技術論文

表面筋電図法による水産練り製品のテクスチャー評価

野口由里香^{1*}, 埴 総司², 杉山公教¹, 佐々木啓一²

¹ 日本水産株式会社 中央研究所

² 東北大学大学院歯学研究科 口腔システム補綴学分野

Texture Evaluation of Surimi Products by Electromyography

Yurika Noguchi^{1*}, Soshi Hanawa², Kiminori Sugiyama¹ and Keiichi Sasaki²

¹ Central Research Laboratory, Nippon Suisan Kaisha, Ltd., 1-32-3 Nanakuni, Hachioji, Tokyo 192-0991

² Division of Advanced Prosthetic Dentistry, Tohoku University Graduate School of Dentistry,
4-1 Seiryomachi, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8575

The quality of surimi products such as kamaboko can be evaluated according to the following four textural characteristics: elasticity, hardness, pliability, and "hagire". In this study, electromyography (EMG) examination of masticatory muscles was conducted to determine whether EMGs can be used to evaluate these textures objectively. Twelve model gels made from surimi, corresponding to four textural characteristics with three different strengths, were prepared as samples. From the EMG analyses, characteristic parameters were determined for the masseter muscle (Mass) and the suprahyoid muscles on the first cycle (the 1st) and the third to seventh cycles (the 3rd-7th). The following results were obtained.

- (1) Elasticity was correlated with integrated EMG (iEMG) and pre-peak iEMG on Mass in the 1st and the 3rd-7th.
- (2) Hardness was correlated with peak value and root mean square value (RMS) on Mass in the 1st and the 3rd-7th.
- (3) Pliability was correlated with post-peak duration on Mass in the 3rd-7th. That is, pliability plays the most important role in the lasting, unique texture of surimi products.
- (4) "Hagire" from the viewpoint of chewiness was correlated with iEMG and pre-peak iEMG on Mass in the 3rd-7th.
- (5) We propose that the EMG method is applicable to evaluate the texture of surimi products at the early stage of mastication, and the four important textural characteristics can be evaluated using specific EMG parameters.

(Received Aug. 17, 2015; Accepted Dec. 16, 2015)

Keywords : gel-like food, elasticity, hardness, pliability, chewiness

キーワード : ゲル食品, 弾力, 硬さ, しなやかさ, 歯切れ

水産練り製品の品質は, “あし” と呼ばれるテクスチャーの性質で決まると言われている¹⁾。この“あし”は, 弾力, 硬さ, しなやかさ, 歯切れの良さ等で構成され, 互いに複雑に関係している²⁾。

これまでに, これらのテクスチャーを客観的に評価する試みが多くなされてきたが, 十分な評価方法は確立されていない。たとえば, かまぼこを対象とした機器による力学測定では, プランジャー押込み試験による破断時の荷重値(ジェリー強度)が弾力の指標として用いられる³⁾⁴⁾。しかし, この手法は一点測定であり, 咀嚼中に変化する物性を経時的に捉えることができない。また, 引張り試験における, 破断荷重と破断伸長比の積を弾力⁵⁾、これらの比を硬さ, 破断点までの荷重と伸長比で描かれる曲線の湾曲度合を歯切れ⁵⁾⁶⁾の指標として用いることも多い。しかし, これらの指標と官能値との相関を13種類のかまぼこを用いて調べ

た研究では, 官能の硬さに関しては相関が認められなかったことが報告されている⁷⁾。得られた指標と官能値が一致しなかった要因として, 引張り試験は, 直径8mm, 高さ30mmの円柱状の試料を一定速度(10mm/min)で引き伸ばして破断させる方法であり, 実際の咀嚼動作は異なることなどが考えられる。

このように, 経時的変化の評価が難しい, あるいは力学測定と官能値が必ずしも一致しないという問題は, 水産練り製品に限ったことではない。多くの食品において官能値と整合性のとれた新たな評価手法が必要とされ, ヒトを用いた測定方法が模索されてきた^{8)~13)}。Kohyamaら¹⁴⁾は, 咀嚼用多点シートを開発し, ヒトの臼歯部に直接取り付け食品の咀嚼圧を測定する方法で水産練り製品の物性評価を試みた。しかし, 官能的に得られるテクスチャーの特徴を的確に捉えられるものではなかった。

