

<平成 29 年度助成>

簡便な嚥下機能評価系の構築と高機能性を有する 嚥下調整食の開発のための基盤研究

山本 登志子

(岡山県立大学 保健福祉学部 栄養学科)

1. 背景と目的

超高齢社会を迎えた我が国では、いかに「健康で長生き」できるかが命題である。加齢に伴って起こる様々な慢性疾患は、慢性炎症がその基盤となって発症する場合が多い。慢性炎症の誘導因子として、炎症性脂質メディエーターの PGE_2 が知られている。炎症時には、 $\omega 6$ 系脂肪酸のアラキドン酸より、誘導型シクロオキシゲナーゼ (COX) -2 とミクロソーム型 PGE 合成酵素 (mPGES) -1 の触媒によって過剰な PGE_2 が生合成される。そこで、私達は、慢性炎症予防のために、副作用の少ない機能性食品から、 PGE_2 産生を抑制する食品機能性の探索を行ってきた。その中で、自然薯の低温乾燥粉末抽出物が、COX-2 と mPGES-1 の発現を抑制し、炎症や癌のモデル細胞や動物において、抗炎症と抗腫瘍の効果を有することを明らかにした^{1,2)}。さらに、このような自然薯の高機能性を添加した新規嚥下調整食の開発を目指すこととした。

自然薯は、我が国原産のヤマノイモ科 (*Dioscoreaceae*) に属する多年生植物であるヤマノイモ (*Dioscorea japonica*) であり、その特有の粘性や風味は、古くより我が国で好まれてきた。また、栄養成分に富み、植物ステロールのような生理活性物質を含むことから、栄養面からも優れた食材といえる。そこで、私達は自然薯の特徴的な物性を解析するために、自然薯の均一な低温乾燥粉末を作製し、それより調製した溶液のテクスチャー測定 (粘性、かたさ、凝集性、付着性) と官能検査によって、とろみ剤あるいは嚥下調整食に適合する可能性を見出した³⁾。さらに、本研究では生体反応による嚥下指

標も必要と考え、簡便な嚥下機能評価系の構築を試みた。

これまで簡便な嚥下評価方法として、嚥下音や筋電図の利用が試みられており、嚥下音については、構成波形各群の持続時間や周波数成分に焦点を当てた検討がなされてきた。しかし、音の大きさは嚥下物により明らかに異なるため、音圧も重要な情報源であると予想される。そこで本研究では、嚥下しやすさと嚥下音や筋電図のパワー、発生時間との関係を明らかにすることとした。

2. 方法

2.1 実験試料

嚥下試料として、水、市販のポタージュ、とんかつソース、ヨーグルト、ケチャップ、プリン、ゼリー、とろみ剤と、調製したフリーズドライの自然薯粉末を用いた。とろみ剤はオレンジジュースで、自然薯粉末は味噌汁で溶解し、嚥下調整食の一般的なモデル食材であるヨーグルト (日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類 2013 嚥下調整食 3, 嚥下食ピラミッド L4) と同じかたさ (N/m^2) になるように調整した。

2.2 Texture Profile Analysis (TPA)

各嚥下試料は、厚生労働省が示した「えん下困難者用食品の許可基準」の規格に従い、クリープメータ (RE2-33005B, 山電) でテクスチャーを測定した。5 回の測定を行った平均値から、「かたさ (N/m^2)」、「凝集性」、「付着性 (J/m^3)」を求めた。なお測定対象として、日本介護食品協議会の定めるとろみの目

安において、指標の代表例とされているとんかつソース（とろみの強さ ++, かたさ目安 200 ~ 400 N/m²）、およびケチャップ（とろみの強さ +++, かたさ目安 400 ~ 700 N/m²）も加えて算出結果の妥当性を確認した。

2.3 被験者と嚥下手順

平均年齢 21.2 ± 2.2 歳の健康成人男性 11 名を被験者とした。被験者は、90 度座位姿勢で椅子に座り、試料 3 g 全てを一旦口に含み、その後、咀嚼なしに一度に嚥下した。各試料、5 試行して嚥下音と筋電図を採取した。

