

学位申請論文

Stage II transport で移送された粒子と咀嚼食塊中の粒子の粒度特性に

関する研究

田中 祐貴

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 機能再生・再建科学専攻

咬合・有床義歯補綴学分野

主任教授

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 咬合・有床義歯補綴学分野

皆木 省吾

緒 言

近年、日本に於いては高齢化が急速に進んでおり、国民年齢の上昇に伴って種々の疾病罹患率の増加が報告されている¹⁾。罹患率が増加しているものの中でも注目すべきものの一つに嚥下障害が挙げられる。嚥下障害は高齢者において一般的に認められる障害であることが知られており²⁻⁵⁾、高齢者の多くが、嚥下障害を有している⁶⁾。嚥下障害は医学的および社会的経済コストに影響を与えているとの報告もある⁷⁾。また、嚥下障害は高齢者の生活の質を低下させる問題であるとの報告もある²⁾。

嚥下障害が認められる場合には、一般的にその対策として食物の物性あるいは食形態の変化によって対応することが検討される⁸⁾。すなわち、摂食・嚥下障害を有する患者には、誤嚥や窒息のリスクを避けるために、固形食から嚥下調整食へとシフトしていく傾向がある⁹⁾。しかしその一方で、不用意な食形態の改変は生活の質に低下につながるという報告もある¹⁰⁾。これらに関する報告として、咀嚼力の低下が高齢者の健康の維持に関与するとの報告が認められる¹¹⁾。また、健全な天然歯の維持と咀嚼能力の維持が機能的、社会的、精神的な高齢者の生活の質に深く関与していることも報告されている¹²⁾。しかし、実際の介護現場において個々の高齢者の咀嚼能力を摂取可能な食レベルと結びつけて客観的に評価することは容易ではなく¹³⁾、客観的な咀嚼能力評価によって、

日常的に摂取することのできる食レベルを決定することの重要性は高いと考えられる。

咀嚼能力評価法としては、過去に多くの方法が報告されている。Manly らはピーナッツの咀嚼食塊を篩にかけることによって、咀嚼能力うち特に粉碎能力に着目して咀嚼能力評価を行った¹⁴⁾。しかし、この方法は評価作業が煩雑であり、時間がかかるという問題点を有している。グルコース溶出量測定法は簡便な咀嚼能力評価法として報告されている¹⁵⁾。Peyron らは被験食に日常的な食品を用いて、咀嚼食塊の粒度解析を行っており、嚥下直前における咀嚼食塊と規定回数咀嚼における咀嚼食塊の粒度分布を比較している¹⁶⁾。Sugimoto らは日常摂取している食品を用いた咀嚼能力の検査法を提唱している¹⁷⁾。このような食品を用いた咀嚼能力の評価法は、オプトカルやワックスなどの非食品を用いた方法と比較すると自然な咀嚼運動に近いと考えられてきた。しかし、これらの計測方法は摂取できる食品を用いているとは言え、咀嚼能力の評価のために食塊を口腔内から回収する必要があるため、実際の嚥下を前提とした咀嚼食塊とはその物性などが異なる可能性があると考えられる。実際、Palmer らによって、固形物の咀嚼から嚥下までのプロセスを説明するためのプロセスモデルが提唱されており、咀嚼中に食塊の一部が中咽頭に移送されていることが知られている¹⁸⁾。この移送は Stage II transport と呼ばれている。しかし、この Stage II transport によって咽頭に移送されている食物粒子の特性についてはいまだ明らかにされていない。この Stage II transport で移送された食物粒子の特性を明らかにすると

ともに、実際の食品を自然な咀嚼条件で咀嚼した際の咀嚼能力を評価することは、摂食嚥下障害の評価、リハビリテーションならびに食レベルの決定に際して重要な意義が存在すると考えられる。

したがって本研究は、1) Stage II transport で咽頭に移送された食物粒子の粒度特性を明らかにすること、および 2) 日常的な咀嚼を反映させ得る実用的な咀嚼食塊の回収方法を検討することを目的とした。

材料ならびに方法

1. 被験者

被験者は岡山大学病院に所属する職員ならびに岡山大学歯学部の学生を対象とした。被験者の包含条件は、①20歳～50歳の健常成人、②上下顎それぞれに14本の天然歯を有する（歯冠修復歯は天然歯として含めるが、智歯は含めない）、③顎口腔系に特記すべき異常を認めない、の3条件を全て満たす者とした。除外条件としては、上記包含条件を満たさない、あるいはインフォームドコンセントによる同意を得られない者とした。結果として、男性8名、女性4名の合計12名（平均年齢 27.2 ± 2.15 歳）を対象とした。

