメータになり得ることが示唆された.

文 献

- 1) Manly RS, Brealey LC. Masticatory performance and efficiency. *J Dent Res* 29 : 448-462, 1950.
- 2) 石原寿郎. 篩分法による咀嚼能率の研究. *口病誌* 22 : 207-255, 1955.
- 3) 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.
- 4) 小林喜平. 咀嚼能率の評価について. *歯界展望* 78 : 333-343, 1991.
- 5) 古谷暢子, 吉田 実, 野首孝祠ほか. 試験用グミゼリーを用いた咀嚼機能評価. *補綴誌* 38 : 89-97, 1994.
- 6) Hirai T, Ishijima T, Koshino H et al. Age-related Change of Masticatory Function in Complete Denture Wearers. *Int J Prosthodont* 7 : 454-460, 1994.
- 7) Ishijima T, Hirai T, Koshino H et al. The relationship between salivary secretion rate and masticatory efficiency. *J Oral Rehabil* 31 : 3-6, 2003.
- 8) 志賀 博, 小林義典. グミゼリー咀嚼による咀嚼能率の評価のための咀嚼時間. *日本顎機能学会雑誌* 11 : 21-25, 2004.
- 9) Watanabe S, Dawes C. The effects of different foods and concentrations of citric acid on the flow rate of whole saliva in man. *Archs Oral Biol* 33 : 1-5, 1988.
- 10) Watanabe S, Dawes C. A comparison of the effects of testing and chewing foods on the flow rate of whole saliva in man. *Archs Oral Biol* 33 : 761-764, 1988.
- 11) Feldman RS, Kapur KK, Alman JE et al. Aging and mastication : changes in performance and in the swallowing threshold with nature dentition. *J Am Geriatr* 28 : 97-103, 1980.
- 12) Shozawa K, Kohyama K, Yanagisawa K. Influence of Ingested Food Texture on Jaw Muscle and Tongue Activity during Mastication in Human. *J Oral Boil* 41 : 27-34, 1999.
- 13) Shozawa K, Kohyama K, Yanagisawa K. Food Bolus Texture and Tongue Activity Just before Swallowing in Human Mastication. *J Oral Boil* 41 : 297-302, 1999.
- 14) Koshino H, Hirai T, Ishijima T et al. Quality of life and masticatory function in denture wearers. *J Oral Rehabil* 33 : 323-329, 2006.
- 15) 越野 寿, 平井敏博, 横山雄一ほか. 各種食品の咀嚼前および嚥下関食塊のレオロジー物性. *日本咀嚼学会雑誌* 16 : 11-16, 2006.
- 16) 厚生省. 高齢者用食品の表示許可の取り扱いについて. 厚生省生活衛生局食品保健課新開発食品保健対策室長通知, 1994.
- 17) Kapur K, Soman S, Yurkstas A. Test foods for measuring masticatory performance of denture wearers. *J Prosthet Dent* 14 : 483-491, 1964.
- 18) 本間 済, 河野正司, 小林 博ほか. チェアサイドで行える咀嚼能力評価法の開発. *補綴誌* 47・110 回特別号 : 55, 2003.
- 19) 高崎英仁, 越野 寿, 平井敏博ほか. 唾液分泌量が咀嚼効率に及ぼす影響. *補綴誌* 47 : 526-534, 2003.
- 20) 渡部 茂, 平井敏博, 広瀬哲也ほか. 実験的な唾液分泌機能低下が食物咀嚼時間と嚥下時食塊含水量に及ぼす影響. *日本咀嚼学会誌* 3 : 37-42, 1993.
- 21) Pereira LJ, de Wijk RA, Gavião MB et al. Effects of added fluids on the perception of solid food. *Physiol Behav* 88 : 538-544, 2006.
- 22) 有住和浩. 食品の硬さが咀嚼運動に及ぼす影響に関する実験的研究. *補綴誌* 33 : 1301-1312, 1989.
- 23) 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.
- 24) 千綿一郎, 志賀 博, 小林義典. 咀嚼運動の機能的分析—安定性の評価のための被験食品の検索—. *補綴誌* 42 : 857-866, 1998.
- 25) Peyron MA, Mishellany A, Woda A. Particle size distribution of food boluses after mastication of six natural foods. *J Dent Res* 83 : 578-582, 2004.
- 26) Mioche L, Bourdiol P, Monier S et al. Changes in jaw muscles activity with age : effects on food bolus. *Physiol Behav* 82 : 621-627, 2004.

著者連絡先：越野 寿

〒061-0293 北海道石狩郡当別町
北海道医療大学歯学部
歯科補綴学第1講座

TEL : 013-23-2846

FAX : 013-23-2846

E-mail : koshino@hoku-iryo-u.ac.jp

Method of Evaluating Masticatory Function at Swallowing Threshold for Complete Denture Wearers

Koshino Hisashi, Hirai Toshihiro, Yokoyama Yuichi, Makiura Tetsuji,
Matsumi Tamachi, Tanaka Shinsuke, Tanaka Maki and Iwasaki Kazuo

Department of Removable Prosthodontics,
Health Sciences University of Hokkaido School of Dentistry

J Jpn Prosthodont Soc 51 : 42-48, 2007

ABSTRACT

In 9 healthy dentate and 8 complete denture wearers, the hardness and adhesiveness of bolus after chewing in swallowing threshold was measured by the creepmeter. The number of chewing stroke until swallowing threshold was also counted in order to investigate the relationship between character of bolus and masticatory function. Masticatory performance of each subject was measured by the sieving method suggested by Kapur et al.

The results obtained are as follows.

1. As to the hardness of bolus after chewing in swallowing threshold, there was no significant difference between 9 healthy dentate and 8 complete denture wearers ($P>0.05$).
2. As to the number of chewing stroke, there was significant difference between 9 healthy dentate and 8 complete denture wearers ($P<0.01$).
3. In complete denture wearers, it seems that lower masticatory performance was compensated by increasing of number of chewing stroke until swallowing.
4. In 9 healthy dentate and 8 complete denture wearers, there was negative correlation between masticatory performance and number of chewing stroke until swallowing.

Form these results, it was suggested that the number of chewing stroke is useful as the parameter to evaluate masticatory function in complete denture wearers.

Key words

mastication, swallowing, swallowing threshold, hardness, number of chewing stroke