2.4 嚥下音測定

甲状軟骨部に皮膚から約 5mm の位置に、ラベリアマイクを固定して嚥下音を採取した（図 1- 左）。採取した嚥下音は、プリアンプで増幅後、オーディオインターフェースとデータ収集ソフトにて、48000 Hz, SD2 形式で記録した。嚥下音記録信号は wav ファイルに変換してから、解析区間の信号の 2 乗和を評価パラメータとして分析した。

2.5 筋電図測定

舌骨上筋群の最も表層にある右側顎二腹筋から筋腹長軸に沿って、3 cm 間隔で Ag/AgCl 皿電極を設置して、筋電図を導出した（図 1- 右）。信号は生体アンプにて増幅し、データ収集ソフトにて 1000 Hz, DAT 形式で記録した。筋電図解析において、筋電図信号は csv ファイルに変換してから分析し、解析期間は筋活動のない前後部分も含めた 2sec とし、各時刻における信号の 2 乗平均を筋活動量とした。

2.6 統計処理

一元配置分散分析と下位検定としてボンフェローニ法を用い、有意水準は 5% 以下とした。

2.7 倫理性の配慮

実験はヘルシンキ宣言に則り、被験者には事前に研究の主旨、意義および実験内容（方法、所要時間、安全性）を十分説明し、同意を得た上で実施した。本研究は岡山県立大学倫理委員会の承認を得た。

