

あり、若年被験者 (N=66) の「咀嚼時の硬さ」における官能評価結果と一致していた。

3. 開発型とベビー型は見かけのヤング率 $8.56 \times 10^6 \text{N/m}$ 以下であり、高齢被験者でも摂食可能であった。

4. 見かけのヤング率平均値 (x) と咬筋総活動量平均値 (y) には、 $y=0.15x+1.52$ ($R^2=0.83$) の関係がみられ、硬い米菓ほど咬筋活動量が増加していた。

5. 硬い米菓ほど咀嚼回数が増加し、その結果、咀嚼時間と咬筋総活動量が増加していた。

6. 高齢被験者にとって、米菓の硬さは主に捕食時に問題となり、硬いものほど咬筋の活動時間を延長させ、咬筋初回活動量を大きくする傾向があった。

7. 「食感」が、米菓の嗜好性で最も重要な項目であった。

8. 嗜好性を評価した全項目で、若年被験者、高齢被験者ともに開発型をベビー型より高く評価した。

以上の結果から、開発型は高齢者の嗜好性を満たし、かつ食べやすい物性の米菓であることが明らかとなった。

謝 辞

官能評価に協力していただいた、‘うちの桜園’の八木恵美様、‘ケアポートすなやま’の佐藤文香様、ご協力いただいたすべての方々へ感謝いたします。

なお、本論文の要旨は、第 15 回日本咀嚼学会学術大会 (2004 年 9 月) において一部発表した。

文 献

相島鐵郎 (2001) 食品ラボにおける官能評価(3). 日本食品科学工学会誌 48: 453-466
 林 豊彦, 金子裕史, 中村康雄, 石田智子, 高橋 肇, 山田好秋, 道見 登, 野村修一 (2002) お粥の性状と嚥下動態の関係. 日摂食嚥下リハ会誌 6: 73-81
 Hollander M, Wolfe DA (1973) Non parametric statistical methods. p503, John Wiley and Sons Inc, New York

川野亜紀, 高橋智子, 大越ひろ, 大塚義顕, 向井美恵 (2001) ペースト状食物の飲み込み特性と舌運動—温度と物性の影響—. 日摂食嚥下リハ会誌 5: 11-18
 菊谷 武, 森田 薫, 山田晴子 (1999) 訪問現場で活用できるやさしい食事指導 (山田晴子監修). p 2-34, 日本歯科評論社, 東京
 黒田留美子 (2004) 摂食・嚥下障害者に適した「高齢者ソフト食」の開発. 日摂食嚥下リハ会誌 8: 10-16
 Manly RS, Carl P, Donald DL, Joan K (1952) Oral sensory thresholds of persons with natural and artificial dentitions. J Dent Res 31: 305-312
 松本伸子, 松本文子 (1977) 食べ物の味—その評価に関わる要因—. 調理科学 10: 97-101
 Nakazawa F, Togashi M (2000) Evaluation of food texture by mastication and palatal pressure, jaw movement and electromyography. In: Food Hydrocolloids Part 2 (Nishinari K ed), p473-483, Elsevier, Amsterdam
 佐藤裕二, 石田栄作, 皆木省吾, 赤川安正, 津留宏道 (1988) 総義歯装着者の食品摂取状況. 補綴誌 32: 774-779
 塩澤光一, 神山かおる, 柳沢慧二 (2005) 米飯咀嚼時の食塊物性変化. 日咀嚼誌 15: 37-41
 食品流通情報センター編集 (2000) 食生活データ総合統計年報 2000. p 451, 港洋社, 東京
 Szczesniak AS, Dick HK (1963) Consumer awareness of texture and other food attributes. Food Technol 17: 74-77
 高橋 肇, 宮岡洋三, 新井映子, 山田好秋 (1999) 嚥下困難者用「粥」の評価. 日摂食嚥下リハ会誌 3: 36-46
 高橋淳子, 中沢文子 (1989) 咀嚼パターンによる食品テクスチャーの評価 (第 3 報) 官能的な硬さ, 噛み切りやすさと咀嚼力パターンとの関連. 家政誌 40(6): 489-495
 手嶋登志子 (1999) 介護食とは何か. 介護食ハンドブック (手嶋登志子編), p 22-25, 医歯薬出版, 東京
 内田達郎 (1991) 全部床義歯による咀嚼能力の評価に関する研究—咀嚼能力に影響する因子と評価に適した食品の検討—. 口病誌 58: 182-197
 渡邊美紀, 湯川晴美 (2004) 低栄養予防を目的とした地域高齢者に対する栄養サポート. 臨床栄養 104: 773-779
 渡辺紀之 (1999) 米菓. 新食感辞典 (西成勝好, 中沢文子, 勝田啓子, 戸田 準編), p 165-171, サイエンスフォーラム, 東京
 吉田美紀, 桑野稔子, 田中満智子, 西成勝好 (2003) きざみ食に付与した増粘剤のレオロジー的性質と嗜好特性について. 日咀嚼誌 13: 22-28

Development of Rice Cracker for Aged People

Hajime TAKAHASHI¹⁾, Akira ITOU¹⁾, Hiroko EGAWA²⁾, Toshiyuki WATANABE¹⁾,

Makoto INOUE³⁾, Eiko ARAI⁴⁾ and Yoshiaki YAMADA²⁾

1) *Rice Science Laboratory, Kameda Seika Company, Ltd.*

2) *Division of Oral Physiology, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences*

3) *Division of Dysphagia Rehabilitation, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences*

4) *Division of Home Economics, Faculty of Education, Shizuoka University*

Abstract: Easiness of ingestion and palatability of rice crackers for aged people were studied using compression test, electromyographic (EMG) recordings of masticatory muscles and sensory evaluation. Five types of rice crackers with different hardness were evaluated, which were Kaihatsu-type newly developed for aged people, Souka-type, Okaki-type, Niigata-type and Baby-type.

The results obtained are as follows.

1. Hardness of rice crackers was a most important factor decides whether aged subjects can ingest them.

2. Hardness (Young's modulus) of rice crackers was as follows, Souka-type > Okaki-type > Niigata-type > Kaihatsu-type = Baby-type. These results corresponded to the results of sensory evaluation in hardness during mastication of rice crackers by young subjects (n=66).

3. Aged subjects were able to ingest Kaihatsu-type and Baby-type. Those Young's modulus were less than $8.56 \times 10^6 \text{N/m}$.

4. Young's modulus (x) of rice crackers was significantly related to sum of masseter muscle activity (y), $y=0.15x+1.52$ ($R^2=0.83$, $p<0.05$). The harder rice crackers were, the more sum of masseter muscle activity increased.

5. The harder rice crackers were, the more those chewing time and sum of masseter muscle activity increased. Because those number of chewing strokes increased.

6. Hardness of rice crackers caused trouble for aged subjects at the stage of intake. Harder rice crackers tended to increase first activity of masseter muscle and burst duration per chewing.

7. Texture was the most important factor in palatability for rice crackers.

8. Both young and aged subjects evaluated that Kaihatsu-type were better than Baby-type in all items of palatability.

These results showed that Kaihatsu-type had palatability for aged people and texture properties which were easy to ingest.

Key words: Chewing, Rice cracker, Aged people, Texture properties, Electromyography (EMG)

総 説



嚥下の神経生理学

山田 好秋

1. はじめに

嚥下は口腔内に取り込まれた食物や飲料水を、咽頭・食道を経て胃に送り込む反射性の運動である。その遂行にあたり多くの筋が短時間に活動することで複雑な構造を持つ嚥下関連器官が決められた順序で運動する¹⁾。このため、神経生理学的にも動作学的にも興味を集め、基礎的な研究が精力的に行われてきた²⁻⁵⁾。機能的な面では、嚥下は食塊の通路と呼吸気の通路という2面性を持つ咽頭の切り換え機構として重要な働きを持ち、食物の移送だけでなく、分泌物や微粒子を上気道から除去することで気道を食物片の進入から防御している。この複雑な運動を Magendie (1808)⁶⁾ は口腔期・咽頭期・食道期に分けて説明した。以来、この分類が広く使われてきたが、嚥下は摂食運動の一部であり、食物を視覚的・嗅覚的に認知することから始まるとの考え方が提唱され⁷⁾、現在では嚥下は認知期、咀嚼期、口腔期、咽頭期、食道期の摂食5期の中で後半の3期を占める運動として理解されている。しかし、実際の嚥下時には口腔期と咽頭期の区別は不可能であり、生理学的には口腔咽頭期として取り扱われることが多い⁸⁾。

嚥下が障害されると、食塊は喉頭口を経て下気道に入ることもある。通常は咳反射が生じ食塊を喉頭から押し戻すが、高齢者や脳血管障害の後遺症の患者では防御機構がうまく機能せず、ときとして窒息や誤嚥、ならびにこれに続く肺炎などの重篤な疾患を引き起こす⁹⁾。しかも、食塊の物性や食塊の大きさなどが各器官の運動と複雑に関連しているため、生体の運動機能を計測しただけでは嚥下機能を評価できない¹⁰⁾。このような背景から、臨床的には高齢者や脳血管障害の後遺症の患者に対し、経管的栄養補給が行われてきた。この方法は、下咽頭を

バイパスすることで誤嚥を回避しようとするものであり、嚥下の機構を理解しなくても治療可能である。経管栄養は、治療・看護する立場からは管理が容易であるが、患者にとっては食べるという生きる楽しみの一つが奪われ¹¹⁾、肉体的にも精神的にも苦痛を訴えることが多い。しかも、経管栄養法が必ずしも誤嚥を解決する方法ではないという事実は意外に知られていない。最近、経管的栄養補給に頼る治療方法は、治療・看護の現場からも疑問視され始めている。経管的栄養補給を経口的栄養補給に切り替えることで患者の意識レベルや全身状態に改善が見られる症例が紹介され、経口的栄養補給の重要性が認められてきた¹²⁾。

2. 嚥下の誘発

嚥下の神経制御機構は通常3つの構成要素：①感覚入力、②脳幹の嚥下中枢、③運動出力に分けて説明される⁴⁾。これら3つの要素は互いに影響し合って正常な嚥下を誘発している。嚥下は中枢性(随意的)にも末梢性(反射的)にも誘発できる。

末梢性嚥下誘発

ヒトの場合、軟口蓋・口蓋垂・舌の背面・喉頭蓋の咽頭面・口峽柱・喉頭蓋谷・後咽頭壁・そして咽頭食道接合部に触刺激や軽い圧が加わると、嚥下が誘発されると報告されている¹³⁾。軟口蓋・口蓋垂・口峽柱などの嚥下誘発閾は、刺激の質や強さに対応してそれぞれ異なる感受性を持ち、同一個体内でも感受性の分布に違いがある。しかし、Bastian and Riggs (1999)¹⁴⁾ は、口腔・中咽頭・下咽頭・喉頭を麻酔した実験を行い、随意嚥下または指示嚥下に際しては、これらの部位の皮膚感覚は必須ではないと結論している。しかし、口腔内になにもない状態での嚥下(空嚥下)は一度や二度は可能であるが、連続して繰り返すことは困難である。そのようなとき、水などを口に含むと、嚥下は再び容易に誘発できる。実験的にも唾液分泌を抑制したり粘膜を麻酔したときなど、末梢からの入力がないと、連続した嚥下の開始が困難になることが示されている¹⁵⁾。臨床的に一定の時間内

〈所属〉

新潟大学大学院医歯学総合研究科口腔生理学分野

〈連絡先〉

〒951-8514 新潟市学校町通り

新潟大学大学院医歯学総合研究科口腔生理学分野

に空嚥下が何回できるかを計測することで嚥下機能の評価を行う手技 (Repetitive Saliva Swallowing Test: RSST)¹⁶⁾ が開発されている。