¹ 〒192-0091 東京都八王子市七国 1-32-3, ² 〒980-8575 宮城県仙台市青葉区星陵町 4-1

*連絡先 (Corresponding author), yurika_noguchi@nissui.co.jp

表 1 各テクスチャーモデルゲルの基本組成

モデルゲル	強度順位 ¹⁾	原料名 (配合率)	一次加熱 (30℃)	物性値 ²⁾
弾力	1	道産助宗陸上 2 級 (40%), タイ産エソすり身 (15%), タピオカ澱粉 (3%), 馬鈴薯澱粉 (3%), 食塩 (1%), 添加水 (38%)	—	1.1×10^{-3} kg·m
	2	北米産助宗陸上 A 級 (40%), 道産助宗陸上 2 級 (15%), タピオカ澱粉 (3%), 馬鈴薯澱粉 (3%), TGase ²⁾ (0.05%), 食塩 (1%), 添加水 (38%)	20 分	2.7×10^{-3} kg·m
	3	北米産助宗陸上 A 級 (55%), タピオカ澱粉 (3%), 馬鈴薯澱粉 (3%), TGase (0.1%), 食塩 (1%), 添加水 (38%)	40 分	5.2×10^{-3} kg·m
硬さ	1	北米産助宗陸上 A 級 (45%), タイ産エソすり身 (10%), コーンスターチ (6%), 食塩 (1%), 添加水 (38%)	—	1.2×10^{-1} kg
	2	北米産助宗陸上 A 級 (36%), 道産助宗陸上 2 級 (10%), タイ産エソすり身 (6%), 馬鈴薯澱粉 (8%), 食塩 (1%), 添加水 (39%)	—	2.7×10^{-1} kg
	3	北米産助宗陸上 A 級 (48%), 馬鈴薯澱粉 (12%), 食塩 (1%), 添加水 (39%)	—	4.4×10^{-1} kg
しなやかさ	1	北米産助宗陸上 A 級 (30%), 道産助宗陸上 2 級 (20%), タイ産エソすり身 (5%), 馬鈴薯澱粉 (6%), 還元性酵素 (0.25%), 食塩 (1%), 添加水 (38%)	—	0.9×10^{-2} m
	2	北米産助宗陸上 A 級 (28%), 道産助宗陸上 2 級 (28%), タピオカ澱粉 (3%), 馬鈴薯澱粉 (3%), L-アルギニン (0.03%), 還元性酵素 (0.25%), TGase (0.05%), 食塩 (1%), 添加水 (37%)	10 分	1.1×10^{-2} m
	3	北米産助宗陸上 A 級 (7%), 道産助宗陸上 2 級 (48%), タピオカ澱粉 (6%), L-アルギニン (0.1%), 還元性酵素 (0.25%), TGase (0.1%), 食塩 (1%), 添加水 (38%)	40 分	1.5×10^{-2} m
歯切れの良さ	1	道産助宗陸上 2 級 (67%), タピオカ澱粉 (1%), D-キシロース (0.2%), 食塩 (1%), 添加水 (31%)	—	—
	2	道産助宗陸上 2 級 (64%), タイ産エソすり身 (3%), 菜種油 (2%), タピオカ澱粉 (1%), D-キシロース (0.2%) 食塩 (1%), 添加水 (29%)	※ 1	—
	3	道産助宗陸上 2 級 (63%), タイ産エソすり身 (5%), 菜種油 (2%), 食塩 (1%), 添加水 (29%)	※ 2	—

1) 強度が弱い側から順に 1, 2, 3 とした。

2) トランスグルタミナーゼ製剤 (味の素(株) 製)

※1 90℃で 40 分間加熱後, 5 時間 0.5% 酢酸および 0.1% TGase 水溶液に浸漬した後, 2% 重炭酸ナトリウム水溶液にて中和処理を行った。

※2 90℃で 40 分間加熱後, 2.5 時間 0.5% 酢酸および 0.1% TGase 水溶液に浸漬した後, 2% 重炭酸ナトリウム水溶液にて中和処理を行った。

近年では, 食品の物性変化に伴う咀嚼動作の変化を捉えて, 間接的に物性を評価する方法として筋電位測定の有効性に注目が集まり, チーズの口どけの良さ¹⁵⁾ や餅の食べ易さ^{16)~18)} 等, 様々な食品のおいしさや安全性の決め手となるテクスチャーの評価に応用されている¹⁹⁾²⁰⁾。

本研究では, 水産練り製品の“あし”を構成する 4 つのテクスチャー: 弾力, 硬さ, しなやかさ, 歯切れの良さを客観的に評価する手法として筋電位測定を検討した。

実 験 方 法

1. 試 料

試料は, 水産練り製品をモデルとする加熱ゲルとし, 魚肉冷凍すり身, 食塩, 澱粉および水で作製した。水産練り製品の“あし”を構成する各テクスチャー (弾力, 硬さ, しなやかさ, 歯切れの良さ) の強度に対して, 可能な限り等間隔に 3 段階の順序性 (以下, テクスチャー特性) を持つ

