

ゼラチン・寒天・カラギーナンゼリーの摂食時における 口蓋圧と筋電位の同時測定

盛 田 明 子, 中 沢 文 子

(共立女子大学家政学部)

原稿受付平成 13 年 3 月 9 日; 原稿受理平成 13 年 10 月 10 日

Palatal Pressure and Electromyography while Eating Gelatin, Agar and Carrageenan Jelly

Akiko MORITA and Fumiko NAKAZAWA

Faculty of Home Economics, Kyoritsu Women's University, Hachioji, Tokyo 193-8501

The palatal pressure (PP) and electromyography (EMG) of the muscles used in mastication while eating gelatin, agar and carrageenan jelly samples were simultaneously measured. Each jelly sample was naturally ingested by the tongue and hard palate and resulted in an increase in PP and in the number of pressure pulses with increasing concentration of the sample up to its critical concentration. Above the critical concentration of the sample, the natural eating method appeared to involve the teeth, since PP decreased slightly and the average EMG noticeably increased. The average PP in the anterior region of the palate was greater than that in the central or lateral region for the harder jelly. The PP patterns for the three samples of jelly caused by pressing gave multi-break points, with a characteristic pattern for each sample.

(Received March 9, 2001; Accepted in revised form October 10, 2001)

Keywords: jelly ゼリー, food texture 食品テクスチャ, mastication 咀嚼, palatal pressure 口蓋圧, electromyography 筋電位.

1. 緒 言

食品のテクスチャは主観的な方法として官能評価で、客観的な方法として様々な機器測定で評価されてきた。官能評価は複数の試験者の感覚によって感知される反応を、統計的に処理することによって科学的な評価方法となるが、個人差があり、同一パネルでも場所・時間・場合によっても変動する¹⁾。一方、機器測定は環境の影響も受けにくく再現性が高いという利点がある。しかし、物性試験器などの測定ではヒトの咀嚼と同様な速度設定はできなく、唾液の影響も考慮できない。実際のヒトの咀嚼速度は速いと 100 mm/s 程度にも達し²⁾、また Palmer *et al.*³⁾によるとやわらかい食品における舌の動きの速度は 10~45 mm/s 程度と示されている。

ヒトは固体などの硬い食物を咀嚼する場合、食物を取り込むと奥歯で噛み砕き、分泌された唾液と混ぜ合わせ飲み込む。一方、ゼラチンや寒天のようなやわらかいゲルを咀嚼するときには、舌を口蓋に押しつけて

食物を押しつぶし、ある程度唾液と混ぜ合わさると飲み込みが起こる。

我々は、様々な固体の食物を用いてヒトの咀嚼中における臼歯の 3 次元的動きの測定⁴⁾や臼歯の義歯を用いた咀嚼力の測定^{5)~7)}を行っている。またゲル状の食物を用いて口蓋圧測定^{8)~11)}により口中における食品テクスチャの評価を行っている。また新井らは X 線を用いて視覚的解析を行い、ゲルの口腔内における食物の移動を観察している¹²⁾¹³⁾。

この報文ではヒトがゼリーを咀嚼しているときの舌によって口蓋にかかる圧力、すなわち口蓋圧と咀嚼の際に使われる咀嚼筋の筋電位を同時測定した。高橋らの実験で判別しにくかった舌を使って押しつぶしているのかまたは臼歯で噛んでいるのかの区別^{8)~11)}を筋電位も同時測定したことにより明瞭にすることができた。また口蓋圧測定の分解能がよくなったことで、口中におけるゼリーの破断を詳細にみられるようになり、ゼリーの種類によって特徴があることが分かった。口蓋

Table 1. Sample compositions and concentrations

	Powder (g)	Milk (g)	Water (g)	Sugar (g)	Concentration (%)
Gelatin	1-4	73	20	7	1.0, 2.0, 3.0, 4.0
Agar	0.2-1.2	50	40	10	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2
Carrageenan	2-5	30	60	10	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0

圧と筋電位を数値化し、試料間の比較、被験者間の比較ができたので報告する。

2. 実験方法

(1) 試料調製

試料は食べたときの食感が異なる、ゼラチン、寒天、カラギーナンの牛乳ゼリーを用いた。試料粉末、牛乳、水、砂糖の分量、またゼリー濃度を Table 1 に示す。今回用いた試料はヒトが摂食することから、ゲルの中でもデザート材料として一般的に市販されているものを使用した。

ゼラチンゼリーはゼラチンパウダー（ゼライス、マルハ株式会社）を 10 倍の水に入れ 15 分間膨潤させた。80℃で 10 分間加熱し、砂糖を加え完全に溶かす。火からおろして、40℃に温めた牛乳を加えてよくかき混ぜ、5℃で 3 時間冷蔵した。

寒天ゼリーは寒天パウダー（伊那寒天、伊那食品工業株式会社）と砂糖を混ぜ合わせ、水を加えた。よくかき混ぜ 5 分間沸騰させる。火からおろし、40℃に温めた牛乳を加えて十分にかき混ぜ、5℃で 3 時間冷蔵した¹⁴⁾。