温度のような感覚情報も嚥下に影響する。口峽部など、口腔-咽頭の粘膜を冷刺激すると、高度の嚥下障害患者に嚥下誘発効果が得られるとの臨床報告があり¹⁷⁾、嚥下訓練の効果的な方法として広く臨床応用されている。冷刺激の治療方法としての有効性を支持する十分な証拠は無いと否定的な報告¹⁸⁾がある反面、粘膜温より数度高い温度またはずっと低い温度の金属探針で温度刺激した結果、上喉頭神経の内側枝 (感覚枝) を電気刺激して誘発される嚥下の数が増加したとの動物実験結果¹⁹⁾もある。このような議論の中で、Kaatzke-McDonald et al. (1996)²⁰⁾ はヒトの口峽柱に冷温感覚受容器が存在することを示した。この研究では、温度刺激 (冷)、化学刺激 (塩水、ショ糖水)、機械刺激 (軽い触刺激)、そして空刺激を口峽に加え、嚥下の潜時および嚥下の繰り返し頻度への効果を調べている。その結果、金属を軽く触れることで体温と同じ温度の刺激と空刺激の間で比較しても、潜時・頻度に有意な差はなかったが、冷刺激では空刺激と比較して潜時および反復頻度は有意に増加した。結果は、冷刺激で嚥下を誘発する温度感受性受容器が口峽に存在することを示唆している。

このように口峽柱付近に触・温度・疼痛感覚が存在することは、生理学的には支持されるものの、下咽頭、鼻腔、および喉頭粘膜に独立した温冷受容器が存在することを示す組織学的証拠はほとんどない。ヒトの口腔・咽頭に分布する種々の受容器からの感覚性情報は、三叉神経・顔面神経 (中間神経)・舌咽神経・迷走神経によって伝達され、一般に受容器の密度は口腔の前方から後方にかけて減少すると言われている²¹⁾。

嚥下を誘発する受容部位は多様であり、嚥下誘発時には多くの感覚神経が興奮している。末梢神経を刺激すると、舌咽神経と上喉頭神経 (SLN) が嚥下を誘発する受容器を支配していることが分かる²²⁾。中枢のレベルではこれらの感覚情報はまず孤束と三叉神経脊髄路の2つの系に伝えられる。この2つの系のうち孤束とこれに続く孤束核が嚥下を誘発する主な求心路を形成していると考えられている。特にSLNを経由する感覚情報が嚥下誘発にはもっとも閾値が低い。しかし、末梢神経刺激で嚥下を誘発する際には、開口反射や閉口反射のように単発刺激ですぐに (短潜時で) 誘発することはできない。数10 Hzの連続刺激をある程度長い時間持続する必要がある。

嚥下誘発に関与すると考えられる求心神経のうち、SLNだけが単独で嚥下を誘発できるが、舌咽神経は嚥

下誘発を促進することはあっても舌咽神経の刺激だけで嚥下を誘発することはできない²³⁾との報告もあるが、Jafari et al. (2003)²⁴⁾ は、上喉頭神経内側枝の嚥下における役割をヒトで検索し、喉頭閉鎖促通に必要な感覚情報を提供するが嚥下誘発には必須ではないとも報告している。また、最近の我々の研究室の実験結果から、舌咽神経の感覚枝を選択的に刺激すれば、舌咽神経刺激だけでも嚥下が誘発できることが明らかとなっている²²⁾。なお、三叉神経の刺激は嚥下運動を修飾するが、この神経刺激だけでは嚥下は誘発できない。事実、三叉神経の枝である舌神経刺激はSLN刺激による嚥下の誘発および遂行を抑制するという報告がある²⁵⁾。

嚥下の口腔咽頭期・食道期を制御している脳幹部位は、その入力 that 皮質性か末梢性かにより異なり、それぞれ特有のパターンにより活性化される。嚥下を誘発するためにはある一定以上の入力、脳幹のパターン発生器 (後述) に到達する必要がある。この入力は、互いに時間的にも空間的にもあまり接近しては効果がない。また、異なる系の入力は互いに閾値を低下させる、すなわち、パターン発生器の興奮性を高める。たとえば、舌咽神経やSLNを同時刺激するように、別々の神経を組み合わせると、嚥下閾値はさらに低下する²⁶⁾。関連する大脳皮質と、末梢神経刺激を同時に行っても嚥下の閾値を下げる事が出来る²⁷⁾。Hamdy et al. (1997)²⁸⁾ は下咽頭および食道への皮質遠心路に対する、ヒトの三叉神経および迷走神経興奮効果を、磁気刺激により研究した。そして、三叉神経または迷走神経刺激を皮質刺激に先行させると、皮質性に誘発される嚥下応答は促通されると報告している。すなわち、末梢からの嚥下誘発性入力は皮質性に誘発される嚥下運動を促通すると考えられる。

中枢性嚥下誘発

随意的な嚥下誘発には大脳皮質に加え皮質下の種々の部位が重要な役割を担う。臨床的には随意嚥下に関与する脳部位を同定することは重要である。一般に、脳と身体各部の関連を研究する手法として、脳の一部を破壊してその結果生じる障害を観察する方法と、脳の一部を電気刺激した結果生じる運動を観察する方法がとられる。Larson et al. (1980)²⁹⁾ は、サルの外側中心前回を両側性に破壊した結果、食物の口腔内移送能力が障害されたと報告している。この中で嚥下時に食塊を咽頭に移送する手段として頭部を後屈させることを見いだしている。この皮質部位は咀嚼にも関与しており、サルではBrodmannの4野と6野を含む中心前回の顔面領野を両

側性に破壊すると、大きな食物を取り込む際の口を大きく開ける動作や、咀嚼運動の特徴の一つである閉口時の下顎の側方偏位の運動量が減少する³⁰⁾。

いわゆる運動野 (Brodmannの4野) とよばれる中心前回を電気刺激すると口輪筋や頬筋などの単一の筋収縮は誘発できても咀嚼時に見られる顎舌協調運動のような複雑な運動を誘発することは困難である。しかし、これより外側の6野を刺激すると明瞭な顎運動を誘発できる。しかも、顎の開閉に伴い舌の突出・後退運動、そして唾液分泌など自然な咀嚼運動によく似た運動が誘発できるのでこの皮質部位は皮質咀嚼野とよばれる。動物の皮質咀嚼野を両側性に破壊した実験から、通常の咀嚼パターンが維持できず、①大きな食物を把持できない、②自ら摂食行動を開始しない、③カタレプシーを示す、④食塊を咽頭に移送できない、⑤長時間咀嚼する、⑥咀嚼運動パターンにはあまり影響しない、⑦顎反射は残存する、など脳機能が低下した患者の摂食・嚥下機能障害に見られる多くの症状と類似した結果が報告されている^{31, 32, 33)}。

皮質の電気刺激効果を調べる研究も、嚥下の制御機構と大脳皮質の関係を明らかにする上で重要である。最近Martin et al. (1999)³⁴⁾ は、サルの大脳皮質を微細な電極で刺激した結果、嚥下を誘発できる部位として顔面運動野、顔面感覚野、皮質咀嚼野、前頭弁蓋部を同定している。興味あることには、刺激する際、単発的な電気刺激では効果がなく、連続した刺激で初めて嚥下が誘発できるとしている。この事実はSLNならびに舌咽神経を電気刺激して嚥下を誘発する際にも連続刺激を必要とする点で一致している。

我々の研究グループは、皮質咀嚼野から脳幹への下行性入力为上喉頭神経の連続電気刺激で誘発した嚥下反射に及ぼす影響をウサギで調べ²⁷⁾、大脳皮質咀嚼野の特定の部位を刺激すると嚥下誘発が促進され、この促進効果は嚥下関連筋運動ニューロンに対するものではなく嚥下中枢に対するものであることを明らかにしている。しかし、サルの弁蓋部³⁴⁾ のように嚥下のみを誘発する脳部位はウサギでは確認できていない。Narita et al. (1999)³⁵⁾ は皮質咀嚼野を冷却することで嚥下誘発に障害を認め、嚥下の誘発および実行に重要な役割を持つ部位であるとしている。Yamamura et al. (2002)³⁶⁾ は、顔面運動野を冷却した際に観察される咀嚼・嚥下の運動障害を詳細に観察し、この部位が嚥下口腔期に重要な役割を持つが、嚥下咽頭期には影響しないと報告している。嚥下に先立つ顎舌運動や咀嚼時に口腔内で実行される食塊の移送は嚥下に比較して随意性が高く、大脳皮質運動感覚野の重

要性は大きい³⁷⁾。

近年fMRI, PET, MEG (脳磁図) といった脳活動を視覚的に検索する方法が開発され、嚥下誘発に関連したヒトの脳部位が積極的に研究されている。我々の研究グループはMEGを使ってヒトの随意嚥下に関連する脳部位を検索し、前帯状皮質 (ACC) と島の重要性を見いだした³⁸⁾。ACCは多くの機能を持つ部位で、物側は‘痛み’、‘随意運動時の注意力 (attention)’、‘情動’に関係すると考えられている³⁹⁾。West and Larson (1995)⁴⁰⁾ はサルでACCの単一細胞活動を記録し、発声・開口・口唇運動のような口腔顔面運動との関連を示唆している。Martin et al. (2001)⁴¹⁾ はfMRIを使った実験から、唾液嚥下時にはほとんど例外なく物側ACCが活動し、中間から尾側にかけての部位は随意的な嚥下または水嚥下に関与することから、ACCの中間から尾側にかけての部位は随意嚥下に先立つ運動プログラムand/or注意力に関係すると推測している。一方、Watanabe et al. (2004)³⁸⁾ ならびにHamdy et al. (1999)⁴²⁾ は後帯状皮質も嚥下に先立ち活動する脳部位であると指摘している。後帯状皮質は視床と相互連絡を持っており、感覚の統合に重要な部位として知られ、記憶との関連も深い^{43, 44)}。これらの結果から、帯状皮質は嚥下に先立つ食物認知機構に関与していると考えられる³⁸⁾。

Watanabe et al. (2004)³⁸⁾ の研究によれば島と下前頭回の神経細胞は嚥下に先行する持続時間の長い活動を示す特異な部位である。嚥下誘発における下前頭回の役割は動物実験³⁴⁾、ヒト^{41, 42, 45)}、さらに嚥下障害患者⁴⁶⁾ で示唆されていた。Watanabe et al. (2004)³⁸⁾ は嚥下に先立ち左の島 (特に前方部) および下前頭回に活動を見だしている。左右差においては健常者・患者を対象とした実験結果とは一致をみないが、島の前方という点、また長い活動時間を必要とする点では従来の結果と良く一致している。島前方部は運動野および孤束核のような嚥下口腔咽頭期の制御に重要な脳部位と線維連絡がある⁴⁷⁾。島はその形態および他の脳部位との線維連絡共に複雑で⁴⁸⁾、一次味覚野であり⁴⁹⁾、内臓運動機能⁵⁰⁾ や、発声運動制御⁵¹⁾ に関与すると考えられている。最近まで嚥下との関連はほとんど知られていなかったが、形態学的研究では島が嚥下に関連した脳部位 (運動前野、体性感覚野、弁蓋、眼窩前頭皮質、前帯状皮質) と相互に線維連絡していることが報告されている⁴⁸⁾。霊長類やヒトを含む種々の動物を使った生理学的研究から、島が消化管 (中咽頭・食道・消化管) の運動・感覚機能の両方に重要な役割を持つことが指摘されている^{50, 52)}。このように動物実験・ヒトの実験から、島が嚥下中枢に皮質

からの出力を送るもっとも重要な部位と考えられる。下前頭回は島の近くに位置しており、島と同じ様な機能を持つと考えられる。

3. 嚥下運動の制御機構

健常者では嚥下の多くは咀嚼中に観察され、その際の嚥下では嚥下口腔期と咽頭期を区別することは困難である。しかし、ここではあえて指示嚥下のように咀嚼から独立した嚥下を念頭に解説する。