ように配合を調整した (表 1)。本研究では, 各テクスチャー特性を持つ 3 種類のゲルを総称してテクスチャーモデルゲルと定義した。官能評価 ($n=3$) および水産庁の指定した水産練り製品の機器測定方法²¹⁾ による予備試験を行い, 各試料の強度を調整した。視覚および味覚の影響を防ぐために, 色調は淡黄色とし, 味は砂糖およびグルタミン酸ナトリウムの含有量の調整によって統一した。試料には, フードプロセッサーで 10℃に達するまで混練した練肉を, 折径 31 mm の塩化ビニリデンチューブに充填し, 90℃で 40 分間加熱したものを直径 20 mm, 高さ 10 mm に加工して用いた。これらの試料を中心温度 (23 ± 2)℃に調整し, 官能評価および筋電位測定に使用した。

2. 官能評価による強度数値の決定

各試料の強度順位 1, 2, 3 を定量化するために, 採点法にて官能評価を行った。なお, 定量化した数値を, “強度数値”と定義した。

図 1 パネルに呈示した質問票

表 2 官能評価項目の定義

弾力	: 硬さとしなやかさを併せもつこと
硬さ	: 破断するまでに要した力
しなやかさ	: 破断するまでに凹んだ距離
歯切れの良さ	: 噛み切り易さ

被験者は、日本水産株式会社に所属する、味覚分析²²⁾と食感分析パネルテストの合格者 8 名 (20 代後半から 40 代前半の男女 4 名ずつ) とした。これらの被験者には、本研究の意義と内容について事前に十分な説明を行い、理解および同意を得た。

咀嚼方法は、試料一切れを指でつまんで口へ運び、両側中切歯で試料の上面と垂直に歯を貫入させて半分に咬断し、その半切れを習慣性咀嚼側の臼歯部で日常の咀嚼リズムで咀嚼させた。咀嚼時において左右側のうち主に用いられている側が存在することが認められており、習慣性咀嚼側と呼ばれている²³⁾。一方の半切れは指でつまんで口腔外に除去するように指示した。各試料の特性については言及せず、ランダムに試料を呈示した。

官能評価項目は全 6 項目とし、弾力、硬さ、しなやかさ、歯切れの良さ、ほそぼそした感じおよびもちもちと歯につく感じについて、中切歯による咬断と臼歯による磨砕においてそれぞれ別に 7 段階で評価するように指示した (図 1)。このうち、弾力、硬さ、しなやかさおよび歯切れの良さについては、表 2 に示す補足説明を行った。

被験者の評価精度を一定に保つために、1 日で実施する評価は、1 テクスチャーモデルゲルに限定し、計 4 日間かけて評価を実施した。

強度数値は、特性の対象となるテクスチャーを表す官能評価項目において、パネル 8 名から得られた評価点の平均値とした。たとえば、硬さ特性を有する強度順位 1 の試料において、官能評価 6 項目のうち“硬さ”の項目の評価点の平均値が -1.7 であった場合、-1.7 を当該試料の強度数値とした。得られた各強度数値を筋電図の分析に使用した。

なお、各試料の全ての官能評価項目について平均値を算出し、各試料の適性を以下の方法で確認した。図 2 にテクスチャー (a) に関する特性を有する 3 種類の試料の強度順位と官能評価平均値の相関関係の例を示した。強度順位 1, 2, 3 において、官能評価項目 a のパネル 8 名から得られた評価点の平均値を座標上にプロットし、回帰直線を引い

図 2 テクスチャー (a) モデルゲルの強度順位と官能評価平均値の相関関係の例

●, 官能評価項目 a; ▲, 官能評価項目 b; ■, 官能評価項目 c; R^2 , 決定係数; θ , 傾き。

表 3 筋電位測定における被験者条件

モデルゲル	被験者数		平均年齢
	男	女	
弾力	3	2	29±2
硬さ	3	2	28±2
しなやかさ	1	4	29±2
歯切れの良さ	1	4	29±2

た。ここから決定係数 $R_a^2=0.98$ および傾き $\theta_a=2.0$ を算出した。同様に、官能評価項目 b; $R_b^2=0.99$, $\theta_b=1.3$, 官能評価項目 c; $R_c^2=0.57$, $\theta_c=2.0$ を算出した。このうち、 $R^2 \geq 0.90$ となる官能評価項目は a と b であり、これに対応する傾きが $\theta_a > \theta_b$ である場合、テクスチャー (a) のモデルゲルとして適しているとした。図 2 の例と同様の方法で、全ての試料について正当性を評価した。

3. 咀嚼筋筋電図の記録

被験者には、顎口腔機能異常が認められない健常有歯顎者を用いた (表 3)。これらの被験者には、本研究の意義と内容について事前に十分な説明を行い、理解および同意を得た。