カラギーナンゼリーはカラギーナンパウダー（デザートカラギーナン、小倉食品化工株式会社）と砂糖を混ぜ合わせ、水を加えた。80℃で 5 分加熱し、火からおろして 40℃に温めた牛乳を加えて、5℃で 3 時間冷蔵した。またカラギーナンパウダーには他のゲル化剤（原材料：カラギーナン 9%、ローカストビーンガム 11%、リン酸-カリウム 3%、ブドウ糖 77%）も含まれており、本実験ではこれらのゲル化剤を含んだものをカラギーナンゼリー濃度とした。

3 時間ゼリーを冷蔵し、20 (W)×20 (D)×15 (H) mm (約 6 g) の大きさに成形した。しかし、1%ゼラチンゼリーと 0.2%寒天ゼリーは成形することができなかったため、スプーンで一すくい (約 6 g) したものを 1 回分とした。

(2) 被験者

被験者は正常な咬合をもつ 22 歳 (A) と 28 歳 (B)

の女性 2 人である。各々のゼリーを各濃度につき、日を変えて 6 回ずつ計 12~18 回測定した。測定の際、被験者にゼリーを噛んだか舌で押しつぶしたか、飲み込みの回数、舌の使い方など聞き取り調査を行い、データを検討するときの参考にした。

(3) 口蓋プレート

口蓋圧を測定する口蓋プレートを装着している写真を Fig. 1(a) に、口蓋プレートの概略図を Fig. 1(b) に示す。口蓋プレートの材質はレジンで、4 カ所についている金属の針金を歯に引っかけることでヒトの硬口蓋とレジンプレートを密着できるようになっている。各々の被験者専用の口蓋プレートは歯科医に作製を依頼した。口蓋プレートに圧力変換器（ひずみゲージ式、大きさ $6\phi \times 0.4$ mm, 最大圧力容量 2 kgf/cm², PS-2 KA, 共和電業）と同じ大きさの円盤状の窪みをつくり、圧力変換器を接着したときに圧力変換器と口蓋プレートが同一面を形成するようにをうめ込み、接着剤で貼り付けた。圧力変換器は硬口蓋の切歯に近い左右の犬歯の中心 (PPA)、左右の第 1 小臼歯の中心 (PPB)、利き歯の第 1 大臼歯の横 (PPC) 3 カ所にうめ込んだ。同様に圧力変換器のリード線も口蓋プレートのレジンに溝をつくってうめ込み、第 2 大臼歯（または第 3 大臼歯）の奥から歯の外側を通して口唇の端から 3 本のリード線を出した。測定を開始する前に口蓋プレートを はめ、10~30 分経過後、違和感がなくなってから測定を開始した¹⁵⁾。

(4) 圧力変換器の校正

レオメータ (RE-33005, 山電製) を用いて口蓋プレートに取り付けていない圧力変換器（テスト用圧力変換器）の校正を行い、テスト用圧力変換器が正常に動作していることを確認した。次に口蓋プレートに取りつけた圧力変換器の表面とテスト用圧力変換器の表面をあわせて圧力をかけ、出力電圧の校正を行った。2 つの圧力変換器の間には均一の圧力がかかるように薄いウレタンシートを挟み、手で圧力をかけた。口蓋プレートを硬口蓋に装着した状態で行い、圧力変換器が正常に動くことを確認した。

ゼラチン・寒天・カラギーナンゼリーの摂食時における口蓋圧と筋電位の同時測定

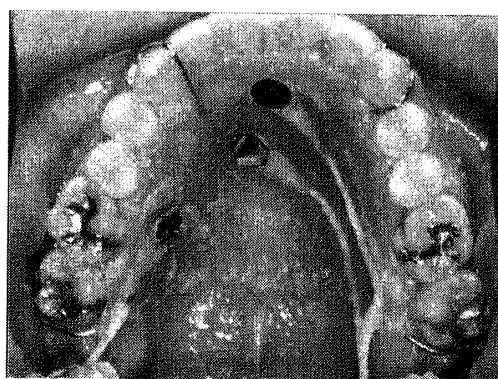


Fig. 1(a). Photograph of the palate fitted with a resin retainer containing three pressure transducers of the strain gauge type and their connecting leads

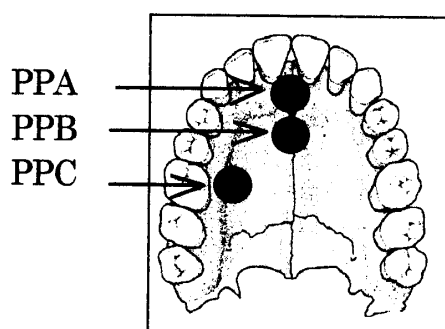


Fig. 1(b). Schematic diagram of the palatal retainer. Three transducers (PPA, PPB and PPC) were respectively located on the surface of the anterior, central and lateral regions of the palatal retainer.