嚥下が誘発される直前、食塊は舌背に乗せられる。この時舌尖は上顎切歯の口蓋側または硬口蓋前方に押しつけられ、舌背は臼歯部と口蓋粘膜に向け側縁部を挙上させることでスプーン状のくぼみを作る。ひとたび食塊が舌背に乗せられると口腔期が始まる。口唇は閉鎖し、上下の切歯は接近する。舌は前方から後方に向けて口蓋に押しつけられる形で食塊を咽頭に向け絞り出す。このとき下咽頭は開大し食塊の流れを助ける。軟口蓋は後咽頭壁と接触し、鼻咽腔を閉鎖し、食塊の鼻腔への進入を防ぐ。嚥下は開口したままでも可能であるが、この場合は食塊の移送が困難となり、かなり苦しい思いをする。咽頭期の初期には、舌は速い動きで食塊を中咽頭から下咽頭へ押し出す。咽頭収縮筋は順次収縮し、食塊を押し進める。食塊の先端部は尾側より速く動くので、食塊が咽頭を通過する際には長く尾を引く。咽頭期には喉頭口は喉頭蓋で閉鎖される。最初、喉頭蓋は上を向いているが、舌骨の挙上に加えて甲状舌骨筋の収縮により喉頭が挙上し、その結果喉頭蓋は水平位をとるようになる。さらに筋収縮が続くと、喉頭蓋の先端は喉頭口を越えて尾側に回転する。嚥下の最終期である食道期は食塊が上食道括約筋を通過すると開始する。ここは常に緊張が高まっており、胃内容物が食道に逆流するのを防いでいる⁵³⁾。嚥下に伴い上食道括約筋は弛緩し、食塊が食道に流れ込む。嚥下の持続時間は動物種により異なり、羊では2秒以内ヒトでは8秒を越えることもある。この差は主に嚥下の食道期によって決まり、口腔・咽頭期は0.6~1sで、動物種による差は小さい。

嚥下は口腔・咽頭・食道の筋が決められた順序で、短時間に収縮・弛緩し遂行される。機能的には食塊を口腔から食道を経て胃に送り込むことが重要である。このため、種々の筋により局所的に圧差が形成され、この圧の差に従って食塊は移送される^{54, 55)}。咽頭では食塊が通過する間圧は低く、食塊が通過した後には圧が上昇し、食塊を後(上)から下方へ押し進めている。一方、食道入口部では少し様相が異なる。すなわち、安静時には括約筋が働き(圧を高めて)食道内容物の逆流を防ぐが、嚥

下時には食塊の通過に合わせて弛緩している⁵³⁾。食道においては、筋収縮による圧は食塊移送にあまり重要ではなく、重力によって下方に移送されることも重要である。従って、臨床的には摂食・嚥下機能の低下した患者の食事では、姿勢が大きく影響することを忘れてはならない。

嚥下の末梢性修飾機構

嚥下は特に咽頭期では反射性に遂行されるが、細部においては感覚性フィードバックを受けていて、その関与の程度は嚥下の3期でそれぞれ異なる。口腔には触覚や圧覚受容器が豊富に分布し、これらの感覚受容器は口腔内にある食品などの内容物の形・硬さ・立体的形状を把握し、さらに顎関節の位置、下顎挙上筋の長さや張力が、下顎の位置感覚として持続的に中枢へ入力されている⁵⁶⁾。咀嚼運動によって食塊が十分粉碎されると、嚥下の口腔期が開始される。口腔期では、舌が食塊を後方に移送する。この間下顎は固定されるが、食品の硬さに応じて下顎を固定するための筋力を変化させる必要がある。部分的ではあるが口腔・咽頭の筋活動は食塊の硬さにより変化することが示されている⁵⁷⁾。これらの結果は、嚥下時末梢からのフィードバックが口腔期の運動を修飾していることを示唆している。Aeba et al., (2002)⁵⁸⁾は動物を使い、舌神経の機械受容性線維刺激は開口反射および舌突出反射を誘発し、咀嚼運動をスムーズにしていることを明らかにしている。しかし、反射は複雑であり、Zougrana et al. (2000)²⁵⁾は舌神経を電気刺激することで嚥下の誘発ならびにその進行が抑制されると報告している。ヒトでも嚥下運動(舌運動、口蓋挙上運動、喉頭前方運動、食道入口部開大の開始時期)に食塊量・粘性の影響が観察されている⁵⁹⁾。食道期では、連続嚥下を行うとその間、蠕動運動は抑制される^{60, 61)}。この抑制には下咽頭の粘膜の受容器が関係していると考えられる。さらに‘wet swallow’と‘dry swallow’では前者の方が蠕動運動の速度がゆっくりで振幅が大きいと報告もある^{62, 63)}。すなわち、末梢感覚情報は蠕動運動に影響を及ぼしている。食塊は、一次蠕動運動を修飾するだけでなく、二次蠕動運動を誘発する刺激でもある。

疲労

筋は持続的に収縮すると疲労によりその張力を維持することが困難となる。筋疲労には様々な原因があるが、大きく分けて①運動神経より上位での疲労、②運動神経の発火から神経筋接合部に至る過程での疲労、③筋線維の興奮性または収縮機構における疲労が考えられて

いる。そして筋疲労は生体の防御機構の一部とも考えられている⁶⁴⁾。嚥下も多くの筋が協同して遂行される運動であり、筋の疲労現象が、特に高齢者では影響することが予想される。その中でMansson and Sannberg, (1975)⁴⁵⁾は、連続した3回の嚥下でwet swallowとdry swallowを比較し、後者の総持続時間は延長するが、個々の嚥下には変化はないことから、dry swallowでは嚥下に伴い口腔内の唾液が減少することで感覚入力が増加し、嚥下を困難にしていると推察している。また、口腔内に何も無い状態では嚥下誘発に際し嚥下関連筋に大きな負荷がかかるため連続したdry swallowでは嚥下間隔が延びるといいう考え方もある⁶⁵⁾。このように嚥下を繰り返すと中枢性および末梢性の疲労が予想されるが、Kleinjan and Logemann (2002)⁶⁶⁾は健康な若年層(年齢20-29歳、女性)に連続嚥下(wet swallowとdry swallow)を行わせたが目立った変化は無いと報告している。事実、液体を嚥下する時、ならびにSLNの連続刺激では嚥下は長時間にわたり連続して誘発可能である。この事実は、少なくとも嚥下中枢より末梢での筋疲労は通常の嚥下の範囲では問題にならないことを物語っている。

嚥下中枢

運動には受容器と効果器である筋が直結する単シナプス性の反射から、大脳皮質のレベルで多くの介在神経が関与する随意運動まで様々である。その中で、咀嚼運動は口腔内に食物があればこれを粉砕するために下顎がリズムカルに開閉する、周期運動である。多くの研究の結果、この周期運動を実行するに当たり、大脳皮質は必須ではなく、脳幹にある咀嚼中枢が基本的な咀嚼リズムや筋発火パターンを作り出していることがわかった⁶⁷⁾。咀嚼運動で見られる脳幹部のリズム形成機構は歩行運動や呼吸運動でも明らかとなっている。嚥下は周期的な運動ではないが、嚥下に関連する求心神経で運動神経と直接シナプスするものはほとんどない。また、運動神経の一部を切断しても嚥下の運動パターンに影響はみられない。したがって、一連の嚥下動作は求心神経と運動神経の間にある介在神経で構成されるパターン発生器(Central pattern generator: CPG)でその基本的な運動プログラムが形成されていると考えられている⁴⁾。これまでの研究から嚥下の口腔咽頭期から食道期までの一連の嚥下運動プログラムを構成しかつ制御している介在神経群、すなわち嚥下中枢は孤束核およびその周辺の網様体に存在することが明らかとなった。なぜなら、実験的には小脳・橋の破壊では嚥下は変化せず、また、四丘体のレベルまたは脊髄のC1レベルの横断でも嚥下に変化は

ない。すなわち門(obex)と三叉神経運動核の間の構造が破壊されない限り嚥下は影響されない。さらには、嚥下中枢の一部である孤束核にglutamateとそのagonistであるquisqualateを注入すると、SLN刺激と同様の短潜時・一過性(または数回)の嚥下(咽頭期ならびに食道期)を誘発できる⁶⁸⁾。CPGは左右に一对あり、延髄を正中離断すると左右のCPGはそれぞれ独立して機能することができ、片側の上喉頭神経刺激により片側の嚥下が誘発されることも明らかになっている。

Jean (1990)⁴⁾は嚥下中枢に次のような仮説を提唱している；CPGの介在神経は延髄の孤束核とその近傍の網様体を含む背側部、ならびに疑核の上にある外側網様体に位置する腹側部に存在する。嚥下はひとたび誘発されると止めることができず、また、口腔・咽頭・喉頭・食道の筋が協調して遂行されるが、その収縮のタイミングはかなりの部分固定されている。末梢や中枢からの情報はまず‘起動神経群’とよばれる背側の神経群(孤束核にある介在神経)に入力し、そこで嚥下全体の流れが作られる。次に、起動神経群からの出力が‘切り替え神経群’とよばれる腹側の神経群に伝えられる。腹側の神経群は背側で作られた嚥下パターンを嚥下関連筋の運動神経に分配している。この結果、CPGがひとたび活性化されると、末梢からのフィードバックがなくても順序だった嚥下パターンを起動し、嚥下関連筋活動を統合することができる。しかし、前述のようにCPGの活動は末梢からの求心性入力によっても修飾されている。中枢性の入力、特に大脳皮質嚥下領域からの入力も少なくとも口腔咽頭相の初期でCPGの活動を制御できる。

4. 嚥下に関連する運動(咀嚼・呼吸)

咀嚼

嚥下はいわゆる咽頭相だけで完成する運動ではない。口腔内に取り込まれた食物を歯列まで移送し、咀嚼後これを咽頭に移送するまでの一連の動作が必要である^{8,37)}。これまで嚥下と咀嚼運動はそれぞれ独立した運動として取り扱われてきたが、咀嚼中枢と嚥下中枢には何らかの相互関係が推察できる。事実、嚥下咽頭期が誘発されると咀嚼周期は一過性に停止するか、運動速度が低下し⁶⁹⁻⁷²⁾ある範囲内では2つの運動は同期する⁷³⁾。Lamkadem et al. (1999)⁷⁴⁾は羊で実験し、皮質咀嚼野が嚥下中枢に作用して嚥下誘発を抑制すると報告している。しかし、覚醒ウサギで自然咀嚼時にSLNを電気刺激した我々の研究では⁷⁵⁾、上位中枢が嚥下中枢を抑制する事実はなく、咀嚼運動と嚥下のタイミングにはSLN刺激をしてもしなくても変化は観察されない。すなわち

嚥下中枢と咀嚼中枢間に相互関係が存在すると考えられる。さらにAmarasena et al. (2003)²⁷⁾は咀嚼時に想定される大脳皮質咀嚼野から脳幹への下行性入力、嚥下反射に及ぼす影響をウサギで調べ、①大脳皮質咀嚼野の特定の領野への刺激により嚥下誘発が促進されること、②この促進効果は嚥下関連筋運動ニューロンに対するものではなく嚥下中枢に対するものであることを明らかにしている。

咀嚼時、舌は特異な運動を行い、口腔内で食塊を移送している⁷⁶⁾。我々の研究室では無麻酔・無拘束動物を用いて咀嚼・嚥下時の舌運動を研究し；①オトガイ舌筋（舌突出筋）は開口筋と同期した活動を示し、食物の物性が異なっても特に活動パターンに変化はない；②しかし、牽引筋の一つである茎突舌筋は開口相・閉口相に2相性の活動を持ち、食物の物性により活動パターンが変化することから、食塊の口腔内移送に重要な働きを持っていることを明らかにしている^{71, 77, 78, 79)}。

呼吸

ほとんどの哺乳動物では咽頭は嚥下と呼吸の共通路である。この形態は食塊が咽頭を通過する際これが気道に入り込む、いわゆる誤嚥の危険性を生む⁸⁰⁾。上気道を防御する機構として、くしゃみや咳など多くの反射が知られており⁸¹⁾、臨床的に喉頭蓋による喉頭口の閉鎖に注目が集まりがちであるが、呼吸の一時停止や声門閉鎖など、呼吸器の運動も嚥下を実行する上で重要である^{82, 83)}。すなわち、機械的防御機構の一つとして声門閉鎖があり、嚥下に伴い呼吸を制御している。また、食塊が喉頭口の周囲を通過して食道に送り込まれる際に強い吸息が起これば、食塊の一部は吸気と共に気道に吸い込まれてしまう。したがって嚥下時には呼吸を一時抑制する機構が備わっている。この呼吸抑制は嚥下性無呼吸とよばれヒトの正常嚥下には欠かせない。