被験筋には、両側の咬筋浅部 (以下、咬筋) および舌骨上筋群を用いた (図 3)。咬筋および舌骨上筋群の活動電位は、咬みしめあるいは開口時に、その筋腹が最も触知される部位の皮膚上から導出した²⁴⁾²⁵⁾。活動電位の記録は、塩化銀皿電極 (CareFusion 製) (直径: 10 mm) を用いた。電極間距離は 20 mm とした。不関電極は後頸部に設定した。電極はサージカルテープを用いて皮膚上に固定した。

導出された筋活動電位は、生体信号アンプ (NEC-Sanei

製 BIOTOP 6R12) で増幅後、サンプリング周波数 2kHz で PowerLab 16/35 (ADInstruments 製) によって A/D 変換し、パーソナルコンピュータに保存した。生体アンプの高域遮断周波数、時定数、低域遮断周波数はそれぞれ、1.5 kHz, 0.0075 秒, 20 Hz とした。

測定は、シールドルーム内で被験者の頭位および上体を垂直位に保ち行った。実験者が試料を被験者の口まで運び、中切歯で咬断させたのちに習慣性咀嚼側において嚥下

まで日常の咀嚼リズムで咀嚼するように指示した。試料の咀嚼順序はランダムとした。筋活動電位の記録は咀嚼開始から最終嚥下までとした。

被験者の評価精度を一定に保つため、1 日で実施する評価は、1 テクスチャーモデルゲルに限定し、計 4 日間かけて評価を実施した。同被験者が各試料につき 3 回施行した。

4. 筋電図の分析

得られた筋電図は、整流化し、分析ソフト (LabChart6 ADINSTRUMENTS) を用いて、咀嚼運動に食品物性が強く影響する咀嚼初期²⁶⁾ の第 1 ストロークおよび第 3 から第 7 までの 5 ストロークの平均値 (以下、第 3-7 ストローク) を分析対象とした。咬筋および舌骨上筋群における最大振幅値 (以下、ピーク値)、持続時間、筋活動量 (以下、積分値) および単位時間 (101 msec) あたりの筋活動量の平均値 (以下、実効値) を数値化した (図 4)。さらに、咬筋における持続時間および積分値についてはピーク前およびピーク後に分け数値化した。官能評価方法に対応させ、第 1 ストロークを中切歯による咬断時の数値とし、第 3 から第 7 までの 5 ストロークの平均値を臼歯による磨砕時の数値とした。各テクスチャーモデルゲルにおける 3 種類の試

図 3 筋電位計測用の表面電極の位置

図 4 魚肉ソーセージ咀嚼中の咀嚼筋電図の例

表4 官能評価による強度数値

モデルゲル	評価対象	強度順位1	強度順位2	強度順位3	R ²
弾力	咬断時	-1.6	1.1	2.1	0.93
	磨砕時	-1.9	0.5	1.9	0.98
硬さ	咬断時	-1.7	0.7	2.0	0.96
	磨砕時	-1.6	0.7	1.7	0.95
しなやかさ	咬断時	-0.3	0.8	1.9	1.00
	磨砕時	-0.1	0.9	1.6	0.99
歯切れの良さ	咬断時	0.0	0.5	1.8	0.94
	磨砕時	-0.6	0.5	1.9	1.00

表5 各テクスチャーモデルゲルにおける官能評価項目毎の傾き θ ¹⁾

モデルゲル	評価対象	官能評価項目			
		弾力	硬さ	しなやかさ	歯切れの良さ
弾力	咬断時	1.9 [†]	1.8	—	-0.4
	磨砕時	1.9 [†]	1.9 [†]	1.4	—
硬さ	咬断時	1.4	1.5 [†]	1.0	-1.0
	磨砕時	—	1.6 [†]	1.3	-0.7
しなやかさ	咬断時	1.0	—	1.1 [†]	—
	磨砕時	0.8	0.6	0.9 [†]	—
歯切れの良さ	咬断時	—	—	—	0.9 [†]
	磨砕時	—	—	—	1.3 [†]

1) 決定係数 $R^2 \geq 0.90$ の時の傾き θ のみ示した。[†] 傾き θ が最大となるもの

料の強度数値と得られた各筋電位数値の相関係数 $|r|$ をスピアマンの順位相関にて算出し、無相関検定にてその有意性を検証 ($p < 0.05$) した。更に、有意な相関が得られたパラメータのうち、各テクスチャーを個々に評価するために、各テクスチャーの特徴を最も良く示すパラメータ（以下、固有パラメータ）を決定した。

実験結果および考察

1. 試料の有効性の確認

表4より、各テクスチャーモデルにおける3種類の試料の強度順位と強度数値間には、強いあるいは完全な正の相関が認められた。また、表5より標的とするテクスチャーの官能評価平均値；強度数値に対する回帰直線の傾き θ は、他の官能評価5項目の直線より得られる傾きよりも大きくなることが認められ、本試験の試料として有効であることを確認した。