最大圧力容量 2 kgf/cm^2 が 5 V の出力電圧になるように設定し測定を行った。テスト用圧力変換器を横軸に、校正する口蓋プレートに取りつけた圧力変換器の出力を縦軸の校正曲線を Fig. 2 に示す。3つの圧力変換器 (PPA, PPB, PPC) の出力電圧は直線関係を示し、硬口蓋に装着したレジンプレートの圧力変換器は正常に動作することが得られた。

(5) 口蓋圧・筋電位測定

装置の概略図を Fig. 3 に示す。口蓋圧は3つの圧力変換器の信号を増幅し、波形記憶装置で A/D 変換して記録 (8 ms/point)、LabVIEW 5.0 を用いて制御、Excel でデータ処理を行った。今回試料として用いるゲル状の食物を摂食するには十分と思われる 32 秒を測定時間としたので、data point は $32 \text{ s}/(8 \text{ ms/point}) = 4,000 \text{ points}$ になる。

咀嚼筋筋電位は身体的に負担が小さいとされている表面電極を用いた。電極は筋線維の走行にそって、2

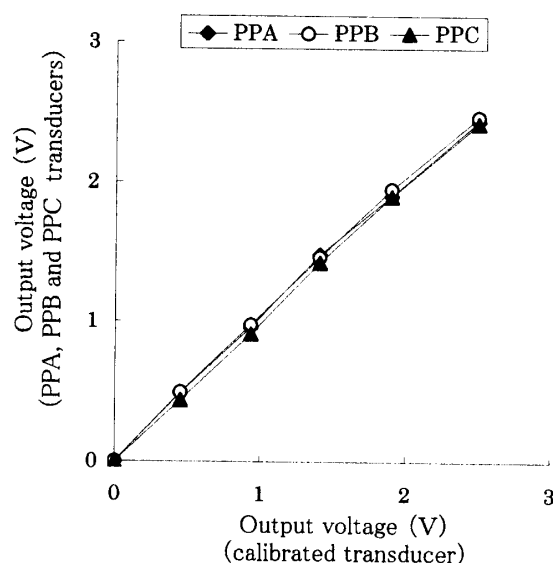


Fig. 2. Calibration curves for the three pressure transducers embedded in the resin retainer

The output voltage of each of the three transducers is shown against the output voltage of a transducer, which had been calibrated with a mechanically applied load.

つの電極の中心距離が 2 cm 程度になるように左右の側頭筋と咬筋に貼り付けた¹²⁾。側頭筋はこめかみのあたりの側頭筋前部に、咬筋は耳下の頬側のあたりに貼り付けた。表面電極の信号を増幅し、波形記憶装置で A/D 変換して記録した。筋電位は口蓋圧よりも高い周波数成分を含むことから、 0.5 ms/point で測定を行った。測定時間は口蓋圧と同じく 32 秒としたので、data point は $32 \text{ s}/(0.5 \text{ ms/point}) = 64,000 \text{ points}$ になる。筋電位の表面電極とそのリード線はノイズを拾うので測定はシールドルーム内で行い、生体電気用アンプの HUM 除去フィルターは使用しなかった。

口蓋圧と咀嚼筋筋電位の信号を記録させる2つの波形記憶装置はトリガーにより $1 \mu\text{s}$ 以内に同時に測定が開始されるようになっている。

3. 結果と考察

(1) 口蓋圧パルスと筋電位パルス

1~4%のゼラチンゼリー、0.4~1.0%寒天ゼリー、2~5%カラギーナンゼリーを自然に摂食したときのゼリーを取り込んでから飲み込むまでの被験者 A の口蓋圧 (PP) と筋電位 (EMG) のパルスを Fig. 4(a)~(c) に示した。ヒトが自然に摂食したことから、口蓋圧パルスは圧力変換器のあるところで押しつぶすときとそうでないときがあり、3カ所の場所によってパルスの発

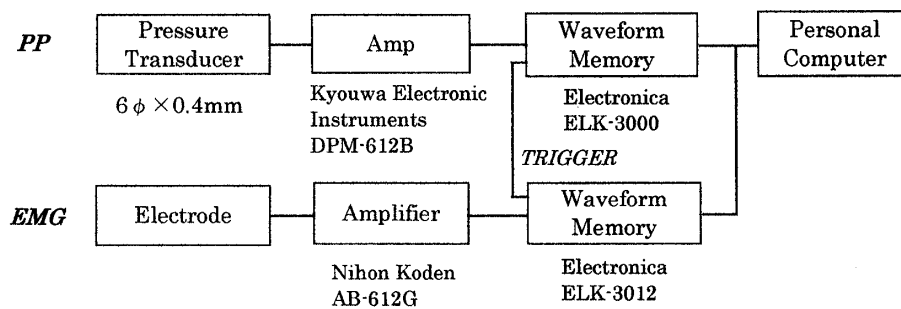


Fig. 3. Schematic diagram of the system for simultaneous measurement of the palatal pressure (PP) and electromyography (EMG)

Two waveform memories were used because of the different data points. The ELK-3000 waveform memory triggered the second one in less than one microsecond.