声門閉鎖のタイミングは誤嚥防止に重要なパラメータである。重要な点は、呼吸中枢が嚥下誘発を完全には制御していないため、呼吸のタイミングを考慮しないと誤嚥の危険性が高いということである。覚醒した成人では嚥下のうち約80%が呼息相に起こり、嚥下後、呼息で呼吸を再開する⁸⁴⁾。しかし、意識がない場合には、嚥下は呼吸運動とは無関係にどの相でも起こる⁸⁵⁾。Paydarfar et al. (1995)⁸²⁾は実験的に嚥下を種々の呼吸相に誘発し、嚥下による呼吸時の気流変化を観察している。その結果、嚥下と呼吸運動は強力な相互関係は無いものの、嚥下の誘発閾値は、通常呼吸の相に影響されている、そして呼吸のタイミングが嚥下時の誤嚥発生に影響することか

ら、何らかの原因で嚥下と呼吸リズムの関係が崩れたり、咽頭での食塊の移送が遅れるようなことが起こり、呼息-吸息移行期に嚥下すると誤嚥を起こす率が高くなると指摘している。

McFarland and Lund (1995)⁶⁹⁾は咀嚼・嚥下と呼吸の関係をヒトで研究し、咀嚼時には呼吸のリズムは速くなるが、終了するとすぐに平常時より遅くなること、ならびに、呼吸は咀嚼の開口相に始まることを報告している。また、咀嚼は呼吸リズムに大きく影響するが、嚥下が誘発される際に、呼吸と咀嚼リズムの同期が強化されることはなく、嚥下の準備として呼吸と咀嚼の位相を嚥下に都合良く一致させるような神経性調節が行われているとは考えられないと述べている。ヒトでも動物でも呼吸と咀嚼のリズムに同期性は見られないこと、そして嚥下が誘発されれば一時的に咀嚼と呼吸の両方のリズムがリセットされ呼吸周期は延長することから、嚥下中枢は咀嚼中枢と呼吸中枢にそれぞれ独立したコマンドを送っている可能性があるかと推察している。

臨床的な観点から、鎌倉ら (1998)⁸³⁾は若齢群、初老群、高齢群に分けて嚥下時の呼吸の型を検索している。そして、どの群でも嚥下性無呼吸後に呼気で再開する型が吸気で再開する型に比べ発現頻度が高いものの、若齢群と初老群に比べ高齢群では前者の発現頻度が有意に低下すると報告している。誤嚥を防ぐ機構としてみれば、嚥下性無呼吸後に呼気を後続する方が誤嚥の危険性が少ないと予想されることから、呼吸と嚥下のタイミングをとっていても加齢に伴い誤嚥の危険性が増加すると考えられる。

5. おわりに

摂食・嚥下は栄養摂取という生命活動に不可欠な行動の一部で、顎顔面および頸部にある多くの筋が食塊という均一性に欠ける物体を粉碎・移送する複雑な運動である。しかも、少し間違えば異物や毒を取り込む危険性もあるため、中枢神経系には感覚・運動に加え、学習を通して蓄積した情報と比較して的確な判断が求められる。このため、摂食・嚥下機能の障害は多様で、対処に苦慮する場面も多い。基礎医学で蓄積された知識は、臨床に直接利用できない場合が多いが、少し別の方向から解釈すると、意外に利用できる。この分野の基礎研究を行っている歯科基礎医学会との連携を進める必要がある。

文 献

- 1) Doty RW, Bosma JF. An electromyographic analysis of reflex deglutition. *J Neurophysiol.* 19: 44-60. 1956.

- 2) Miller A J. Deglutition. *Physiol Rev.* 62: 129-184. 1982.
- 3) Martin RE, Sessle BJ. The role of the cerebral cortex in swallowing. *Dysphagia.* 8: 195-202. 1993.
- 4) Jean A. Brainstem control of swallowing: Localisation and organisation of the central pattern generator for swallowing. I: *Neurophysiology of the Jaws and Teeth*, edited by A Taylor, New York: MacMillan, 1990, chapt. 10, pp 294-321.
- 5) Jean A. Brain stem control of swallowing: Neuronal network and cellular mechanisms. *Physiol Rev.* 81: 929-969. 2001.
- 6) Magendie F. MD Thesis, Paris. Cited in Magendie F (1936). *Precis elementaire de Physiologie*, Tome 2. Paris. 1808.
- 7) Leopold NA, Kagel MC. Swallowing, ingestion and dysphagia: a reappraisal. *Arch Phys Med Rehabil.* 64: 371-373. 1983.
- 8) 山田好秋, よくわかる摂食・嚥下のメカニズム, 医歯薬出版, 東京, 2004.
- 9) Kikawada M, Iwamoto T, Takasaki M. Aspiration and infection in the elderly : epidemiology, diagnosis and management. *Drugs Aging.* 22: 115-130. 2005.
- 10) Logemann JA. Non-imaging techniques for the study of swallowing. *Acta Otorhinolaryngol Belg.* 48: 139-142. 1994.
- 11) LeBlanc J, Cabanac M, Samson P. Reduced postprandial heat production with gavage as compared with meal feeding in human subjects. *Am J Physiol.* 246: E95-101. 1984.
- 12) 金子芳洋, 千野直一 : 摂食・嚥下リハビリテーション, pp306, 医歯薬1998.
- 13) Pommerenke WT. A study of the sensory areas eliciting the swallowing reflex. *Am J Physiol.* 84: 36-41. 1928.
- 14) Bastian RW, Riggs LC. Role of sensation in swallowing function. *Laryngoscope.* 109:1974-1977. 1999.
- 15) Mansson I, Sandberg N. Salivary stimulus and swallowing reflex in man. *Acta Otolaryngol.* 79: 445-450. 1975.
- 16) 小口和代, 才藤栄一, 馬場尊, 楠戸正子, 田中ともみ, 小野木啓子 : 機能的嚥下障害スクリーニングテスト「反復唾液嚥下テスト」(the Repetitive Saliva Swallowing Test: RSST)の検討。(2) 妥当性の検討, *リハ医学*, 37: 383-388, 2000.
- 17) Lazzara G, Lazarus C, Logemann JA. Impact of thermal stimulation on the stimulation triggering of the swallowing reflex. *Dysphagia* 1: 73-77. 1986.
- 18) Bove M, Mansson I, Eliasson I. Thermal oral-pharyngeal stimulation and elicitation of swallowing. *Acta Otolaryngol.* 118: 728-731. 1998.
- 19) Chi-Fishman G, Capra NF, McCall GN. Thermomechanical facilitation of swallowing evoked by electrical nerve stimulation in cats. *Dysphagia.* 9: 149-55. 1994.
- 20) Kaatzke-McDonald MN, Post E, Davis P. J. The effects of cold, touch, and chemical stimulation of the anterior faucial pillar on human swallowing. *Dysphagia.* 11: 198-206. 1996.
- 21) Yamada M, Maruhashi J, Miyake N. The distribution of sensory spots on the oral membrane. *Jpn J Physiol.* 2: 328-332. 1952.
- 22) Kitagawa J, Shingai T, Takahashi Y, Yamada Y. Pharyngeal branch of the glossopharyngeal nerve plays a major role in reflex swallowing from the pharynx. *Am J Physiol.* 282: R1342-1347. 2002.
- 23) Ciampini G, Jean A. Role of glossopharyngeal and trigeminal afferents in the initiation and propagation of swallowing. I - Glossopharyngeal afferents *J Physiol.* 76: 49-60. 1980.
- 24) Jafari S, Prince RA, Kim DY, Paydarfar D. Sensory regulation of swallowing and airway protection: a role for the internal superior laryngeal nerve in humans. *J Physiol.* 2003 550 (Pt1): 287-304.
- 25) Zoungrana OR, Lamkadem M, Amri M, Car A, Roman C. Effects of lingual nerve afferents on swallowing in sheep. *Exp Brain Res.* 132: 500-509. 2000.
- 26) Weerasuriya A, Bieger D, Hockman CH. Interaction between primary afferent nerves in the elicitation of reflex swallowing. *Am J Physiol.* 239: R407-414. 1980.
- 27) Amarasena J, Ootaki S, Yamamura K, Yamada Y. Effect of cortical masticatory area stimulation on swallowing in anesthetized rabbits. *Brain Res.* 965: 222-238. 2003.
- 28) Hamdy S, Aziz Q, Rothwell JC, Hobson A, Barlow J, Thompson D. Cranial nerve modulation of human cortical swallowing motor pathways. *Am J Physiol* 272: G802-808. 1997.
- 29) Larson CR, Byrd KE, Garthwaite CR, Lushiei ES. Alterations in the pattern of mastication after ablation of the lateral precentral cortex in rhesus macaques. *Exp Neurol* 70: 638-651. 1980.
- 30) Luschei ES, Goodwin GM. Role of mankey precentral cortex in control of voluntary jaw movements. *J Neurophysiol.* 38: 146-157. 1975.
- 31) Bremer F. Physiologie nerveuse de la mastication chez le chat et le lapin. *Arch Int Physiol.* 21: 308-352, 1923.
- 32) Enomoto S, Shwartz G, Lund JP. The effects of cortical ablation on mastication in the rabbit. *Neurosci Lett* 82: 162-166. 1987.
- 33) Inoue T, Kato T, Masuda Y, Nakamura Y, Kawamura Y, Morimoto T. Modification of masticatory behavior after trigeminal deafferentation in the rabbit. *Exp Brain Res* 74: 579-591. 1989.
- 34) Martin RE, Kemppainen P, Masuda Y, Yao D, Murray GM,

- Sessle BJ. Features of cortically evoked swallowing in the awake primate (*Macaca fascicularis*). *J Neurophysiol.* 82: 1529-1541. 1999.
- 35) Narita N, Yamamura K, Yao D, Martin RE, Sessle BJ. Effects of functional disruption of lateral pericentral cerebral cortex on primate swallowing. *Brain Res.* 824: 140-145. 1999.
- 36) Yamamura K, Narita N, Yao D, Martin RE, Masuda Y, Sessle BJ. Effects of reversible bilateral inactivation of face primary motor cortex on mastication and swallowing. *Brain Res.* 944: 40-55. 2002.
- 37) Yamada Y, Yamamura K, Inoue M. Coordination of cranial motoneurons during mastication. *Respir Physiol Neurobiol.* 147: 177-89. 2005.
- 38) Watanabe Y, Abe S, Ishikawa T, Yamada Y, Yamane GY. Cortical regulation during the early stage of initiation of voluntary swallowing in humans. *Dysphagia.* 19: 100-108. 2004.
- 39) Devinsky O, Morrell MJ, Vogt BA. Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. *Brain.* 118: 279-306. 1995.
- 40) West RA, Larson CR. Neurons of the anterior mesial cortex related to faciovocal activity in the awake monkey. *J Neurophysiol.* 74: 1856-1869. 1995.
- 41) Martin RE, Goodyear BG, Gati JS, Menon RS. Cerebral cortical representation of automatic and volitional swallowing in humans. *J Neurophysiol.* 85: 938-950. 2001.
- 42) Hamdy S, Mikulis DJ, Crawley A, Xue S, Lau H, Henry S, Diamant NE. Cortical activation during human volitional swallowing: an event-related fMRI study. *Am J Physiol.* 277: G219-225. 1999.
- 43) Katayama K, Takahashi N, Ogawara K, Hattori T. Pure topographical disorientation due to right posterior cingulate lesion. *Cortex.* 35: 279-282. 1999.
- 44) Grasby PM, Frith CD, Friston KJ, Bench C, Frackowiak RS, Dolan RJ. Functional mapping of brain areas implicated in auditory – verbal memory function. *Brain.* 116: 1-20. 1993.
- 45) Mosier KM, Liu WC, Maldjian JA, Shah R, Modi B. Lateralization of cortical function in swallowing: a functional MR imaging study. *AJNR Am J Neuroradiol.* 20: 1520-6. 1999.
- 46) Daniels SK, Foundas AL. The role of the insular cortex in dysphagia. *Dysphagia.* 12: 146-156. 1997.
- 47) Beckstead RM, Morse JR, Norgren R. The nucleus of the solitary tract in the monkey: projections to the thalamus and brain stem nuclei. *J Comp Neurol.* 190: 259-282. 1980.
- 48) Augustine JR. Circuitry and functional aspects of the insular lobe in primates including humans. *Brain Res Brain Res Rev.* 22: 229-244. 1996.
- 49) Kobayakawa T, Endo H, Ayabe-Kanamura S, Kumagai T, Yamaguchi Y, Kikuchi Y, Takeda T, Saito S, Ogawa H. The primary gustatory area in human cerebral cortex studied by magnetoencephalography. *Neurosci Lett.* 212: 155-158. 1996.
- 50) Penfield W, Faulk ME. The insula; further observations on its function. *Brain.* 78: 445-470. 1955.
- 51) Dronkers NF. A new brain region for coordinating speech articulation. *Nature.* 384: 159-161. 1996.
- 52) Binkofski F, Schnitzler A, Enck P, Frieling T, Posse S, Seitz RJ, Freund HJ. Somatic and limbic cortex activation in esophageal distention: a functional magnetic resonance imaging study. *Ann Neurol.* 44: 811-5. 1998
- 53) Williams RB, Wallace KL, Ali GN, Cook IJ. Biomechanics of failed deglutitive upper esophageal sphincter relaxation in neurogenic dysphagia. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* 283: G16-26. 2002.
- 54) 森敏裕：嚥下第Ⅱ期における嚥下圧動態の研究。日耳鼻，95：1022-1034，1992。
- 55) McConnel FMS, Guffin TN, Cerenko D, Ko AS-H. The effects of bolus flow on vertical pharyngeal pressure measurement in the pharyngoesophageal segment: clinical significance. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 106: 169-174. 1992.
- 56) Morimoto T. Perception of intraoral stimulation, In *Neurophysiology of the jaws and teeth*, edited by A Taylor, New York: MacMillan, 1990, chapt. 11, pp 369-390.
- 57) Hryciyshyn AW, Basmajian JV. Electromyography of the oral stage of swallowing in man. *Am J Anat.* 133: 333-340. 1972.
- 58) Aeba H, Yamamura K, Inoue M, Hanada K, Ariyasinghe S, Yamada Y. Effects of the inferior alveolar nerve stimulation on tongue muscle activity during mastication in freely behaving rabbits. *Brain Res.* 956:149-155. 2002.
- 59) Dantas RO, Kern MK, Massey BT, Dodds WJ, Kahrilas PJ, Brasseur JG, Cook IJ, Lang IM. Effect of swallowed bolus variables on oral and pharyngeal phases of swallowing. *Am J Physiol.* 258: G675-681. 1990.
- 60) Trifan, A, Ren J, Arndorfer R, Hofmann C, Bardan E, and Shaker R. Inhibition of progressing primary peristalsis by pharyngeal water stimulation in humans. *Gastroenterology* 110: 419-423. 1996.
- 61) Vanek, AW, and Diamant NE. Responses of the human esophagus to paired swallows. *Gastroenterology* 92: 643-650. 1987.
- 62) Hollis JB, Castell DO. Effect of dry swallows and wet swallows of different volumes on esophageal peristalsis. *J Appl Physiol.* 38: 1161-1164. 1975.