2. 各テクスチャーが咀嚼筋活動に与える影響

表6に各テクスチャー特性に統計学的に有意な相関 ($p < 0.05$) が認められた筋電位パラメータを示す。テクスチャーによって、咬筋における筋電位パラメータおよび中心となるストロークが異なることが認められた。このことから、咬筋の筋電位測定による水産練り製品テクスチャーの評価は、可能であることが示唆された。一方、舌骨上筋群の測定結果からは、相関する筋電位パラメータは得られ

なかった。閉口時は、食品から受ける抵抗力が強い刺激として歯根膜や筋紡錘に加わるため、感度良くテクスチャー変化を捉えることが可能である。一方、開口時には食品構造の崩壊により、食品から受ける力は小さく、且つ、舌骨上筋群にはほとんど筋紡錘が存在しない²⁷⁾²⁸⁾ため、テクスチャー変化を強く捉えることができなかったと考えられた。

(1) 弾力

弾力特性は、第1ストロークにおいて咬筋持続時間および咬筋積分値、特にピーク前において統計学的に有意な正の相関が認められた。また、第3-7ストロークにおいて咬筋ピーク値および第1ストロークと共通して咬筋積分値、特にピーク前において統計学的に有意な正の相関が認められた。

(2) 硬さ

硬さ特性は、第1および第3-7ストロークに共通して、咬筋ピーク値、咬筋積分値および咬筋実効値において統計学的に有意な正の相関が認められた。

(3) しなやかさ

しなやかさ特性は、第1ストロークにおいて統計学的に有意な相関を示すパラメータは認められなかった。一方、第3-7ストロークでは咬筋ピーク後持続時間において統計学的に有意な正の相関が認められた。

(4) 歯切れの良さ

歯切れ特性は、第1ストロークにおいて統計学的に有意

表 6 筋電位測定結果と強度数値との相関

モデルゲル	第 1 ストローク			第 3-7 ストローク		
	筋電位パラメータ	(相関係数 r)		筋電位パラメータ	(相関係数 r)	
弾力	咬筋 持続時間 FH	(0.33)		咬筋 ピーク値	(0.35)	
	咬筋 積分値 [†]	(0.41)		咬筋 積分値 [†]	(0.35)	
	咬筋 積分値 FH [†]	(0.41)		咬筋 積分値 FH [†]	(0.38)	
硬さ	咬筋 ピーク値 [†]	(0.37)		咬筋 ピーク値 [†]	(0.39)	
	咬筋 積分値	(0.39)		咬筋 積分値	(0.47)	
	咬筋 積分値 FH	(0.37)		咬筋 積分値 FH	(0.43)	
	咬筋 積分値 LH	(0.36)		咬筋 積分値 LH	(0.37)	
	咬筋 実効値 [†]	(0.33)		咬筋 実効値 [†]	(0.43)	
しなやかさ 歯切れの良さ				咬筋 持続時間 LH [†]	(0.36)	
				咬筋 積分値 FH [†]	(-0.31)	
				咬筋 実効値	(-0.31)	

FH：ピーク前，LH：ピーク後

[†] 固有パラメータ

な相関を示すパラメータは認められなかった。一方、第 3-7 ストロークでは咬筋ピーク前の積分値および咬筋実効値において統計学的に有意な負の相関が認められた。

3. 固有パラメータの抽出

各テクスチャー特性に有意な相関が認められた筋電位パラメータのうち、いくつか異なるテクスチャー間で重複しているものが認められた。そこで、固有パラメータを抽出した。

(1) 弾力

弾力は、第 1 ストロークにおいて、咬筋ピーク前の持続時間、咬筋積分値、咬筋ピーク前の積分値で有意な正の相関を示した。また、第 3-7 ストロークでも咬筋ピーク値、咬筋積分値および咬筋ピーク前の積分値において有意な正の相関を示した。かまぼこの弾力の官能評価における定義は“前歯でかみ切るときの反発力”⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾であるが、本試験結果より、臼歯による磨砕時にも顕著に感知されうると考えられた。また、機器測定における弾力の指標は“ジュリー強度（破断荷重と破断距離の積）”^{(3)~(7)(31)}とされ、食品の硬さが関連している。蕭ら⁽¹²⁾は、たくあん、タコ、かまぼこ、はんぺんおよび豆腐の咀嚼から嚥下までの筋電位測定を行い、食品の硬度の増加に伴って、“咬筋積分値”が顕著に増大すると報告している。すなわち、弾力や硬さは臼歯による磨砕時にも影響すると思われた。蕭らの報告は、硬さのパラメータとして“咬筋積分値”を挙げているが、弾力と硬さを別々に評価したものではない。本試験結果より、第 1、第 3-7 ストロークの“咬筋積分値”および“咬筋ピーク前の積分値”は弾力の固有パラメータとすることが妥当であると考えられた。