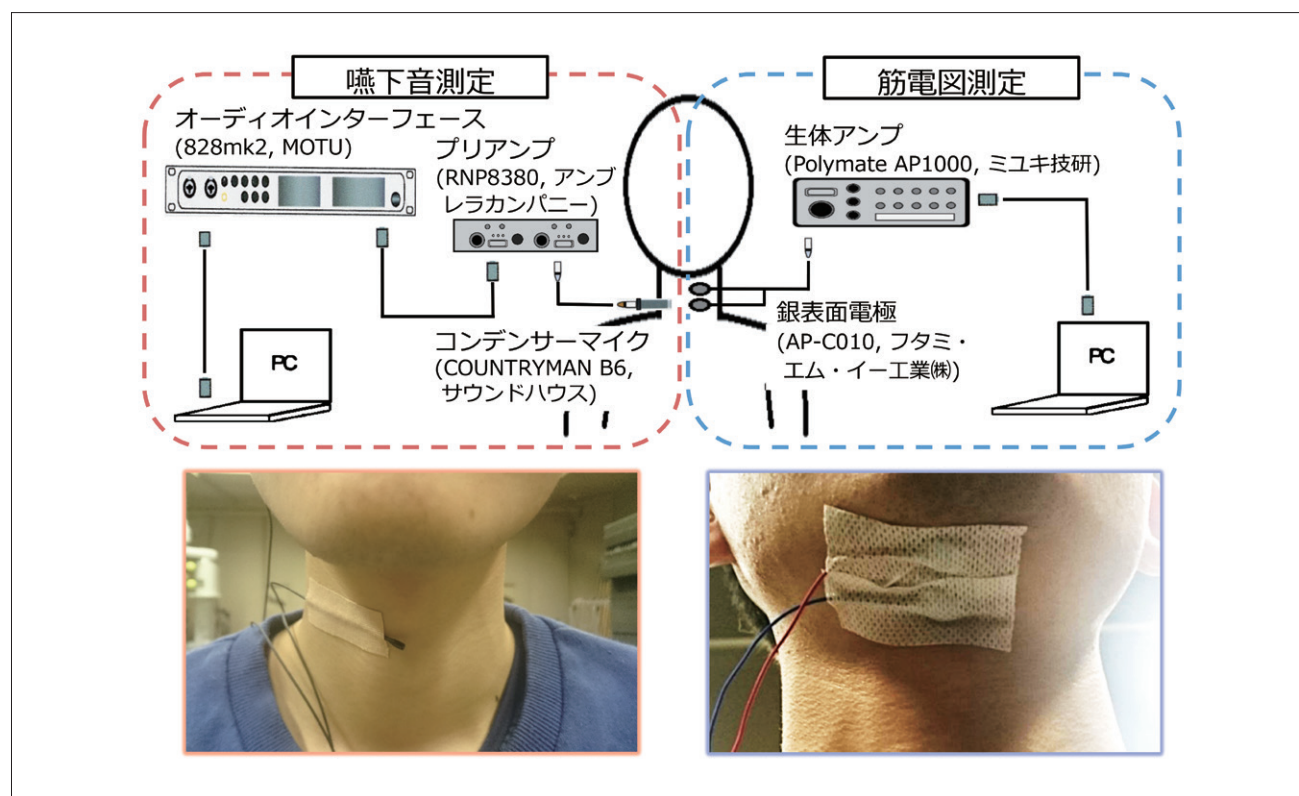


図 1 嚥下音測定と筋電図測定

3. 結果

3.1 各試料の物性特性

各嚥下試料の TPA 試験によるかたさの比較を図 2 に示す。かたさ応力は、ヨーグルトに比較してポタージュやとんかつソースは小さい傾向にあり、プリンとゼリーは有意に大きかった。これは、日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類 2013 での嚥下難易度が高い食品ほど数値は小さく、かたさ応力の小さい順に並べると、水からゼリーとなるにつれて嚥下困難者により適した食品であることが確認された。嚥下機能評価に用いるための市販のとりみ剤は 2.1%、自然薯粉末は 16% で、モデル食品

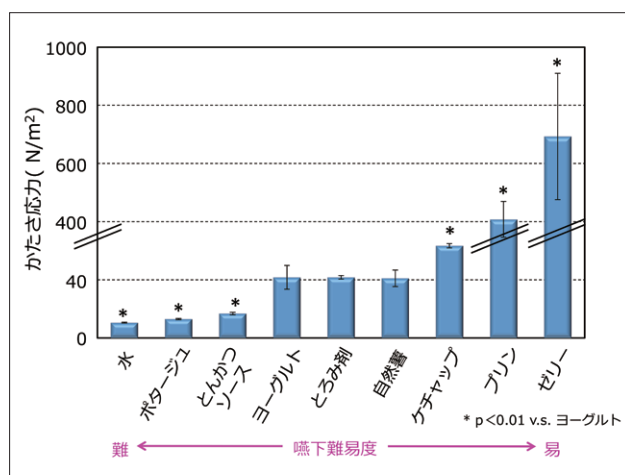


図 2 TPA 法による各種モデル食品のかたさ比較

のヨーグルトとほぼ同じテクスチャーになるように調整した。

3.2 嚥下音および筋電図波形

3.2.1 嚥下音波形

水の嚥下時咽頭音測定による波形パターンを図 3-右に、筋電図波形の整流・平滑化波形の典型例を図 3-左に示した。図中縦線は嚥下音あるいは筋活動の発生の始まりと終わりを示す。図 4-左に 11 名の嚥下音パワーの平均結果を示した。横軸の試料の並び順は、嚥下の難易順である。嚥下音パワーは、水 > ポタージュ > ヨーグルト > 2.1% とりみ剤溶液 > 16% 自然薯粉末溶液 > プリンの順で、水を 1 とした相対値は各 0.456、0.342、0.309、0.217、0.209 となり、全てにおいて有意な減少が認められた ($p < 0.01$)。また、ポタージュと比較しても、自然薯粉末溶液とプリンで有意な減少が認められた ($p < 0.01$)。水のような液体からゾルに近いプリンのような食品は、嚥下しやすい食品で、図 2 のようにかたさが大きいほどパワーが小さくなる性質を示した。ただし、固体としての性質の高いゲル化されたゼリーの嚥下音パワーは 0.356 であり、プリンよりも高く、ヨーグルトと同程度となった。図 5-左に、固形性の強いゼリーを除いた 6 試料に