生の有無が異なった。筋電位パルスは発生するときにはリズムカルに発生し、3種類のゼリーの各濃度についても典型的なものを選んでFig. 4(a)～(c)に示した。

被験者Aの場合Fig. 4(a)の1～3%ゼラチンゼリーでは口蓋圧はゼリー濃度が高くなるとパルスは増え、口蓋圧も大きくなるが、咀嚼筋筋電位にはほとんど変化がなかった。4%ゼラチンゼリーでは口蓋圧パルスはほとんどみられなくなり、咀嚼筋筋電位にははっきりとしたパルスがみられた。被験者Aの場合、3%と4%の間が境界になり、異なった咀嚼をしていると推測された。寒天ゼリー、カラギーナンゼリーに対しても同様に、ある濃度を境界に異なる咀嚼をしていると推測された。寒天ゼリーは0.8%と1.0%の間で、カラギーナンゼリーでは3%と4%の間が境界になっていた。また被験者Bでも咀嚼の仕方が変わる試料濃度の境界がみられたが、被験者AとBでは境界になる試料濃度は異なった。被験者Bの場合、ゼラチンは2%と3%の間、寒天は0.4%と0.6%の間が咀嚼の仕方が変わる境界であった。

そこで、被験者Aの咀嚼の仕方が変わった境界の4%ゼラチンゼリー、1.0%寒天ゼリー、4%カラギーナンゼリーを全て舌と口蓋で押しつぶして摂食するように指示した咀嚼経過をFig. 5(a)～(c)に示した。

Fig. 4(a)の自然摂食とFig. 5(a)の全て押しつぶしたゼリー摂食を比較すると、自然摂食した4%ゼラチンゼリーには口蓋圧パルスはほとんどみられなく、筋電位ははっきりとしたパルスがみられた。Fig. 5(a)の全て押しつぶすように指示して摂食したときには、口蓋圧はパルスの数も多く、圧も大きく発生したが、筋電位は小さいパルスしか発生しなかった。1.0%寒天ゼリーと4%カラギーナンゼリーに対しても同様な結果がみられる (Fig. 4(b)(c), Fig. 5(b)(c))。被験者

Bに対しても3%ゼラチンゼリー、0.6%寒天ゼリーよりも硬いゼリーにおいて全て押しつぶすように指示すると同様の結果が得られた。

つまり低濃度ゼリーの場合、舌と口蓋でゼリーをつぶし、高濃度になるにつれつぶす回数も増加し、口蓋圧も大きくなる。舌と口蓋でつぶせる限界を超えた高濃度ゼリーでは歯を使って咀嚼していることが考えられる。そこで被験者Aからの食べ方の聞き取り調査と照らし合わせてみると、4%ゼラチン、1.0%寒天、4%カラギーナンゼリーのような硬めのゼリーでは歯を使って噛んでいると申告があった。また被験者Bにおいても3%ゼラチン、0.6%寒天よりも硬いゼリーになると歯を使って噛んでいるという申告があった。歯による咀嚼により咀嚼筋が使われ、Fig. 4(a)(b)(c)のように咀嚼筋筋電位のパルスがはっきりとみられるようになったと考えられた。噛むときには舌を口蓋に押しあてることは少なくなり、口蓋圧は小さいかほとんど発生しなくなった。

口蓋圧と咀嚼筋筋電位を同時測定することによって、つぶして食べているのか、歯を使って噛んで咀嚼しているのか判断ができた。口蓋圧測定だけでは押しつぶしているのか、圧力変換器に舌だけがあたって圧が発生したのかの区別がしにくかったが、筋電位測定によって判別できる。

(2) パルスの数量化

濃度を変化させた試料や異なる試料、被験者間を比較するためにパルスを数量化した。

咀嚼に伴い発生した口蓋圧パルスを食べ始めから終わりまで時間で積分し、咀嚼時間で割った量を単位時間当たりの口蓋圧仕事量と定義した。筋電位は発生したパルスの絶対値を時間で積分し、ノイズの絶対値を時間で積分した値を引いて、咀嚼時間で割った値を単