(2) 硬さ

硬さは第 1 ストロークにおいて、咬筋ピーク値、咬筋積分値、咬筋ピーク前の積分値、咬筋実効値で有意な正の相関を示した。また、第 3-7 ストロークでも、咬筋ピーク値、

咬筋積分値、咬筋ピーク前の積分値、咬筋ピーク後の積分値および咬筋実効値において有意な正の相関を示した。かまぼこの硬さの官能評価における定義は“前歯で噛み切るまでに要した力”⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾とされているが、弾力と同様に、臼歯での磨砕時にも顕著に感知されうると考えられた。蕭らの報告より、第 1、第 3-7 ストロークの“咬筋積分値”は硬さのパラメータとなり得る。しかし、先に示したように咬筋積分値は、弾力をよく表すパラメータである。また、機器測定による硬さの指標は、プランジャー押込み試験の“破断強度”⁽³²⁾、圧縮試験の“破断応力/圧縮比”⁽⁷⁾とされており、硬さは時間要素に関係しない力要素であることが考えられる。すなわち、第 1、第 3-7 ストロークの“咬筋ピーク値”および“咬筋実効値”を硬さの固有パラメータとすることが妥当であると考えられた。

(3) しなやかさ

しなやかさは第 3-7 ストロークにおいて、咬筋ピーク後の持続時間で有意な正の相関を示したことから、咬筋ピーク後の持続時間はしなやかさの固有パラメータとなると考えられた。一般に、しなやかさはプランジャー押込み試験において“破断距離”と相関する⁽³²⁾と考えられている。また、加藤⁽³³⁾は、楔型プランジャーの進入距離を一定間隔で連続的に変化させた破断試験を行い、“進入距離”としなやかさが高い相関を示すと報告している。このことから、しなやかさと咬筋ピーク前の持続時間との間に相関関係があると予測された。しかし、これらに相関関係は認められず、しなやかさは破断後の物性に影響を受けるという新しい知見が得られた。しなやかさは、硬さのパラメータとは相反して力要素に関係しない時間要素である。水産練り製品の食感、力要素を含まない時間の長さに由来することが示唆された。

(4) 歯切れの良さ

歯切れの良さは第3-7ストロークにおいて、咬筋ピーク前の積分値および咬筋実効値で有意な負の相関を示した。かまぼこの歯切れの良さの官能評価における定義は“奥歯で噛み砕いた時の砕け方”²⁹⁾³⁰⁾とされている。これは、臼歯による磨砕と強い相関がある点で一致していたが、硬さを示す筋電位パラメータと相反していた。渡辺³⁴⁾は、かまぼこを対象とした官能評価において、硬さと歯切れの良さは有意な正の相関があると報告しており、今回の結果と一致しなかった。一般に、水産練り製品を対象とした歯切れ評価は、歯の貫入前後に変化が見られるものを歯切れが良いとし、変化が見られないものを歯切れが悪いとしている³⁵⁾³⁶⁾。今回用いた歯切れ特性を有する試料のうち、強度が最も弱い試料は、噛み切りにくい物性として設計したため、かまぼこの歯切れとは一致しなかったと考えられる。噛み切り易さという視点での歯切れの良さは、一般的には、引張り強度で評価されるテクスチャーであり³⁷⁾、官能における一噛み目(齧り取り)の評価に相当すると考えられた。一方、本試験では、歯切れの良さを評価する固有パラメータは第3-7ストロークにおける“咬筋ピーク前の積分値”とすることが妥当であった。すなわち、機器による引張試験と筋電位測定を併用することにより咀嚼全体の歯切れの良さと捉えることが可能であると考えられた。水産練り製品が有する歯切れの良さの評価は今後の検討課題である。

以上のことから、表面筋電図法による咬筋の筋電位測定は、咀嚼初期における水産練り製品の“あし”を構成するテクスチャーの評価方法として有効であると思われる。このうち、しなやかさは、臼歯の磨砕時における咬筋ピーク後の持続時間の延長に影響を及ぼすという、新しい知見が得られた。このように、筋電位測定はテクスチャーの数値化だけではなく、閉口時か開口時か、中切歯による咬断時か臼歯による磨砕時か、歯の貫入前か後か等、いずれの歯を中心として、どのような咀嚼動作の際に感じるテクスチャーであるのかを明確化するのに有効である。テクスチャーを感じるメカニズムが明確になることにより、官能評価におけるテクスチャー解釈の統一、あるいは新規機器測定方法の立ち上げに役立つと考えられる。一方で、筋電位測定は他の手法と比較して、測定に時間を要することが課題として挙げられる。筋電位測定、精度を向上させた官能評価および機器測定の3手法を有効に活用することにより、より円滑かつ的確なテクスチャーの設計が可能となるだろう。