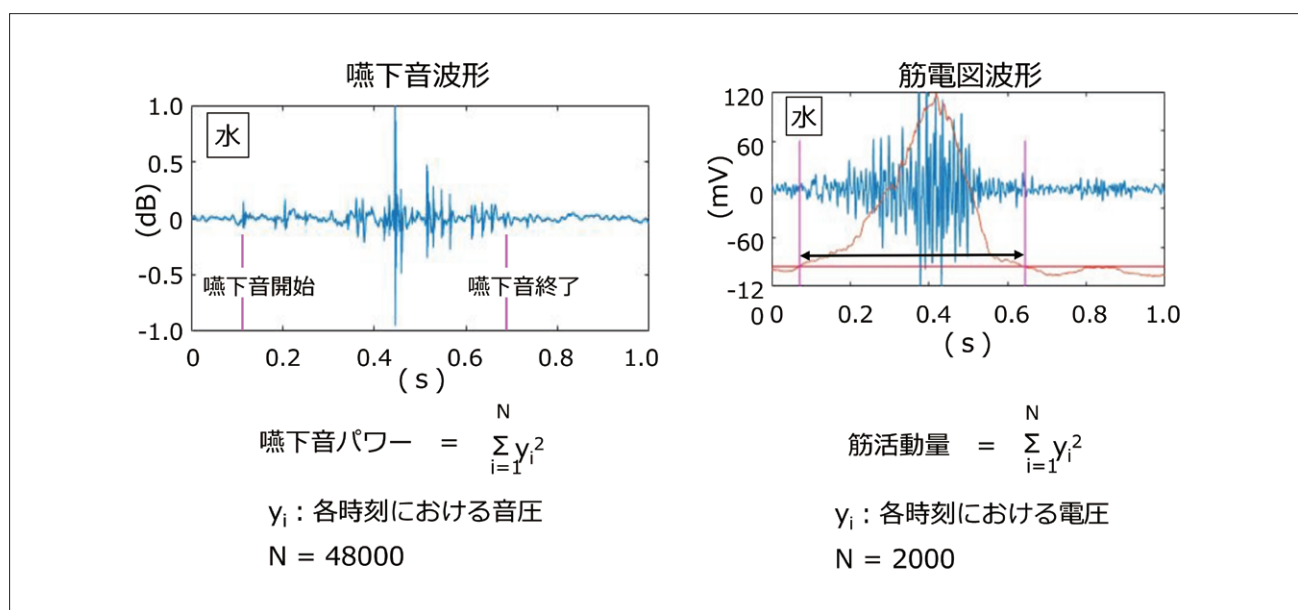


図 3 嚥下音波形と筋電図波形

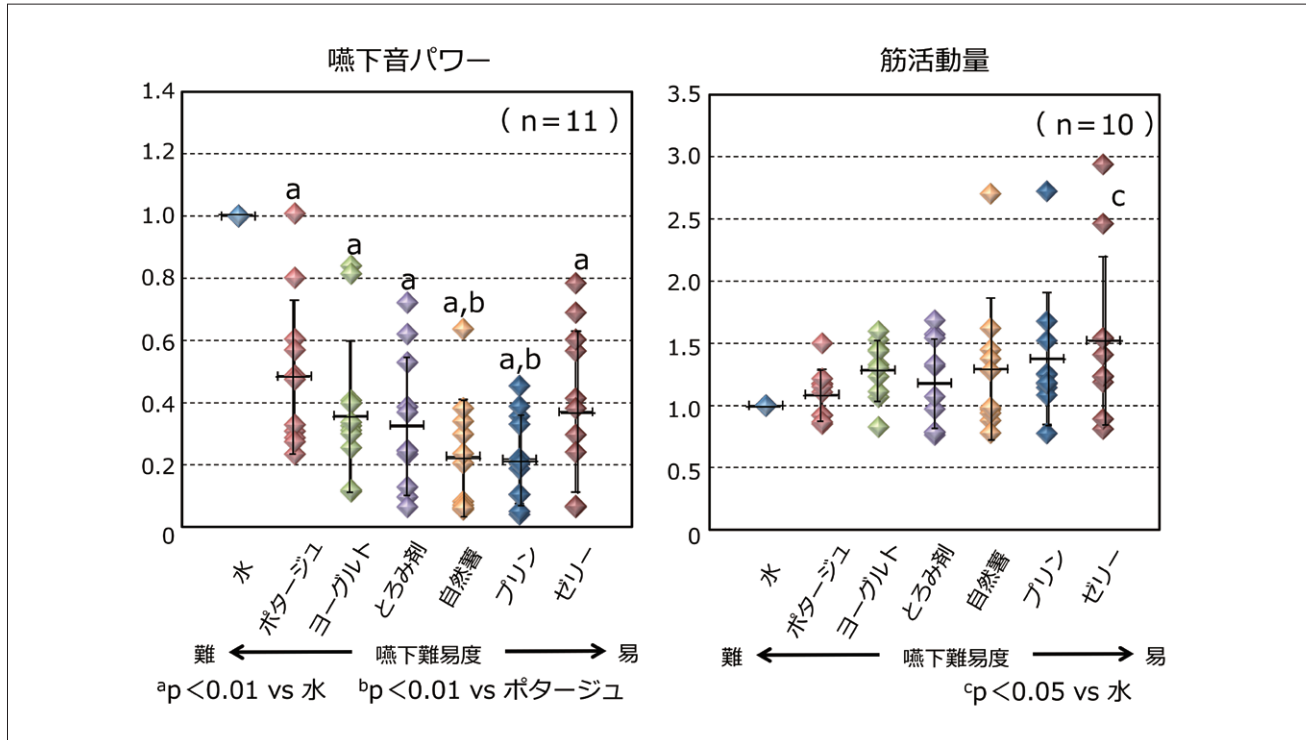


図4 各種モデル食品嚥下時の嚥下音パワーと筋活動量

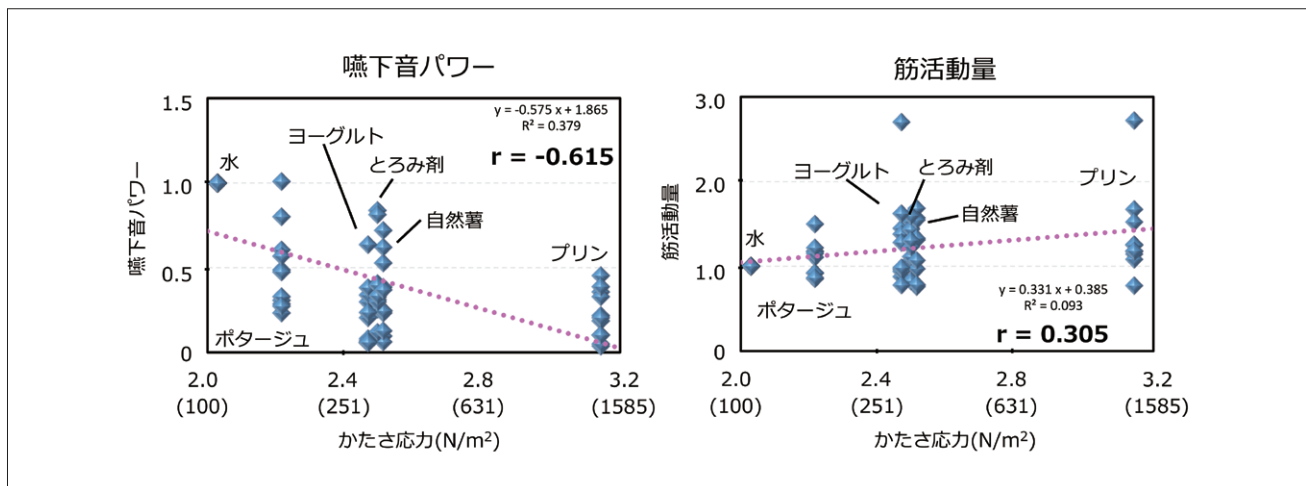


図5 嚥下音パワーあるいは筋活動量とかたさ応力との相関性

ついて、各試料のかたさの値を横軸に常用対数で示し、縦軸に嚥下音パワーを示す。それより求められる相関係数は -0.615 であり、相関性が認められた。

3.2.2 筋電図波形

筋電図波形、整流・平滑化波形を図3-右下段に示した。横点線は静止レベルの3倍レベルを、縦点線は筋活動発生の始まりと終わりを示す。どの試料についても筋電図は1群の波形であり、筋活動発生期

間の中心付近で最大となった。振幅は音波形に見られた。嚥下時の平均活動量は、かたさが増すと活動量も増すタイプ(6例)、減るタイプ(3例)、その中間タイプ(4例)に類別された。