なお、本研究は岡山大学病院研究倫理審査専門委員会の承認（研 1610-024）を得て行い、全ての被験者から同意書を取得した。

2. 咀嚼試験

下記の咀嚼条件 1 から 4 において実施した食物粒子回収の概念的モード図を図 1 に示す。咀嚼条件 1：自由咀嚼を行わせ、その途中で嚥下運動が 1 回発生したと自覚した時に口腔内に存在している食材を全てカップに吐出させて粒子を回収した。咀嚼条件 2：自由咀嚼を行わせ、途中嚥下を許可し、最後の一口を嚥下しようと思った時点で口腔内に存在している食材を全てカップに吐出させて回収した。咀嚼条件 3：咀嚼途中の嚥下を禁止して咀嚼させ、嚥下しようとした時に口腔内に存在している食材を全てカップに吐出させて回収した。咀嚼条件 4：自由咀嚼を行わせ、咽頭への食塊の送り込みを感じた際に挙手をさせ、中咽頭に存在する粒子を下記の方法を用いて回収した。いずれの咀嚼条件においても、被験食は被験者の手によって一度に口腔内に入れ、その直後に咀嚼を開始させた。

図 1

3. Stage II transport 粒子の回収方法

上記の咀嚼条件 4 においては、咀嚼途中において被験者が咽頭への食塊の移送を自覚した際に被験者に挙手をさせた。挙手時には即時に被験者に開口を指示し、口腔内に存在する食物粒子を吸引装置で全て除去した。口腔内粒子の除去後、被験者に反芻様運動を行うよう指示することにより、中咽頭の粒子を口腔内に戻させ、その粒子を回収用吸引装置（図 2）を用いて回収した。なお、この反芻様運動については事前に数回の練習を行い、確実に実施できることを

図 2

あらかじめ確認した。

4. 被験食

各咀嚼条件について、生ニンジン、魚肉ソーセージ（日本水産製おさかのソーセージ）、ピーナッツ、リンゴの4種類の食材を咀嚼させた。食材の量に関しては、咀嚼条件3については一般的な一口量を目安として①生ニンジン（1×1×1cmのサイコロ状のもの4g）、②魚肉ソーセージ（直径20mm×厚さ5mmの円盤状のもの4g）、③ピーナッツ4g、④リンゴ(1/32カット1個7g)をそれぞれ被験食とした。他の咀嚼条件については、咀嚼途中の嚥下および Stage II transport を誘発するためにこれら4種の食材についていずれも倍量を被験食とした。

5. 回収食材の粒度解析方法

回収した食材の粒度解析には松風製咀嚼能力評価装置(SME-003, 松風)を用いた。評価には、Sugimotoらが提示した粒子の直径換算の大きさを反映する粒子径係数(SI)、および粒子の大きさのばらつきを示す粒子均一性係数(HI)を用いた。

6. 統計解析

咀嚼条件による粒度分布の変化については、反復測定による一元配置分散分

析を用いた。その後、多重比較検定のために Bonferroni 法を用いた。有意水準は $p<0.05$ とした。

結 果

各咀嚼条件に関する粒子の二値化画像の代表的な一例(ニンジン)を図 3 に示す。図 3 の例に見られるように、咀嚼条件 1 の粒子が最も大きく、それ以外の条件においては肉眼的に概ね同様の大きさの粒子が観察される傾向にあった。

図 43

ニンジン、ソーセージ、ピーナッツおよびリンゴに関する各咀嚼条件における HI ならびに SI の解析結果をそれぞれ図 4, 5, 6, 7 に示す。

ニンジンに関しては図 4 に示すように、HI および SI のいずれにおいても咀嚼条件 1 は、咀嚼条件 2, 咀嚼条件 3 および咀嚼条件 4 よりも有意に高い値を示した。 $(p<0.05)$ また、HI に関して咀嚼条件 3 と咀嚼条件 4 との間にも有意差が認められた。 $(p<0.05)$

図 44

ソーセージに関しては図 5 に示すように、HI および SI のいずれも咀嚼条件 1 は他の 3 条件すなわち咀嚼条件 2, 咀嚼条件 3, 咀嚼条件 4 よりも有意に高い値を示した。 $(p<0.05)$

図 45

ピーナッツに関しては図 6 に示すように、HI, SI のいずれの係数も他の食材と比較して小さな値を示し、他の食材よりも粉砕が進みやすいことがうかがわ

図 46

れた。すなわち、咀嚼条件 1 でさえも他の食材に比べるとかなり破碎が進んでいることが観察された。ピーナッツに関しては HI および SI のいずれにおいても、咀嚼条件 1 と咀嚼条件 4 との間に有意差が認められた。 $(p<0.05)$