ゼラチン・寒天・カラギーナンゼリーの摂食時における口蓋圧と筋電位の同時測定

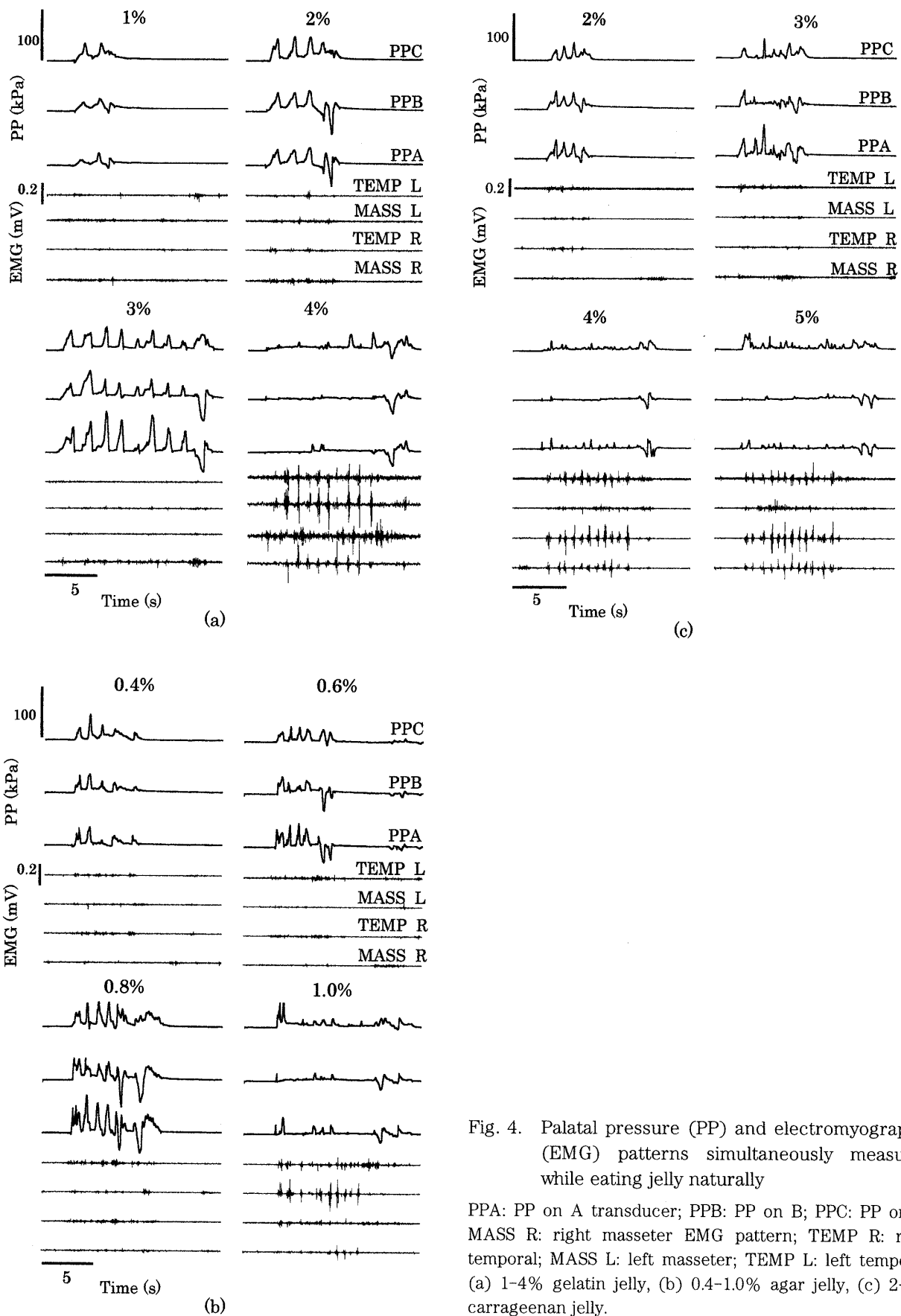


Fig. 4. Palatal pressure (PP) and electromyographic (EMG) patterns simultaneously measured while eating jelly naturally

PPA: PP on A transducer; PPB: PP on B; PPC: PP on C; MASS R: right masseter EMG pattern; TEMP R: right temporal; MASS L: left masseter; TEMP L: left temporal. (a) 1-4% gelatin jelly, (b) 0.4-1.0% agar jelly, (c) 2-5% carrageenan jelly.