- 63) Falempin M, Madhloum A, Rousseau JP, Effects of vagal deafferentation on oesophageal motility and transit in the sheep. *J Physiol.* 372: 425-436, 1986.
- 64) 山田好秋, 筋の疲労および疼痛, 石岡靖 他編, 顎口腔機能分析の基礎とその応用, デンタルダイヤモンド, 東京, 1991, 188-197.
- 65) Sonies BC, Parent LJ, Morrish K, Baum BJ. Durational aspects of the oral-pharyngeal phase of swallow in normal adults. *Dysphagia.* 3: 1-10, 1988.
- 66) Kleinjan KJ, Logemann JA. Effects of repeated wet and dry swallows in healthy adult females. *Dysphagia.* 17: 50-56, 2002.
- 67) 中村嘉男, 咀嚼運動の生理学, 医歯薬出版, 東京, 1998.
- 68) Kessler JP, Cherkaoui N, Catalin D, Jean A. Swallowing responses induced by microinjection of glutamate and glutamate agonists into the nucleus tractus solitarius of ketamine-anesthetized rats. *Exp Brain Res.* 83: 151-158, 1990.
- 69) McFarland DH, Lund JP. An investigation of the coupling between respiration, mastication, and swallowing in the awake rabbit. *J Neurophysiol.* 69: 95-108, 1993.
- 70) Meng Y, Uchida K, Sato T, Yamamura K, Yamada Y. Difference in the burst patterns of digastric and mylohyoid activities during feeding in the freely behaving rabbit. *Dysphagia.* 14: 78-84, 1999.
- 71) Naganuma K, Inoue M, Yamamura K, Hanada K, Yamada Y. Tongue and jaw muscle activities during chewing and swallowing in freely behaving rabbits. *Brain Res.* 915: 185-194, 2001.
- 72) Uchida K, Yamada Y, Sato T. The coordination of rhythmical drinking behavior with swallowing in rabbits. *Physiol Behav.* 55: 795-7801, 1994.
- 73) McFarland DH, Lund JP. Modification of mastication and respiration during swallowing in the adult human. *J Neurophysiol.* 74: 1509-1517, 1995.
- 74) Lamkadem M, Zougrana OR, Amri M, Car A, Roman C. Stimulation of the chewing area of the cerebral cortex induces inhibitory effects upon swallowing in sheep. *Brain Res.* 832: 97-111, 1999.
- 75) Takagi M, Noda T, Yamada Y. Comparison of SLN-evoked swallows during rest and chewing in the freely behaving rabbit. *Brain Res* 956: 74-80, 2002.
- 76) Adb-el-Malek S. A contribution to the study of the movements of the tongue in animals, with special reference to the cat. *J Anat.* 73: 15-30, 1938.
- 77) Ioue M, Harasawa Y, Yamamura K, Ariyasinghe S, Yamada Y. Effects of food consistency on the pattern of extrinsic tongue muscle activities during mastication in freely moving rabbits. *Neurosci Lett.* 368: 192-196, 2004.
- 78) Inoue M, Ariyasinghe S, Yamamura K, Harasawa Y, Yamada Y. Extrinsic tongue and suprahyoid muscle activities during mastication in freely feeding rabbits. *Brain Res.* 1021: 173-182, 2004.
- 79) Ariyasinghe S, Inoue M, Yamamura K, Harasawa Y, Kurose M, Yamada Y. Coordination of jaw and extrinsic tongue muscle activity during rhythmic jaw movements in anesthetized rabbits. *Brain Res.* 1016: 201-216, 2004.
- 80) Laitman JT, Reidenberg JS. Specializations of the human upper respiratory and upper digestive systems as seen through comparative and developmental anatomy. *Dysphagia.* 8: 318-325, 1993.
- 81) Nishino T. Physiological and pathophysiological implications of upper airway reflexes in humans. *Jpn J Physiol.* 50: 3-14, 2000.
- 82) Paydarfar D, Gilbert RJ, Poppel CS, Nassab P: Respiratory phase resetting and airflow changes induced by swallowing in humans. *J Physiol.* 483: 273-288, 1995.
- 83) 鎌倉やよい, 杉本助男, 深田順子, 加齢に伴う嚥下時の呼吸の変化, 摂食・嚥下リハ学会雑誌, 2 : 13-22, 1998.
- 84) Nishino T, Yonezawa T, Honda Y. Effects of swallowing on the pattern of continuous respiration in human adults. *Am Rev Respir Dis.* 132: 1219-1222, 1985.
- 85) Nishino T, Hiraga K: Coordination of swallowing and respiration in unconscious subjects. *J Appl Physiol.* 70: 988-993, 1991.

クッキーの咀嚼・嚥下特性に与えるグルテン 構成たんぱく質組成の影響

Effects of Gluten-Constituent Protein Compositions on Chewing
and Swallowing Characteristics of Cookies

新井 映子¹⁾, 山村 千絵²⁾, 江川 広子²⁾, 城 斗志夫³⁾,
島田 久寛⁴⁾, 山田 好秋²⁾

Eiko Arai¹⁾, Chie Yamamura²⁾, Hiroko Egawa²⁾, Toshio Jyoh³⁾,
Hisanori Shimada⁴⁾, Yoshiaki Yamada²⁾

要旨 本研究では、グルテン構成たんぱく質のグルテニンとグリアジンの比率を変化させた5種類の再構成小麦粉を使用して、咀嚼・嚥下機能が減退した高齢者や摂食・嚥下障害を持つ方に適した物性を有するクッキーの調製を試みた。グルテニンとグリアジンの比率が異なるクッキーの破断特性、吸水性およびモデル食塊の物性を、機器測定と官能検査によって評価した。グリアジンとグルテニンの比率を市販小麦粉のそれに近い1:1から1:2に変えた場合、クッキーは破断歪が減少して砕けやすくなり、吸水性が向上して唾液と混ざると滑らかになった。若年健常者による官能検査においても、グリアジンとグルテニンの構成比率が1:2のクッキーは、1:1のクッキーよりも、高齢者食や介護食用のクッキーとして適していると評価された。これらの結果より、高齢者食や介護食に適するクッキーを調製するためには、グルテンに占めるグルテニンの比率を増加させるとよいことが推察された。グルテニンの増加によるクッキーのおもな物性改変要因は、グルテニンが増すことにより、生地調製時にグルテンに吸水される水分が減少し、代わりにでんぷんに吸収される水分が増加して、でんぷんの糊化が促進されたためと推察された。

key words: クッキー, グルテン組成, 破断特性, 吸水性

〈所属〉

- 1) 静岡大学教育学部
- 2) 新潟大学大学院医歯学総合研究科
- 3) 新潟大学農学部
- 4) (株)レシピ計画

- 1) Faculty of Education, Shizuoka University
- 2) Graduate School of Medical and Dental Sciences, Niigata University
- 3) Faculty of Agriculture, Niigata University
- 4) Recipe Keikaku Co., Ltd.

〈連絡先〉

〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836
静岡大学教育学部
新井 映子
TEL 054-238-4685 FAX 054-238-4685
e-mail address: ejeairai@ipc.shizuoka.ac.jp

緒 言

米を主食とする日本では、近年、咀嚼や嚥下機能が減退した高齢者や、脳血管障害などによって摂食・嚥下に障害を持つようになった方たちが食べやすく、誤嚥を起こしにくいように改良された粥¹⁻³⁾が開発され、施設や病院などで利用されている。

一方、米と同様に日本人の食生活に欠くことのできな小小麦粉を主原料とした高齢者食や介護食については、南ら⁴⁾のクリームサンドビスケットや、小城ら⁵⁾の食パンに関する報告はあるが、研究例は少ない。そこで本研究では、高齢者や摂食・嚥下障害を持つ方たちが栄養補給や食の楽しみを目的として摂取する小麦粉原料のクッキーについて、高齢者食や介護食として望ましい物性を

付与する方法を検討することとした。

現在、市場に流通している小麦粉は、グルテンの構成たんぱく質であるグリアジンとグルテニンの比率が1:1に近くなるように調整されている。グリアジンは流動性を有する粘着性の高い性質で、グルテニンはゴム状で弾力性に富んだ性質である⁶⁾。小麦粉に水を加えて混捏すると、これらのたんぱく質が分子間で架橋構造を形成することにより、小麦粉特有の粘弾性を持ったグルテンができる。

先に倉賀野ら⁷⁾は、小麦たんぱく質を分画して得た酸可溶性グルテン、酸不溶性たんぱく質、グリアジン画分およびグルテニン画分を用いた再構成小麦粉でクッキーを調製し、それらの成分がクッキーの物性に与える影響を検討した。その結果、グリアジン画分を添加したクッキーは軟らかいが破断歪は大きく、グルテニン画分を添加したクッキーは硬いが破断歪は小さいことなどを明らかにした。これらの知見より、われわれは、性質の異なるグリアジンとグルテニンの比率を変えることにより、クッキーの物性制御は可能であると考えた。

そこで本研究では、グリアジンとグルテニンの比率が異なる5種類の再構成小麦粉を使用してクッキーを焼成し、破断特性の測定、モデル食塊のテクスチャー測定および官能検査を行うことにより、高齢者食や介護食として望ましい物性を有するクッキーの調製方法について検討することとした。

材料と方法

1. 材料

小麦たんぱく質には、グリコ栄養食品(株)から恵与された食品加工用途の高グリアジン画分たんぱく質(グルノールNo.1)と高グルテニン画分たんぱく質(グルテニンNo.2)を使用した。その他の材料は、食品加工用途の小麦でんぷん(千葉製粉製(株))、上白糖(日清製糖(株))、有塩バター(雪印乳業(株))、鶏卵(賞味期限内の市販卵)および水(蒸留水)である。