リンゴに関する結果を図 7 に示す。HI に関しては、咀嚼条件 1 と他の 3 条件との間に有意差が認められた。 $(p<0.05)$ さらに咀嚼条件 4 に関しては咀嚼条件 2 および 3 よりも有意に小さな値を示した。また、SI に関しては咀嚼条件 1 と咀嚼条件 3 の間には有意差は認められなかったものの、咀嚼条件 4 では咀嚼条件 2 および 3 よりも有意に小さな値を示した。 $(p<0.05)$

図 7

考 察

摂食嚥下のプロセスについては、5 期モデルが知られており、(1) 先行期：飲食物の形や量、質などを認識する、(2) 準備期：飲食物を噛み砕き、飲み込みやすい形状にする、(3) 口腔期：飲食物を口腔から咽頭に送り込む、(4) 咽頭期：飲食物を咽頭から食道に送り込む、(5) 食道期：飲食物を食道から胃に送り込む、とされている¹⁹⁾。古典的な摂食嚥下の概念では、口腔と咽頭は嚥下が始まるまでは口峽部で遮断されていると考えられていたが、日常的な咀嚼嚥下のプロセスにおいては咀嚼中から口峽が開いていることが報告され、嚥下まで口腔と咽頭はひと続きの空間をなしていることが明らかになってきた。

Palmer らは、この現象をプロセスモデルとして提唱した¹⁸⁾。すなわち、咀嚼中にも食塊の一部は中咽頭に移動していることになり、この現象は Stage II transport と呼ばれている²⁰⁾。この現象は、咀嚼能力の評価を行う際に考慮すべき新たな機能運動であると考えられる。

Manly らの古典的なピーナッツ法に始まる咀嚼能率の評価法においては、嚥下を抑制した状態で咀嚼させた後に咀嚼食塊を回収してその粒度解析を行っている報告が多く認められる^{14),16)}。一方、嚥下のプロセスにおいて良好な食塊形成は円滑な嚥下に必要とされることが考えられていることから²¹⁾、良好な食塊形成という条件を満たした上で咀嚼能力を検討することは重要であると考えられる。したがって、食材の粉碎程度の評価は食塊形成の重要な評価項目の一つではあるが、上記の様に多くの咀嚼能率評価法が嚥下を抑制して行われてきたことには注意を要すると考えられる。例えば、もしも Stage II transport によって口腔内に存在する粒子よりも粗い粒子が咽頭に送り込まれることがあるのであれば、これまで行われてきた咀嚼能率評価法は嚥下のプロセスを含む摂食行為の評価はその適用に大きな限界が存在すると考えられる。したがって、本研究では Stage II transport によって移送される粒子を含む種々の食塊粒子の粒度解析を試みた。本研究の結果から、いずれの食材においても Stage II transport で移送される粒子の大きさは口腔内から回収される食塊粒子よりも小さく、均一である傾向を認めた。また、本研究において回収した Stage II transport で移送された粒子は、いずれも健常者における正常咀嚼域に包含される範囲の粒子特性を示し

ていることから、咀嚼が十分に進行した粒子のみが口腔機能によって選別されたうえで Stage II transport によって中咽頭に移送されていると考えられた。すなわち、咀嚼不十分な粗い粒子は Stage II transport の対象とならず口腔内に残存してさらなる咀嚼の対象となっていると考えられる。したがって、口腔内に残されて咀嚼の対象となっている粒子をもって咀嚼能率の評価を行うことについては一定の妥当性があると考えられる。しかしながら、嚥下を抑制して唾液を過剰に含んだ食塊は通常の生理的摂食嚥下の対象となっている食塊とは多分に異なっていることは否定できない。この点を解決するために本研究においては、被験者に通常の咀嚼嚥下と同様に途中嚥下も許容した咀嚼を行わせて、最後の一口を飲み込もうとしたときの食塊を回収する方法を新たに考案した。このサンプリング法を用いることによって、過剰な唾液などは最後の一口よりも前に発現する嚥下運動によって随時嚥下されるため、最後の一口に相当する食塊は日常的に行われている咀嚼嚥下運動における食塊と同一の物性を有するものと考えられる。このサンプリング法が可能となった理由は、本研究において用いられた粒度解析が食塊の全量回収を行わなくても解析が可能であることに起因する。Manly 法、グミ咀嚼によるグルコース溶出量の評価などはいずれも原則として食塊の全量回収が前提となっている。これとは対照的に、本法では原理的に採取したサンプル内の粒度分布をもとに咀嚼能力を評価しているために、限られた量のサンプルを用いても評価が可能であるという長所を有しており、このことが最後の一口条件を評価することを可能としている。