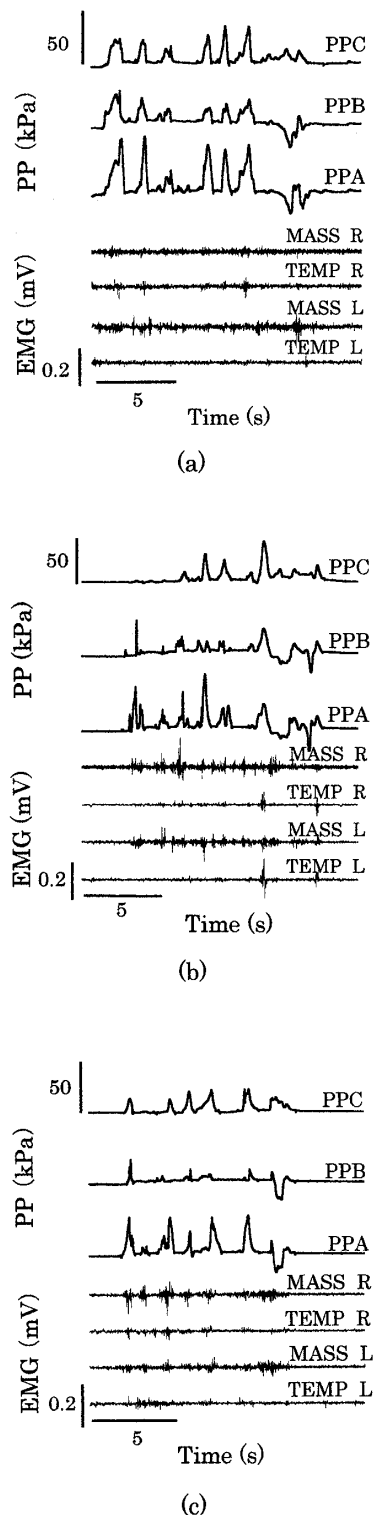


Fig. 5. PP and EMG patterns simultaneously measured while eating jelly by pressing with the tongue instead of naturally

TEMP L, etc., shown in the figure are defined in Fig. 4. (a) 4% gelatin jelly, (b) 1.0% agar jelly, (c) 4% carrageenan jelly.

位時間当たりの筋電位仕事量と定義した。

Fig. 4～5 におけるほとんどの咀嚼経過の終わりに減圧している部分がみられる。この減圧のパルスは切歯近辺の圧力変換器 (PPA) と第 1 小臼歯の中心の圧力変換器 (PPB) にはみられるが、第 1 大臼歯の横の圧力変換器 (PPC) には減圧はほとんどみられない。太田らによると嚥下中に舌の運動において減圧が発現することが示されていることから¹⁶⁾¹⁷⁾、圧力変換器 (PPA, PPB) に減圧が検出されたと考えられる。しかし今回の実験から第 1 大臼歯の横の圧力変換器 (PPC) にはほとんど減圧は起こらないことが分かった。今後、この嚥下時における減圧についての検討が必要である。本実験においては一連の咀嚼と嚥下動作とは別に考えるべきだと判断し、ゼリーを摂食してから減圧のパルスが生じる直前までの範囲を口蓋圧仕事量と筋電位仕事量とした。

Fig. 6 に被験者 A の 3 種類のゼリーを自然に摂食したときと全て舌と口蓋で押しつぶして摂食するように指示したときの 1 秒間当たりの口蓋圧仕事量と筋電位仕事量の平均値を示した。筋電位仕事量は 4 カ所の筋電位仕事量を合計したものである。

ゼラチンゼリーの自然摂食時の場合、口蓋圧仕事量は 3%ゼリーまではどの濃度においても大きく、筋電位仕事量は変化がなかった。4%ゼリーになると口蓋圧仕事量は急激に減少し、筋電位仕事量はかなり増加した。他の 2 種類のゼリーにおいても、寒天は 1.0%, カラギーナンでは 4%で口蓋圧仕事量が減少し、筋電位仕事量には増加の傾向がみられた。

全て舌と口蓋で押しつぶして摂食するように指示したときの口蓋圧仕事量は 4%ゼラチンゼリーで、特に PPA の切歯近傍で増加し、筋電位仕事量では急激な増加はみられなかった。寒天とカラギーナンにおいても PPA の切歯近傍の口蓋圧仕事量は他の PPB, PPC に比べて増加していた。

被験者 B においては 2%ゼラチン, 0.4%寒天までは口蓋圧仕事量が大きく 3%ゼラチン 0.6%寒天になると減少し、筋電位仕事量はかなり増加した。また被験者 A と同様に、切歯近傍の PPA の口蓋圧仕事量は他の PPB, PPC に比べて増加していた。

このことから、ゼリーの硬さにかかわらず、つぶすときには口蓋がよく使われるが、咀嚼筋筋電位の活動は小さいことが示唆された。噛む咀嚼では咀嚼筋筋電位の活動は大きく、口蓋圧は小さいかあまり使われないことが数値的にも明らかにできた。