本研究では、嚥下を含まない咀嚼初期に限って検討を行った。しかし、水産練り製品は、咀嚼能力の低下を認める高齢者が食するには、比較的困難な食品の一つである³⁸⁾。超高齢社会の我が国において、咀嚼後半で感じる喉ごしの良さや飲み込み易さに重点をおいた食品は、ますます注目を集めるであろう。今後は、嚥下動作が生じる咀嚼後半を

含めた客観的評価手法が確立され、あらゆる世代が安心しておいしく食することが可能な、水産練り製品の開発が望まれる。

要 約

水産練り製品の品質を決める“あし”を構成する4つのテクスチャー：弾力、硬さ、しなやかさ、歯切れの良さの特性をもつモデルゲルについて筋電位測定を行い、以下の結果を得た。

(1) 弾力は、中切歯による咬断時と臼歯による磨砕時に強く感じられるテクスチャーであり、咬筋における“積分値”および歯が貫入する初期感覚である“ピーク前の積分値”を数値化することにより評価できた。

(2) 硬さは、中切歯による咬断時と臼歯による磨砕時に強く感じられるテクスチャーであり、咬筋における“ピーク値”および“実効値”を数値化することにより評価できた。

(3) しなやかさは、臼歯による磨砕時に強く感じられるテクスチャーであり、咬筋における“ピーク後の持続時間”を数値化することにより評価でき、しなやかさ定義の新しい見解が得られ、持続的な練り製品特有の食感に大きく寄与していることが示唆された。

(4) 歯切れの良さは、噛み切り易さという視点では、臼歯による磨砕時に強く感じられるテクスチャーであり、咬筋における歯が貫入する初期感覚である“ピーク前の積分値”を数値化することにより評価できた。しかし、水産練り製品の歯切れの良さという視点では、今後検討が必要であった。

(5) 表面筋電法は、水産練り製品の品質を客観的に評価する手法として有効であると結論した。

文 献

- 1) 山澤正勝, 関 伸夫, 福田 裕編, 「かまぼこ—その科学と技術」, (恒星社厚生閣, 東京), pp. 329-330 (2003).
- 2) 岡田 稔, 「新訂かまぼこの科学」, (成山堂書店, 東京) p. 56 (2008).
- 3) 清水 亘, 竹林 靖, 蒲鉾の足に就いて, 水産製造会誌, **3**, 63-80 (1935).
- 4) 岡田 稔, 水産練り製品の品質, 特に弾力に関する研究, 東海区水産研究所研究報告, **36**, 21-126 (1963).
- 5) 志水 寛, 清水 亘, かまぼこの足について—一足の評価, 日本水産学会誌, **26**, 911-916 (1960).
- 6) 志水 寛, 西岡不二男, かまぼこの足の地方色, 近畿大学食品科学研究所報告, **2**, 23-27 (1964).
- 7) 神山かおる, 西成勝好, 志水 寛, かまぼこテクスチャーと力学的測定, 日本食品工業学会誌, **37**, 612-618 (1990).
- 8) 堀尾 強, 川村洋二郎, 咀嚼運動に及ぼす食品テクスチャーの影響, 歯科基礎医学会雑誌, **30**, 481-488 (1988).
- 9) Horio, T. and Kawamura, Y., Effect of texture of food on chewing patterns in the human subject. *J. Oral Rehabil.*, **16**, 177-183 (1989).
- 10) 柳沢幸江, 田村厚子, 寺元芳子, 咀嚼筋活動量とテクチュロメーター特性値の相関性, 家政学雑誌, **40**, 1011-1016 (1989).