2. 試料調製

1) 再構成小麦粉

たんぱく質含有量は、1等粉の薄力粉の含有量(6.5~8.0%⁸⁾)に準じて7.5%に設定した。表1に示したように、高グリアジン画分(以後「グリアジン」と略す)と高グルテニン画分(以後「グルテニン」と略す)の比率が1:1のものを中心として、それぞれの単独使用を含むA~Eの5種類の小麦たんぱく質(12g)に小麦でんぷん(148g)を添加し、再構成小麦粉(以後「小麦粉」と略す)を調製した。以後、これらの小麦粉で焼成

表1 再構成小麦粉の組成

	小麦たんぱく質		小麦でんぷん
	高グリアジン画分	高グルテニン画分	
A	12	0	148
B	8	4	148
C	6	6	148
D	4	8	148
E	0	12	148

(g)

したクッキーを、A, B, C, DおよびEと称する。

2) クッキー

倉賀野ら⁷⁾の方法に準じた。ただし、本研究ではグリアジンとグルテニンの性質をより強くクッキーに発現させるために、倉賀野ら⁷⁾の配合比から油脂を減らして小麦粉を増量し、小麦粉:油脂:水=160:25:20とした。

1回(30個分)の調製法は、以下の通りである。バター(25g)に上白糖(45g)を加えて混合し、全卵(35g)を加えてさらに混合した。ふるいを通した小麦粉(160g)と水(20ml)を加えて十分に混捏し、クッキー生地とした。クッキー生地を厚さ10mmに伸展した後、直径25mmの円形に抜き取り、180℃のコンベクションレンジ(RCK-10NG, リンナイ(株))で15分間焼成した。焼成後のクッキーは室温で放冷後、ポリエチレン袋に入れて密封し、-25℃の冷凍庫内で保存した。

実験には、密封冷凍保存したクッキーを20℃で1時間放置して常温に戻した後、破断測定に30枚、官能検査に40枚、吸水率測定に10枚およびモデル食塊のテクスチャー測定に10枚程度を使用した。

3) クッキーのモデル食塊

ビニール袋にクッキー3枚を入れ、木槌で軽くたたいて破碎した後、目開き2mmと1mmのふるいを通した。ふるい上に残ったクッキーは再度粉碎してふるいを通し、大きさが1~2mmの破碎試料を得た。破碎試料(8g)をビーカー(25ml)に採取して水(12ml)を加え、薬さじで10回軽く攪拌しながら混合した。混合後のモデル食塊は、直ちに3のテクスチャー測定用容器に充填し、測定に供した。

3. 測定方法

1) クッキーの破断特性

クリープメーター(RE-33005, (株)山電, 以下同様)を使用して破断応力, 破断歪率, 破断エネルギーおよび脆さ応力を測定した。測定条件は以下の通りである。ロードセル, 20kgf; プランジャー, ポリアセタール樹脂製円形(直径16mm); 測定スピード, 1mm/秒; 測定歪

率, 80%. 測定は各クッキーについて20枚ずつ実施し, 結果を平均値±標準偏差で表した.

2) クッキーの官能検査

被験者は, 健康な女子大学生20名(20~22歳, 平均年齢 21.1 ± 0.6 歳)とした. 研究の趣旨からは, 咀嚼・嚥下機能が減退した被験者を対象とすることが望ましいが, 今回はグルテン構成たんぱく質組成がクッキーの咀嚼や嚥下に与える基礎的データの収集を目的としているため, 誤嚥の危険性を考慮して若年健康者を用いることとした. 検査に先立ち, 被験者全員に研究の趣旨や方法, 起りうる危険や必然的に伴う不快な状態への十分な説明を行い, 理解と同意を得た後に実施した. 実施時期は2003年12月である.

検査は, Cを基準試料(0)として, A, B, DおよびEを評価してもらう方法を用いた. 白の紙皿に3種類のクッキー(A, BとCまたはD, EとC)をそれぞれ2個ずつのせ, 水を入れたコップとともに被験者に提供した. 被験者には, Cを試食した後, 口腔内に食塊が残らないように少量の水を飲んでもらい, 検査対象のクッキーを試食してもらった. また, 同一クッキー間のばらつきを考慮して, 被験者には必ず2個のクッキーを試食した後に, 2個のクッキーの性状を平均化して評価してもらうように指示した.

評価項目は, 赤羽と和田⁹⁾および南ら⁴⁾の方法を参考にして, 噛み始めの硬さ, 脆さ, 滑らかさ, 粘着性, 食塊形成の容易さ, 飲み込みやすさおよび高齢者食・介護食用のクッキーとしての総合評価の7項目とし, 評価には+2から-2までの評価尺度を用いた. 結果をスコアの平均値で表した.

3) クッキーの吸水率

赤羽と和田⁹⁾の方法に準じた. クッキーを5秒間水に浸漬後, 取り出して過剰な水分を濾紙(No.2, 東洋濾紙(株))で15秒間除去し, 重量測定した. 吸水率は, 吸水後重量を吸水前重量で除して求めた. 測定は各クッキーについて10枚ずつ実施し, 結果を平均値±標準偏差で表した.

4) モデル食塊のテクスチャー特性

モデル食塊をステンレス製容器(内径40mm, 深さ15mm)に充填した後, クリーブメーターを使用して硬さ応力, 付着性および凝集性を測定した. 測定条件は以下の通りである. ロードセル, 2kgf; プランジャー, ポリアセタール樹脂製円形(直径20mm); 測定スピード, 1mm/秒; 測定歪率, 80%; 圧縮回数, 2回. 測定は各クッキーのモデル食塊について5回ずつ実施し, 結果を平均値±標準偏差で表した.

5) 統計処理

統計解析には, SPSS 14.0J Base Systemを使用した. 平均値の差の検定は, 対応のあるサンプルの *t*-検定によった.

結 果

1. 再構成小麦粉で調製したクッキーの性質

クッキーの咀嚼・嚥下特性を評価するにあたり, 始めにクッキーの一般的性質を明らかにしておく必要があると考え, 形状と破断特性を測定した. 結果の評価はCを基準として行った.

1) 形 状

表2に示したように, クッキーの直径(長径)は, AがCより有意($p < 0.001$)に大となった. 他のクッキーとCとの間に有意差は認められなかった. 厚さは $A > B > C > D > E$ の順となり, A, DおよびEとCの間にはそれぞれ有意差($p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.001$)が認められた. これらの結果より, グリアジン含有量が高いクッキーほど直径, 厚さともに大となることが判明した.

表2 クッキーの形状

	直径(長径)	厚 さ
A	$27.2 \pm 0.6^{***}$	$14.4 \pm 0.6^{**}$
B	26.2 ± 0.7	13.9 ± 0.8
C	25.7 ± 0.5	13.5 ± 0.3
D	26.0 ± 0.2	$12.7 \pm 0.7^*$
E	25.8 ± 0.4	$11.8 \pm 0.4^{***}$

(mm, 平均値±標準偏差)

*, **および***は, クッキーCに対して5% ($p < 0.05$), 1% ($p < 0.01$) および0.1% ($p < 0.001$) 水準で有意差が認められたことを表す.

2) 破断特性

図1にクッキーの代表的な荷重-歪曲線を, 図2に破断特性値を示した. 破断応力値は, BがCより有意($p < 0.01$)に低く, EがCより有意($p < 0.001$)に高くなった. これらの結果より, グルテニン含有量の高いクッキーほど硬くなる傾向にあることが判明した. ただし, グリアジン単独のAは, Bより若干高い値を示した.

破断歪率の値は, DとEがCより有意($p < 0.01$, $p < 0.001$)に低くなった. 破断歪率が低いということは破断までの時間が短いことであり, 破断抵抗が小さいといえる. 従って, グルテニン含有量の高いクッキーほど, 破断抵抗は小さくなることが判明した.

破断エネルギー値は, EがCより有意($p < 0.01$)に

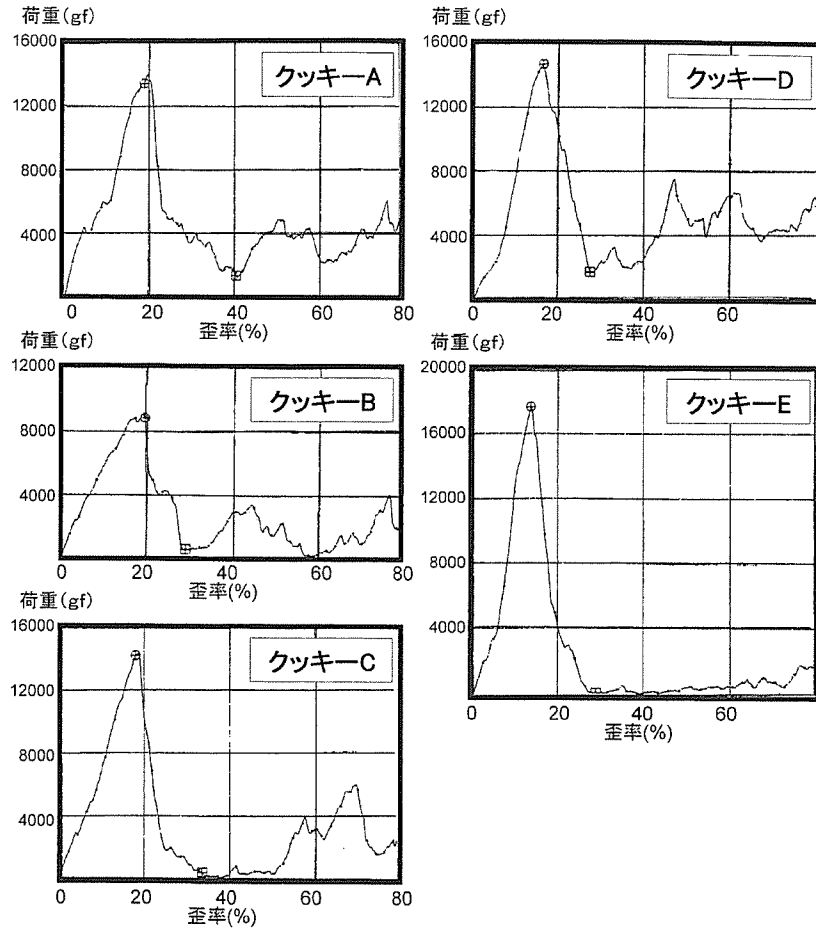


図1 クッキーの代表的な荷重-歪曲線

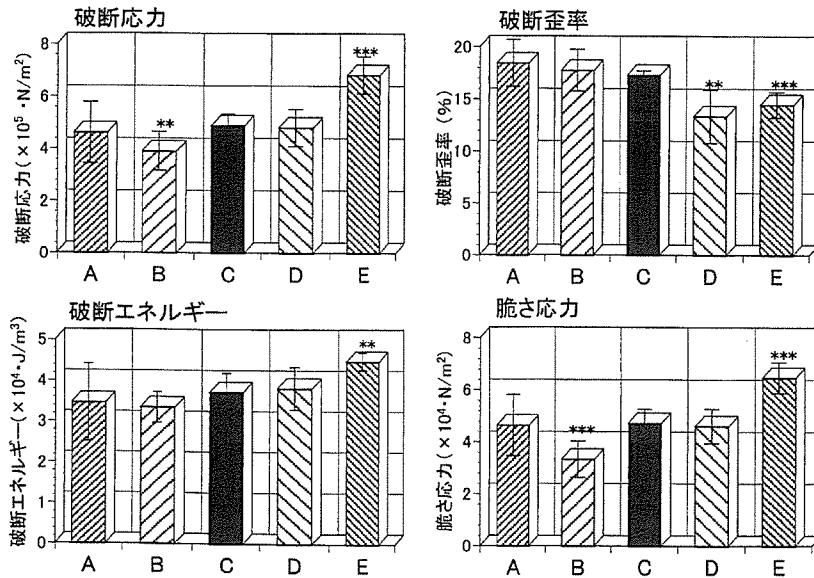


図2 クッキーの破断特性値

*, **および***は、クッキーCに対して5% ($p < 0.05$), 1% ($p < 0.01$) および0.1% ($p < 0.001$) 水準で有意差が認められたことを表す。