ゼラチン・寒天・カラギーナンゼリーの摂食時における口蓋圧と筋電位の同時測定

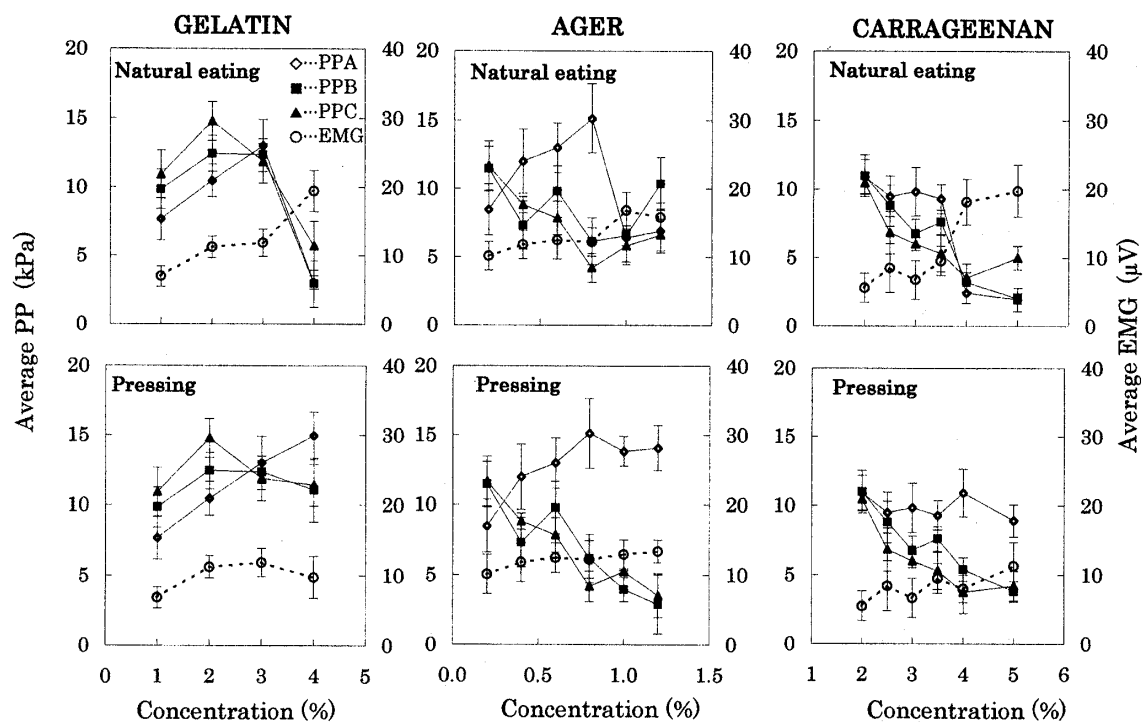


Fig. 6. Average PP and EMG while eating jelly naturally in comparison with the values due to pressing with the tongue

Average PP was given by the time integral of PP from the start of the pressure pulse to the end of the positive pressure pulse divided by the time. Average EMG was given by the time integral of the absolute value of EMG during the same time as that for PP divided by the time, and then subtracting average EMG during a no-work period to remove the noise component of the voltage.

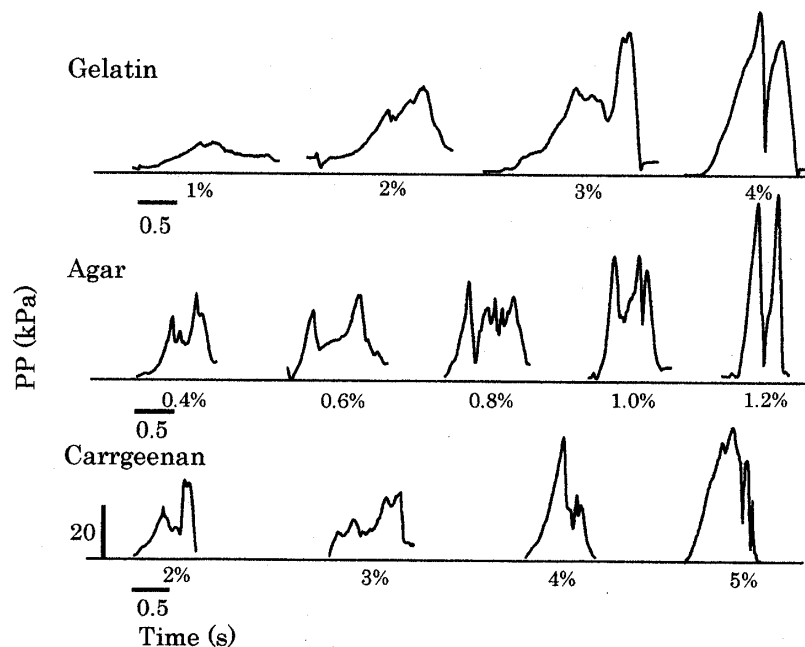


Fig. 7. Typical patterns for PP (the PPA transducer) when pressing the gelatin, agar and carrageenan samples with the tongue

また口蓋圧を数量化したことで、切歯に近いところの圧力変換器 PPA の口蓋圧仕事量が高濃度の硬いゼリーで特に増加していることが明らかになった。つまり 3, 4%ゼラチンゼリーのような硬めのゼリーになると舌先を切歯近辺の口蓋でゼリーを強く押しつぶして咀嚼するようになる。

(3) 咀嚼第 1 回目パルス

舌の中で最も大きな力を出すのは舌先であり¹⁶⁾、硬めのゼリーは舌先と硬口蓋で押しつぶす¹²⁾¹³⁾。また咀嚼第 1 回目は唾液の影響がなく、取り込んだ食品の形が崩れることもあり、食品のテクスチャがよく反映される。そこでゼリーを摂食した咀嚼第 1 回目における切歯近辺の圧力変換器の口蓋圧 (Fig. 1(b), PPA) に注目した。

Fig. 4, Fig. 5 の各試料の摂食から飲み込む前までの口蓋圧パルスを比較すると咀嚼第 1 回目 (または 2 回目) のパルスにおいてはひとつぶしの間に複数の破断ピークがみられるが、3 回目以降のパルスには複数のパルスはほとんどみられないことから、咀嚼第 1 回目に食物のテクスチャが反映されることが推察される。