水よりも活動量が増すタイプが多かったため、その特性を示す被験者10例の平均特性を求めた。筋活動量は、水<ポタージュ<ヨーグルト<2.1%とろみ剤溶液<16%自然薯粉末溶液<プリン<ゼリーの順に大きく、水の値を1としたときの相対値は、順に1.078、1.190、

1.272、1.287、1.349、1.526 であり、食品のかたさの上昇に伴い値が上昇する傾向を示したが、水に対して有意差が見られたのは、ゼリーのみであった ($p<0.05$)。図 5- 右にあるように、固形性の強いゼリーを除いた 6 試料について試料のかたさと筋活動量の相関性を確かめたところ、相関係数は 0.305 で、低い相関性が認められた。

4. 考察

これまで嚥下困難者に適した食品の指標として、食品の形態や形状をもとにレベル分けされた日本摂食・嚥下リハビリテーション学会による嚥下調整食分類 2013 や嚥下食ピラミッド、厚生労働省が定めているえん下困難者用食品の許可基準、日本介護食協議会のとろみの目安などがあるが、いずれも食品の物性による指標である。本研究では、TPA 試験のかたさの指標と、物性による嚥下難易度別の食品モデルをもとに、嚥下時の生体信号を用いて構築した簡便な嚥下機能評価系を構築し、自然薯粉末溶液の嚥下調整食としての適合性を検討した。

本研究では、嚥下音パワー、嚥下音発生時間、筋活動量、筋活動発生時間を測定し、食品のかたさとの相関性を分析した。嚥下音発生時間と筋活動発生時間については、結果を示さなかったが、嚥下音発生時間には負の相関性が認められ、筋活動時間には相関性が見られなかった。これら 4 つの評価項目の中では、嚥下音パワーが最も相関性の高い結果であった。嚥下音パワーは、ゼリー以外は嚥下しやすいとされる食品、即ちかたさが大きい食品ほど小さかった。嚥下難易度が低いとされるゼリーで、ヨーグルトやプリンよりやや高値を示した理由として、ポタージュからプリンについてはゾル状の食品であり、かたいゾル状のプリンと比較すると固体としての性質が強いゲル状のゼリーは、嚥下音パワーとの相関性からはずれると考えられる。よって、嚥下音パワーを指標とした食品の嚥下難易度については、ゾル状食品について評価に適すると思われる。