本研究においては、最後の一口条件である咀嚼条件 2 と嚥下抑制下の咀嚼条件である咀嚼条件 3 との粒度解析結果に有意差を認めなかったが、post hoc のパワー値解析によってこれらの条件間で差がないことを示すには被験者数が充分でないことが明らかになった。将来的には、今回の結果を参考として十分な被験者数を得ることによって、嚥下抑制下での食塊粒子と最後の一口条件下における咀嚼粒子との間に差がないことが示される可能性があると考えられた。

被験食については、本研究での被験食は過去の報告を参考として物性の異なる 4 種類のものを選択した^{18), 22), 24)}。Chen らは食塊の粒子の分布に食品の硬さが影響していると報告している²²⁾。確かに本研究においても、図 6 に示されるように破碎性の高いピーナッツにおいては、特に粉碎が効率よく進行していると考えられる所見が認められた。これらの結果から、今後の研究において複数種類の食材を用いて研究を進めるとともに、食塊粒子の特性を基盤として食材の特性に従った食材分類を行う必要があると考えられた。

結 論

1) Stage II transport 粒子について、健常者という条件においては、中咽頭に移送されている粒子は小さく均等であり、咀嚼の完了した粒子が選別されて送り込まれていることが示唆された。

2)口腔内の咀嚼食塊を粒度解析する際は咀嚼条件 2 でサンプリングすることによって、各個人の自然な咀嚼条件における咀嚼能力の評価が可能であることが示された。

3)咀嚼条件 2 および咀嚼条件 3 において、口腔内の咀嚼食塊は同様の粒度分布を示すことが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究を行う貴重な機会を与えて頂き、御懇篤なる御指導と御高閲を受け賜りました、岡山大学大学院医歯薬学総合研究科咬合・有床義歯補綴学分野 皆木省吾教授に謹んで感謝の意を表します。最後に、本研究を行うにあたり、多くの御援助と御協力を頂きました岡山大学大学院医歯薬学総合研究科咬合・有床義歯補綴学分野の諸先生方に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Kawashima, K., Motohashi, Y., Fujishima, I.: Prevalence of Dysphagia Among Community-Dwelling Elderly Individuals as Estimated Using a Questionnaire for

- Dysphagia Screening. *Dysphagia.*, **19**(4), 266-271, 2004.
- 2) Paterson, WG.: Dysphagia in the elderly. *Can Fam Physician.*, **42**, 925-932, 1996.
 - 3) Groher, ME. *Dysphagia: Diagnosis and management*, 3rd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1997.
 - 4) Ward, EC., Morgan, AT. *Dysphagia post trauma*. San Diego, CA: Plural Publishing, 2009.
 - 5) Aslam, M., Vaezi, mf.: Dysphagia in the elderly. *Gastroenterol Hepatol.*, **9**(12), 784-795, 2013.
 - 6) Wada, S., Kwate, N., Mizuma, M.: What Type of Food Can Adults Masticate?: Evaluation of Mastication Performance Using Color-Changeable Chewing Gum. *Dysphagia.*, **32**(5), 636-643, 2017.
 - 7) Ward, EC., Burns, CL., Theodoros, DG., Russell, TG.: Impact of dysphagia severity on clinical decision making via telerehabilitation. *Telemed J E Health.*, **20**(4), 296-303, 2014.
 - 8) Kaizer, F., Spiridigliozzi, AM., Hunt, MR.: Promoting shared decision-making in rehabilitation: development of a framework for situations when patients with Dysphagia refuse diet modification recommended by the treating team. *Dysphagia.*, **27**(1), 81-87, 2012.
 - 9) Painter, V., Le, Couteur, DG., Waite, LM.: Texture-modified food and fluids in dementia and residential aged care facilities. *Clin Interv Aging.*, **12**, 1193-1203,

2017.