被験者 A によるゼラチン・寒天・カラギーナンゼリーの咀嚼第 1 回目の舌先があたる PPA の位置の典型的な口蓋圧パルスを Fig. 7 に示す。4%ゼラチン、1.0%寒天、4%カラギーナンゼリーよりも硬いゼリーについては全て押しつぶしてもらった口蓋圧パルスを示す。Fig. 7 は典型的な咀嚼第 1 回目の口蓋圧パルスを示し、ヒトが咀嚼していることから毎回パルスは多少変化した。装置の分解能^{8)~11)}がよかったことで、3 種類のどのゼリーにおいてもひとつぶしの間に何度も口蓋にあたって壊れていることが示された。またゼリーの種類によって、異なる口蓋圧パルスがみられることが示された。咀嚼第 1 回目のひとつぶし、つまり 1 パルスを時間的に比較すると、寒天はパルスの初期に破断する傾向がみられ、ゼラチンはパルスの後期に破断する。カラギーナンは 2 種のゼリーの真ん中あたりで破断することが明らかになった。

4. ま と め

本実験では濃度を变化させたゼリーを摂食したときの口蓋圧と筋電位を同時測定したことで、ゼリーを押しつぶして食べているのか歯で噛んで食べているのか明瞭に示すことができた。高濃度ゼリーになると歯で噛んで咀嚼するが、2 人の被験者においては、噛みはじめるゼリー濃度が異なった。また硬めのゼリーを押

しつぶすときには、舌先を切歯近辺の口蓋に強く押しつけてゼリーをつぶしていることが示された。

また装置の全面的改善により分解能がよくなったことで、破断の様子が詳細にみられるようになった。これによってヒトの口中でのゼリー破断は、咀嚼第 1 回目の口蓋圧パルスにゼリーの種類による特徴があることが示すことができた。

引 用 文 献

- 1) 森 友彦, 川端晶子:『食品のテクスチャー評価の標準化』, 光琳, 東京, 1-25 (1997)
- 2) Nishinari, K. (ed.): *Hydrocolloids Part 2*, Elsevier Science B. V., Amsterdam, 473-483 (2000)
- 3) Palmer, J. B., Hiemae, K. M., and Liu, J.: Tongue-Jaw Linkages in Human Feeding, *Archs. Oral Biol.*, **42**, 429-441 (1997)
- 4) Togashi, M., Morita, A., and Nakazawa, F.: Rhythmic and Irregular Movement of the First Molar while Eating Foods with Different Textures, *J. Texture Studies*, **31** (3), 257-271 (2000)
- 5) 高橋淳子, 中沢文子:咀嚼パターンによる食品テクスチャーの評価 (第 1 報) 口腔内での咀嚼圧パターンの解析, 家政誌, **38** (2), 107-113 (1987)
- 6) 高橋淳子, 中沢文子:咀嚼パターンによる食品テクスチャーの評価 (第 2 報) 食品のテクスチャーと厚さが咀嚼活動に及ぼす影響, 家政誌, **40** (3), 189-194 (1989)
- 7) 高橋淳子, 中沢文子:咀嚼パターンによる食品テクスチャーの評価 (第 3 報) 官能的なかたさ, 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 (1989)
- 8) Takahashi, J., and Nakazawa, F.: Palatal Pressure Patterns of Gelatin Gels in the Mouth, *J. Texture Studies*, **22**, 1-11 (1991)
- 9) Takahashi, J., and Nakazawa, F.: Effect of Viscosity of Liquid Foods on Palatal Pressure, *J. Texture Studies*, **22**, 13-24 (1991)
- 10) Takahashi, J., and Nakazawa, F.: Effect of Dimension of and Gelatin Gels on Palatal Pressure Patterns, *J. Texture Studies*, **23**, 139-152 (1992)
- 11) 中沢文子, 盛田明子:口蓋圧と筋電位同時測定によるゼリー摂食の解析, 日食科工誌, **46** (8), 547-552 (1999)
- 12) 西成勝好 (編):『新食感事典』, サイエンスフォーラム, 東京, 79-82, 88-97 (1999)
- 13) Arai, E., and Yamada, Y.: Effect of the Texture of Food on the Masticatory Process, *Jpn. J. Oral Biol.*, **35**, 312-322 (1993)
- 14) 山崎清子, 島田キミエ:『調理と理論 (第 2 版)』, 同文書院, 416-442 (1993)
- 15) 高橋淳子:ヒトの咀嚼による食品テクスチャーの研究咀嚼力, 口蓋圧測定による力学的アプローチ, お茶の水女子大学博士論文 (1993)
- 16) 河村洋二郎:『口腔生理学』, 永末書店, 京都, 86-87, 250-260 (1982)
- 17) 太田雅弘:『基本口腔生理学』, 医歯薬出版, 東京, 204-219 (1985)