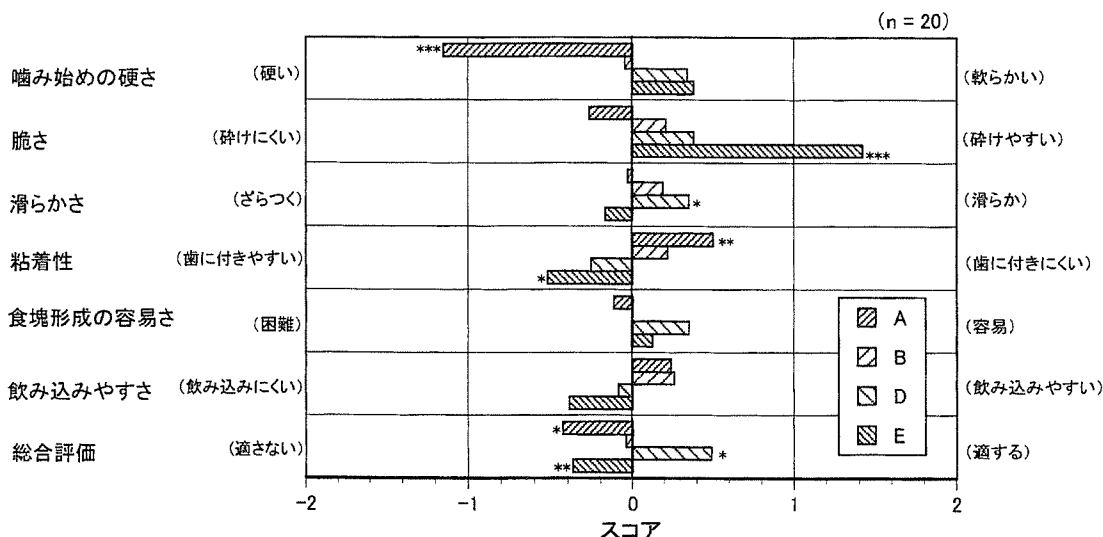


図3 クッキーの官能スコア

*, **および***は、クッキーCに対して5% ($p < 0.05$), 1% ($p < 0.01$) および0.1% ($p < 0.001$) 水準で有意差が認められたことを表す。

高くなった。他のクッキーとCとの間に有意差は認められなかったが、グルテンが増加するに伴い、破断エネルギー値は増加する傾向にあることが判明した。

脆さ応力値は、BがCより有意 ($p < 0.001$) に低く、EがCより有意 ($p < 0.001$) に高くなった。これらの結果より、グルテン含有量が高くなるに伴い、クッキーは脆くなる傾向にあることが判明した。ただし、グリアジン単独のAは、Bより若干高い値を示した。

なお、各クッキーの荷重-歪曲線の特徴については、後に考察する。

2. 再構成小麦粉で調製したクッキーの官能特性

クッキーの破断特性の違いが、ヒトの咀嚼や嚥下に与える影響を明らかにするため、Cを基準試料として官能検査を実施し、結果を図3に示した。

噛み始めの硬さは、AとBがマイナスのスコアとなり、Cよりも硬いと評価された。なお、AとCとの間には有意差 ($p < 0.001$) が認められた。DとEはプラスのスコアとなり、Cよりも軟らかいと評価された。これらの結果より、グリアジン単独のクッキーは硬いと評価され、グルテン含有量の高いクッキーほどやわらかいと評価される傾向にあることが判明した。ただし、これらの評価は、破断応力値や破断エネルギー値とは一致しなかった。

脆さは、Aがマイナスのスコアとなり、Cよりも砕けにくいと評価された。他のクッキーはいずれもプラスのスコアとなり、Cより砕けやすいと評価された。なお、EとCの間には有意差 ($p < 0.001$) が認められた。こ

れらの結果より、グルテン含有量の高いクッキーほど、砕けやすいと評価される傾向にあることが判明した。また、これらの評価は、脆さ応力値と概ね一致した。

滑らかさは、BとDがプラスのスコアとなり、Cよりもざらつきがないと評価された。なお、DとCの間には有意差 ($p < 0.05$) が認められた。Eはマイナスのスコアとなり、Cよりもざらついていると評価された。AはCとほぼ同等の評価であった。

粘着性は、AとBがプラスのスコアとなり、Cよりも歯に付きにくいと評価された。DとEはマイナスのスコアとなり、Cよりも歯に付きやすいと評価された。なお、A、EとCの間には有意差 ($p < 0.01$, $p < 0.05$) が認められた。これらの結果より、グルテン含有量の高いクッキーほど、歯に付きやすいと評価される傾向にあることが判明した。

食塊形成の容易さでは、Aはマイナスのスコアとなり、Cよりも困難であると評価された。EとDはプラスのスコアとなり、Cよりも容易であると評価された。BはCとほぼ同等の評価であった。ただし、スコアのばらつきが大きいため、いずれもCとの間に有意差は認められなかった。

飲み込みやすさでは、AとBがプラスのスコアとなり、Cよりも飲み込みやすいと評価された。DとEはマイナスのスコアとなり、Cよりも飲み込みにくいと評価された。ただし、スコアのばらつきが大きいため、いずれもCとの間に有意差は認められなかった。

総合評価では、Dのスコアのみがプラスとなり、Cよ

りも高齢者食や介護食用のクッキーとして適すと評価された。AとEはスコアがマイナスとなり、Cよりも適さないと評価された。BはCとほぼ同等の評価であった。なお、A、DおよびEとCとの間には有意差 ($p < 0.05$, $p < 0.05$, $p < 0.01$) が認められた。これらの結果より、Dはすべてのクッキーの中で、高齢者食や介護食用のクッキーとして最も評価の高いことが判明した。一方、AとEは、Cよりも高齢者食や介護食用のクッキーとして適さないと評価されることが判明した。

3. 再構成小麦粉で調製したクッキーの吸水性およびモデル食塊のテクスチャー特性

口腔内におけるクッキーの状態を明らかにするために、吸水率とモデル食塊のテクスチャー特性を測定した。

図4に示したように、吸水率はAがCより有意 ($p < 0.001$) に低く、DとEが有意 ($p < 0.01$) に高かった。これらの結果より、グルテン含有量が増加するに伴い、クッキーの吸水性は高くなる傾向にあることが判明した。

モデル食塊のテクスチャー特性値を図5に示した。モデル食塊の硬さ応力値は、AがCより有意に高かった ($p < 0.05$)。他のクッキーとCとの間に有意差は認められなかった。これらの結果より、グリアジン単独のクッキーAは、最も硬い食塊を形成する可能性が示唆された。

付着性の値は、AがCより有意 ($p < 0.05$) に低く、EがCより有意 ($p < 0.01$) に高かった。これらの結果より、グルテン含有量が増加するに伴い、食塊の付着性は大きくなる傾向にあることが判明した。

凝集性の値は、グルテン含有量が増加するに伴い、わずかながら高くなった。ただし、いずれのクッキーもCとの間に有意差は認められなかった。

考 察

グルテン構成たんぱく質のグリアジンとグルテンの比率を変化させた5種類の再構成小麦粉でクッキーを調

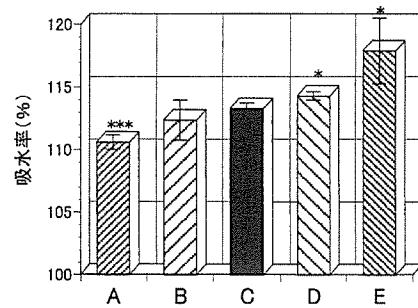


図4 クッキーの吸水率

*および***は、クッキーCに対して5% ($p < 0.05$)、および0.1% ($p < 0.001$) 水準で有意差が認められたことを表す。

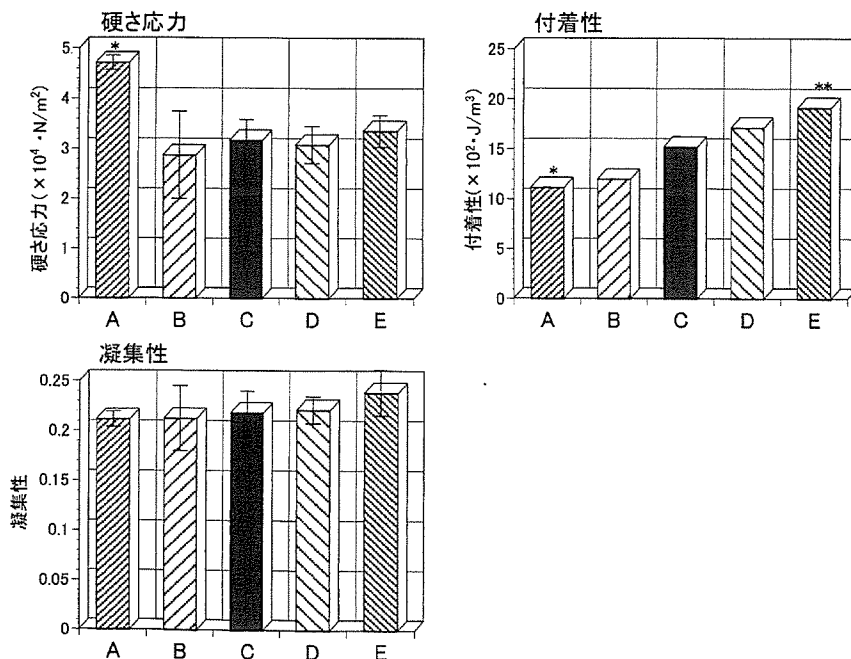


図5 クッキーモデル食塊のテクスチャー特性値

*および**は、クッキーCに対して5% ($p < 0.05$) および1% ($p < 0.01$) 水準で有意差が認められたことを表す。

製した結果、グリアジン単独のAは、グリアジンとグルテニンの比率が1:1のCよりも、焼成時に広がりやすかった(表2)。これは、グリアジンの流動性が生地特性に反映したものと推察された。また、グリアジンを多く含むクッキーほど、上方への膨化が認められた。一方、グルテン単独のEは、膨化しにくかった。倉賀野ら⁷⁾は、グリアジン画分で調製したクッキーは、膜構造が発達して気泡が安定に保たれるため、生地がよく膨化すると報告している。グリアジン単独のAも、同様の理由で最も膨化したものと推察された。

破断特性の測定結果(図2)より、グリアジン含有量が高いほどクッキーは軟らかいが破断抵抗は大きく、グルテン含有量が高いほどクッキーは硬くて脆くなることが判明した。これらの結果は、倉賀野ら⁷⁾の報告と一致した。また、グリアジンとグルテニンの比率によるクッキーの破断特性の変化は、各クッキーの代表的な荷重-歪曲線からも読みとれた(図1)。

Aは、破断歪率が大きいために、圧縮されてもすぐには破壊せず、変形し続けた。また、他のクッキーとは異なり、破断点に達するまでの間に複数の凹凸が認められた。これは、前述のように、グリアジンが多いと気泡が安定に保たれて生地がよく膨化するため、クッキーの内部組織が粗くなったためと推察された。従って、グリアジン単独のAは、破断時は比較的やわらかいが、破断抵抗が大きくショートネスに欠け、破断後も砕けにくいクッキーであるといえた。

Eの荷重-歪曲線は、破断点に達するまでの間にAのような凹凸がなく、シャープであった。破断後は、もろもろと崩れてブランジャーから逃れるため、荷重が一気に低下した。従って、グルテン単独のEは、破断時は硬いが破断抵抗は小さく、ショートネスがあり、砕けやすいクッキーであるといえた。

グリアジンとグルテンから構成されるB、CおよびDの荷重-歪曲線は、両者の比率が変化するに伴い、Aのそれに類似したものから、Eのそれに類似したものへと移行した。すなわち、Bの破断抵抗はCに近似しているが、破断時に最も軟らかく、破断後はやや砕けにくい傾向を示した。これらの性質は、グリアジンの影響によるものと推察された。DはCと破断時の硬さはほぼ等しいが、グルテンの影響によって破断点に達するまでの間に凹凸がなく、破断抵抗も小さかった。

これらの結果より、グルテン構成たんぱく質の比率を変えることにより、クッキーの物性改変は可能であることが確認された。従来、クッキーの物性改変は、油脂の種類¹⁰⁾や使用量¹¹⁾を変える、糖質の種類¹²⁾を変える、