- 11) 柳沢幸江, 食物の物性と咀嚼活動量—筋電図の手法を用いて—, *New Food Industry*, **33**, 67-81 (1991).
- 12) 蕭 美英, 徳永 徹, 食品テクスチャーの違いが咀嚼筋活動パターンに与える影響, 日本補綴歯科学会誌, **37**, 1329-1343 (1993).
- 13) Shiozawa, K., Kohyama, K. and Yanagisawa, K., Influence of ingested food texture on jaw muscle and tongue activity during mastication in humans, 歯科基礎医学会雑誌, **41**, 27-34 (1999).
- 14) Kohyama, K., Sakai, T., Azemi, T., Mizuguchi, T. and Kimura, I., Pressure distribution measurement in biting surimi gels with molars using a multiple-point sheet sensor. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **65**, 2597-2603 (2001).
- 15) 金野美紀, 筋電図によるプロセスチーズの咀嚼特性の解析, 高分子学会第 60 回高分子討論会予稿集, pp. 4068-4069, 岡山 (2011).
- 16) 神山かおる, 澤田寛子, 野仲美保, 中越巳佐男, テクスチャー機器分析およびヒトの摂食測定による咀嚼・嚥下困難者用餅の食べやすさ評価, 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会誌, **10**, 115-124 (2006).
- 17) 梯 悦宏, 木田隆生, 早川文代, 佐々木朋子, 神山かおる, カードランを使用した餅様食品のテクスチャー評価, 高分子学会第 60 回高分子討論会予稿集, pp. 4602-4603, 岡山 (2011).
- 18) 品川喜代美, 金 娟廷, 河村彩乃, 岩崎裕子, 高戸良之, 大越ひろ, 高齢者向け餅の食べやすさについて, 日本調理科学会誌, **47**, 126-133 (2014).
- 19) 小泉 敦, 西村 豊, 神山かおる, 筋電図によるおやつ・おつまみの咀嚼特性評価, 日本咀嚼学会誌, **18**, 60-68 (2008).
- 20) 宅見央子, 中村弘康, 福田真一, 水木雄亮, 住野広明, 白石浩荘, 米谷 俊, 森戸光彦, 塩澤光一, 口どけ感のあるビスケットの咀嚼中の物性特性, 日本咀嚼学会誌, **18**, 112-121 (2008).
- 21) 水産庁通達, 冷凍すり身の品質検査基準の設定について, **6**, 水漁第 1065 号, 平成 6 年 4 月 1 日
- 22) 古川秀子著, 「おいしさを測る—食品官能検査の実際—」, (幸書房, 東京), pp. 5-14 (1994).
- 23) 長谷川成男, ヒトの咀嚼運動, 東京医科歯科大歯学部口腔総合研究施設編, 「咀嚼の話」, (日歯評論, 東京), pp. 163-207 (1987).
- 24) ダエットデメトリオ, 食品の大きさと硬さが開口量ならびに咀嚼筋活動量に及ぼす影響, 日本補綴歯科学会雑誌, **40**, 489-500 (1996).
- 25) 佐々木啓一, 埜 総司, 筋電図測定法—筋電図記録の基本と実際—, 「顎口腔機能の評価」, (日本顎口腔機能学会), (2010).
- 26) 道脇幸博, 衣松令恵, 横山美加, 角 保徳, 高堀哲雄, 道健一, 食品の大きさとテクスチャーによる咀嚼運動の変化, 日本口腔科学会雑誌, **50**, 70-75 (2001).
- 27) Kubota, K. and Masegi, T., Muscle spindle distribution in the Masticatory Muscle of Japanese Shew-Mole. *J. Dent. Res.*, **51**, 1080-1091 (1972).
- 28) Kubota, K. and Masegi, T., Muscle spindle supply to the human jaw muscle. *J. Dent. Res.*, **56**, 901-909 (1977).
- 29) 福島 清, 飯島淑子, かまぼこの“あし”, 調理科学, **1**, 210-214 (1968).
- 30) 吉岡慶子, 国府田佳弘, かまぼこの“あし”の各種判定法の比較研究, 日本食品工業学会誌, **17**, 408-411 (1970).
- 31) 森岡克司, 志水 寛, かまぼこのテクスチャーと押し込み破断特性, 日本水産学会誌, **56**, 531-536 (1990).
- 32) 志水 寛, 清水 亘, かまぼこの足について一足の測定, 日本水産学会誌, **19**, 596-602 (1953).
- 33) 加藤 登, 破断特性, 「水産食品のテクスチャー」, 丹羽栄二編, (恒星社厚生閣, 東京), pp. 77-86 (1987).
- 34) 渡辺雄二, 雨池恭子, 富田 勉, 青木 宏, 機器測定による感覚評価の予測ゲル状食品のテクスチャー, 日本食品工業学会誌, **35**, 657-663 (1988).
- 35) 岩田和士, 水産練り製品の品質判定機器について, *New Food Industry*, **11**, 10-14 (1969).
- 36) 志水 寛, かまぼこの品質評定法 (2), 足の測定, かまぼこの技術, 食品資材研究会, pp. 103-108 (1966).
- 37) Kagawa, M., Matsumoto, M. and Hatae, K., Differences in texture among three varieties of squid and the effect of cold storage on the texture. *J. Home Econ.*, **51**, 699-798 (2000).
- 38) 安齋 隆, 平井敏博, 金田 洸, 又井直也, 長尾正憲, 全部床義歯装着者の咀嚼機能判定用食品について, 日本補綴歯科学会雑誌, **31**, 1413-1420 (1987).

(平成 27 年 8 月 17 日受付, 平成 27 年 12 月 16 日受理)