これまでに私達は、自然薯に炎症性脂質メディエーターである PGE_2 の合成を抑制し、抗炎症・抗

腫瘍効果を有することを、疾患モデル細胞や動物を用いて明らかにしてきた。 PGE_2 は、慢性炎症さらには慢性疾患の誘導にも関与することが知られており、自然薯が慢性疾患予防の機能性食品となり得ることが期待される。今回、自然薯粉末溶液の物性評価では、嚥下困難者用のモデル食材とされるヨーグルトや市販のとろみ剤と同程度の評価が得られた。さらに、嚥下音パワーを用いた嚥下機能評価系では、自然薯粉末溶液はヨーグルトやとろみ剤調整溶液よりも低値を示し、プリンと同程度の値を示した。この結果より、自然薯粉末は高機能性を付加したとろみ剤として、あるいは、それを用いた嚥下困難者用加工食品への応用が期待できる。今後は、食品機能性を見出された食品を用いた高機能性嚥下調整食開発に向けて、今回構築した嚥下機能評価系を適合性評価に利用していきたいと考える。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご助成を賜りました公益財団法人 浦上食品・食文化振興財団に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Suzuki-Yamamoto T, Tanaka S, Tsukayama I, Takafuji M, Hanada T, Arakawa T, Kawakami Y, Kimoto M, Takahashi Y : *Dioscorea japonica* extract down-regulates prostaglandin E2 synthetic pathway and induces apoptosis in kung cancer cells. J Clin Biochem Nutr, 55(3), pp. 162-167, 2014.
- 2) Tsukayama I, Toda K, Takeda Y, Mega T, Tanaka M, Kawakami Y, Takahashi Y, Kimoto M, Yamamoto K, Miki Y, Murakami M, Suzuki-Yamamoto T. Preventive effect of *Dioscorea japonica* on squamous cell carcinoma of mouse skin involving down-regulation of prostaglandin E2 synthetic pathway. J. Clin.Biol. Nutri. 62(2), 139-147, 2018.
- 3) 山本登志子, 野村奈央, 山本沙也加, 田中充樹, 目賀拓斗, 津嘉山泉, 戸田圭祐, 川井恵梨香, 大野智子, 木本眞順美 : 高齢者嚥下調整の開発に向けた自然薯のレオロジー解析. 岡山県立大学保健福祉学部紀要, 22(1), pp. 47-56, 2015.

Study on the development of a functional dysphagia diet and creation of a convenient evaluation system for swallowing function

Toshiko YAMAMOTO

*Department of Nutritional Science, Faculty of Health and Welfare Science,
Okayama Prefectural University*

Japan is currently experiencing a declining birthrate as well as an aging society. Accordingly, the development of a quality dysphagia diet is necessary to avoid undernutrition and aspiration pneumonitis in elderly persons. Recently, we found that *Dioscorea japonica* suppressed the prostaglandin E₂ synthetic pathway, and prevented inflammation and carcinogenesis in mouse squamous cell carcinoma of the skin. *Dioscorea japonica*, which displays such high food functionality, may also be useful for implementing a quality dysphagia diet. Both a Texture Profile Analysis (TPA) and a rheological analysis indicated that the physical properties of *Dioscorea japonica* paste were appropriate for use as a thickener for dysphagia.

In this study, we examined the applicability of swallowing sound and an electromyogram as indices of swallowing function. When eleven healthy volunteers swallowed each of several model foods, including potage, yogurt, pudding, jelly, a commercial thickener, and *Dioscorea japonica* paste, the resulting swallowing sounds were recorded using a small condenser microphone via the thyroid cartilage, while an electromyogram was derived from the right anterior belly of the digastric muscle. The power of the swallowing sound and the muscle activity were measured during the whole swallowing of a 3-gm bolus. The relative values of the sound power correlated significantly with the level of swallowing ease, with the exception of jelly. The muscle activity obtained via electromyography tended to decrease in parallel with the level of swallowing difficulty, although there were no significant differences among the model foods. These results suggest that swallowing sound is a useful index of swallowing function to support the evaluation of bolus swallowing ability. Based on the evaluation system according to swallowing sound power, *Dioscorea japonica* paste was found to be comparable to the commercial thickener.

Taken together, *Dioscorea japonica* paste may be valuable as a functional thickener for dysphagia, with respect to its physical properties and swallowing functionality.