乳化剤や膨張剤などの食品添加物を使用するなどの方法によってなされてきた。しかし、それらの方法では、求める物性を有したクッキーを、一定の材料配合で製造することは難しい。グルテン構成たんぱく質の組成に着目した本研究の方法は、クッキーの新たな物性改変手段のひとつになり得ると考えられた。

官能検査における噛み始めの硬さの評価は、破断応力の測定値とは一致しなかった(図2・図3)。倉賀野ら⁷⁾は、クッキーは硬い場合には脆さに欠け、軟らかい場合には脆いと評価される傾向にあると報告している。従って、官能検査では、噛んだときに砕けやすいグルテン含有量が高いクッキー(D、E)は軟らかいと評価され、グリアジン含有量の高い砕けにくいクッキー(A)は硬いと評価されたものと推察された。

脆さの評価は、破断歪率の測定結果と対応した。また、破断歪率の大きいクッキーは破断抵抗が大きいため、官能的に硬いと捉えられたことも推察できた。これらのことから、破断歪率の小さいDとEは、Cよりも軟らかいと評価されたものと考えられた。ただし、唾液と混合された後に感知される滑らかさ、粘着性、食塊形成の容易さおよび飲み込みやすさについての評価は、破断特性値との間に明確な対応は得られなかった。

クッキーの主成分は、小麦でんぷんである。クッキーは加水量の少ない低水分系の焼き菓子であるが、加熱によってでんぷんの一部は糊化し、糊化でんぷんに変化する¹³⁾。糊化でんぷんは、粒が破壊または変形しているため、未糊化粒よりも表面積が大きい。そのため、口腔内で唾液と接触すると速やかに多量の水分を吸収し、粘りのある糊状物質になる。

和田ら¹⁴⁾は、クッキーは最初の5秒間に急速に吸水し、以後吸水量の増加は緩慢になるため、クッキーを口に入れて1回程程度咀嚼することで、唾液が吸収されやすいか否かが概ね決まると報告している。従って、クッキーを乾燥状態で測定したのみでは、口腔内における湿潤な状態での性状は十分に把握できないと考え、クッキーの吸水性を測定した。

さらに、クッキーが口腔内で砕かれたときに生じる細かな破片が唾液と混ざり合っできる糊状物質の物性が、食塊の飲み込みやすさに影響を与えていると考えられる。そこで、クッキーを砕いて得られる粉状の部分を使用して、糊状物質を模したモデル食塊を調製した。

渡部ら¹⁵⁾は、成人男性6名を被験者として、嚥下直前のクッキー食塊に含まれる水分含有量を測定した結果、 $37.7 \pm 0.5 \sim 56.9 \pm 1.3\%$ の範囲(平均値 $45.5 \pm 6.7\%$)にあったと報告している。ただし、これらの測定値は、水

分が十分に吸収されていない大きな破片も含まれた状態での値と推察される。そのため、糊状物質の水分含有量は、これらの測定値よりも高い可能性が考えられる。そこで本実験では、渡部ら¹⁵⁾の報告の中で、最もよく唾液と混合された食塊を形成したと推定される被験者の測定値(56.9%)を参考にして、糊状物質を主体とするモデル食塊の水分含有量を60%に設定した。

その結果、グリアジンとグルテニンの比率を変えると、クッキーの吸水性やモデル食塊のテクスチャーも変化することが確認された(図4・図5)。

官能検査では、滑らかさの評価において、EはCよりも悪いと評価された。Eは吸水性が高いため(図4)、口に入れた瞬間に多量の唾液がクッキー表面に吸い取られ、咀嚼しても水分が食塊全体に均質に分散しないため、Cより舌触りが悪く感じられたものと推察された。川添ら¹⁶⁾は、クッキーの舌ざわりは、クッキーの嗜好性に最も大きく影響すると報告している。従って、Eの総合評価にとり、唾液と混ざり合った後のざらつき感は、マイナス要因になったものと考えられた。また、EはCよりも脆く、砕けやすかった。脆いクッキーは、むせたり誤嚥を起こしたりする危険性が高い。そのため、最も砕けやすいと評価されたことも、高齢者食や介護食用のクッキーとしてマイナス要因になったものと推察された。

同様にCよりも適さないと評価されたAは、吸水後のモデル食塊が最も硬く、付着性と凝集性も低かった。そのため、食塊を形成しにくいことが、総合評価にとってマイナス要因になったものと推察された。また、Aは破断抵抗が最も大きいため、噛み砕きにくいことも適さない要因のひとつと推察された。

DがCよりも高齢者食や介護食用のクッキーとして適していると評価された要因は、適度な砕けやすさがあり、唾液と混ざりあうと滑らかさが増すために舌触りがよくなり、モデル食塊の付着性と凝集性がわずかに大きいことから、食塊形成が容易であったことなどが推察された。

グリアジンとグルテニンの比率によるクッキーの特性変化には、でんぷんの糊化状態の関与が推察された。本研究で調製したクッキーでは、糊化に必要な水は、添加水と全卵(主として卵白)から供給される。中でも、添加水は束縛がない自由水であるため、その多くが混捏時にたんぱく質(グリアジンとグルテニン)またはでんぷんに選択的に吸着される。

Aでは、でんぷんよりもたんぱく質への吸着が大となり、その結果、グルテンが吸水して粘弾性を増し、焼成後も他のクッキーより破断歪率が大きくなったことや、

たんぱく質に吸着された水が多い分、でんぷんの糊化に利用される水が減少して糊化が抑制され、クッキーの吸水性が低下したことが推察された。

反対に、Eでは、水はたんぱく質よりもでんぷんにより多く吸着されたため、糊化が促進して糊化でんぷんが連続層を形成し、硬さやショートネスが増したことや、糊化度の高いでんぷんがクッキーの吸水性を増したことが推察された。

すなわち、グリアジンの比率が高い場合、たんぱく質は親水性を増すため、水はたんぱく質により多く吸着され、反対にグルテニンの比率が高い場合、たんぱく質は疎水性が増すため、水はでんぷんにより多く吸着される。従って、クッキーの破断特性やモデル食塊のテクスチャー特性の差異は、グリアジンとグルテニンの比率によってグルテンの粘弾性そのものが変化したことに加えて、混捏時に水を取り込む成分が変化し、でんぷんの糊化状態に差異が生じたためと推察された。そのため、今回の官能検査では、Dのグリアジンとグルテニンの比率の方が、市販小麦粉に近いCのそれよりも、高齢者食や介護食用のクッキーとして総合的に適していると評価されたものと考えられた。

ただし、Dは、官能検査における総合評価のほかには、必ずしも高齢者食や介護食用のクッキーとして、Cより有意に優れているとの評価を得るまでには至らなかった。そのため、今後はDのたんぱく質組成を基本としながらも、さらに材料や配合に検討を加えることにより、高齢者食や介護食用としてより適するクッキーの調製方法を明らかにする予定である。

さらに、本実験で得られた各種クッキーの官能特性の違いが、若年健常者とは咀嚼・嚥下機能が異なる高齢者や障害を持つ方に対しても同様に感知され得るものかを検証するため、高齢者や障害を持つ方を対象とした官能検査を実施し、あわせて実際のクッキー食塊を用いた物性評価も行う予定である。

結 論

本研究では、高齢者食や摂食・嚥下障害を持つ方の介護食として咀嚼しやすく飲み込みやすいクッキーを得ることを目的として、グルテン構成たんぱく質のグリアジンとグルテニンの比率を変えた5種類の再構成小麦粉を使用してクッキーを調製し、機器測定と官能検査によってそれらのクッキーの咀嚼・嚥下特性を評価した。その結果、以下の結論を得た。

1. 高グリアジン画分単独のクッキーは、やわらかいが

- ショートネスに欠けて砕けにくく、高グルテニン画分単独のクッキーは、硬いがショートネスがあり、砕けやすかった。両者より構成されるクッキーは、その中間的性質を示した。これらの結果より、グリアジンとグルテニンの比率を変化させることにより、クッキーの物性改変は可能であることが判明した。
2. 若年健常者による官能検査では、高グリアジン画分単独のクッキーは硬くて粘着性が低く、高グルテニン画分単独のクッキーは脆くて粘着性が高いと評価された。高グリアジン画分と高グルテニン画分の比率が1:2のクッキーは、1:1のものよりも砕けやすく、唾液と混ざると滑らかであり、食塊形成も容易であることから、高齢者食や介護食としてより適していると評価されたことが推察された。
 3. 高グリアジン画分単独のクッキーは、吸水性が低いために、モデル食塊は硬く、付着性と凝集性が低かった。高グルテニン画分単独のクッキーは、吸水性が高いために、モデル食塊は付着性と凝集性が高かった。両者より構成されるクッキーのモデル食塊は、その中間的性質を示した。
 4. 以上の結果より、高齢者食や介護食に適した物性を有するクッキーを調製するためには、グリアジンとグルテニンの構成比率が等しい小麦粉よりも、グルテニンの占める比率が高い小麦粉を使用した方が、より適していると推察された。
 5. クッキーの物性改変要因としては、グリアジンとグルテニンの吸水性の差異が、でんぷんの糊化状態に影響を与えたことが示唆された。

謝 辞

本研究の一部は、平成16年度厚生労働省科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業、「安全でおいしい新嚥下補助食を利用した家庭や介護施設における食事介助のあり方に関する研究」、研究代表者：山田好秋）の助成を受けて遂行されたものであることを付記し、ここに謝意を表します。また、実験材料のたんぱく質をご恵与下さいましたグリコ栄養食品株式会社に、厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 高橋肇, 宮岡洋三, 新井映子, 他: 嚥下困難者用「粥」の評価, 日摂食嚥下リハ学会誌, 3: 6-46, 1999.

- 2) 山田晴子: 高齢者に使いやすい介護食と介護食器具, 日調科誌, 34: 432-436, 2001.
- 3) 林豊彦・金子裕史・中村康雄, 他: お粥の性状と嚥下動態の関係—喉頭運動・筋電図・嚥下音の同時計測による評価—, 日摂食嚥下リハ学会誌, 6: 73-81, 2002.
- 4) 南利子・白石浩荘・米谷俊, 他: 咀嚼・嚥下が容易な食品に関する研究—高齢者調査における検討—, 日摂食嚥下リハ学会誌, 9: 221-227, 2005.
- 5) 小城明子・石川朋宏・植松宏: 咀嚼・嚥下力低下者に適した食パンの検討—施設高齢者による主観的評価—, 日摂食嚥下リハ学会誌, 9: 83-85, 2005.
- 6) 田中康夫・松本博: 製パンの科学 II 製パン材料の科学, 光琳, 東京, 1992, 2.
- 7) 倉賀野妙子・木村宏樹・和田淑子: クッキーの物性に対するグリアジンとグルテニンの役割, 家政誌, 42: 45-52, 1991.
- 8) 長尾精一: 小麦の科学, 朝倉書店, 東京, 2003, 63.
- 9) 赤羽ひろ・和田淑子: クッキーの性状に及ぼす小麦粉中のグルテン含量の影響, 日食工誌, 34: 474-480, 1987.
- 10) 倉賀野妙子・和田淑子: 固体脂指数, 脂肪酸組成の異なる油脂を用いたクッキーの物性, 家政誌, 41: 1031-1037, 1990.
- 11) 和田淑子・倉賀野妙子・長谷川美幸: クッキーのショートネスと硬さにおよぼす材料配合比の影響—官能検査と機器測定との関係—, 家政誌, 34: 609-615, 1983.
- 12) 倉賀野妙子・和田淑子: 機能的糖質甘味料の低水分系焼き菓子における膨化と食感発現への関与, 日調科誌, 35: 258-265, 2002.
- 13) Wada, Y., Kuragano, T. and Kimura, H: Effect of starch characteristics on the physical properties of cookies, J. Home Econ. Jpn. 42: 711-717, 1991.
- 14) 和田淑子・クッキーのショートネスと硬さにおよぼす材料配合比の影響, 家政誌, 33: 313-320, 1982.
- 15) 渡部茂・平井敏博・広瀬哲也・五十嵐清治: 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水分量に及ぼす影響, 日咀嚼誌, 3: 37-42, 1993.
- 16) 川添節江・石間紀男・吉川誠次: クッキーの材料配合比と食味の関係について, 家政誌, 22: 41-47, 1971.