- 10) McHorney, CA., Robbins, J., Lomax, K., Rosenbek, JC., Chignell, K., Kramer, AE., Bricker, DE.: The SWAL-QOL and SWAL-CARE outcomes tool for oropharyngeal dysphagia in adults: III. Documentation of reliability and validity. *Dysphagia.*, **17**(2), 97-114, 2002.
- 11) Miura, H., Kariyasu, M., Yamasaki, K., Arai, Y., Sumi, Y.: Relationship between general health status and the change in chewing ability: a longitudinal study of the frail elderly in Japan over a 3-year period. *Gerodontology.* **22**(4), 200-205, 2005.
- 12) Nakanishi, N., Fukuda, H., Takatorige, T., Tatara, K.: Relationship between self-assessed masticatory disability and 9-year mortality in a cohort of community-residing elderly people. *J Am Geriatr Soc.*, **53**(1), 54-58, 2005.
- 13) 川上純子., 饗場直美., 石田淳子.: 高齢者施設における嚥下障害食の食形態決定についての管理栄養士・栄養士の関与とその効果. *日摂食嚥下リハ会誌.*, **15**, 292-303, 2011.
- 14) MANLY, RS., BRALEY, LC.: Masticatory performance and efficiency. *J Dent Res.*, **29**(4), 448-462, 1950.
- 15) Nokubi, T., Nokubi, F., Yoshimuta, Y., Ikebe, K., Ono, T., Maeda, Y.: Measuring masticatory performance using a new device and β -carotene in test gummy jelly. *J Oral Rehabil.*, **37**(11), 820-826, 2010.
- 16) Peyron, MA., Mishellany, A., Woda, A.: Particle size distribution of food boluses

- after mastication of six natural foods. *J Dent Res.*, **83**(7), 578-582, 2004.
- 17) Sugimoto, K., Iegami, CM., Iida, S., Naito, M., Tamaki, R., Minagi, S.: New image analysis of large food particles can discriminate experimentally suppressed mastication. *J Oral Rehabil.*, **39**(6), 405-410, 2012.
- 18) Palmer, JB., Rudin, NJ., Lara, G., Crompton, AW.: Coordination of mastication and swallowing. *Dysphagia.*, **7**(4), 187-200, 1992.
- 19) Leopold, NA., Kagel, MC.: Dysphagia--ingestion or deglutition?: a proposed paradigm. *Dysphagia.*, **12**(4), 202-206, 1997.
- 20) Hiimeae, KM., Palmer, JB.: Food transport and bolus formation during complete feeding sequences on foods of different initial consistency. *Dysphagia.*, **14**(1), 31-42, 1999.
- 21) Engelen, L., Fontijn-Tekamp, A., van der Bilt, A.: The influence of product and oral characteristics on swallowing. *Arch Oral Biol.*, **50**(8), 739-746, 2005.
- 22) Chen, J., Khandelwal, N., Liu, Z., Funami, T.: Influences of food hardness on the particle size distribution of food boluses. *Arch Oral Biol.*, **58**(3), 293-298, 2013.
- 23) Wada S, Goto T, Fujimoto K, Watanabe M, Nagao K, Nakamichi A, Ichikawa T.: Changes in food bolus texture during mastication. *J Texture Stud.*, **48**(2), 171-177, 2017.
- 24) Sugimoto, K., Hashimoto, Y., Fukuike, C., Kodama, N., Minagi, S.: Image analysis of food particles can discriminate deficient mastication of mixed foodstuffs

simulating daily meal. J Oral Rehabil., **41**(3), 184-190, 2014.

表題脚注

岡山大学大学院医歯学総合研究科 咬合・有床義歯補綴学分野

(主任：皆木省吾教授)

本論文の一部は、以下の学会において発表した。

- ・平成29年度日本咀嚼学会第28回学術大会（2017年9月，東京）

図表の説明

図 1

実施した食物粒子回収についての概念的モード図

- A. 咀嚼条件 1. 自由咀嚼を行わせ、途中嚥下が一回起きたと自覚した時に口腔内に存在する食材を全てカップに吐出させて粒子を回収
- B. 咀嚼条件 2. 自由咀嚼を行わせ、途中の嚥下を許可し、最後の一口を嚥下しようと思った時点で口腔内に存在する食材をカップに吐出させて粒子を回収
- C. 咀嚼条件 3. 咀嚼途中の嚥下を禁止して咀嚼し、嚥下しようとした時に口腔内に存在する食材をカップに吐出させて粒子を回収
- D. 咀嚼条件 4. 自由咀嚼を行わせ、咽頭に食塊の送り込みを感じた際に挙手をさせ、反芻様運動を用いて中咽頭に存在する粒子を回収

図 2

咀嚼条件 4 における粒子回収に用いた粒子回収装置

図 3

4 種の咀嚼条件に関する粒子二値化画像の代表例(エンジン)

図 4

エンジンに関する各咀嚼条件における HI および SI

図 5

ソーセージに関する各咀嚼条件における HI および SI

図 6

ピーナッツに関する各咀嚼条件における HI および SI

図 7

リンゴに関する各咀嚼条件における HI および SI