

筋電位計測による若年者と高齢者の漬物咀嚼特性解析

誌名	日本食品科学工学会誌
ISSN	1341027X
著者	大山, 高裕 阿久津, 智美 伊藤, 和子 渡邊, 恒夫 神山, かおる
巻/号	56巻1号
掲載ページ	p. 14-19
発行年月	2009年1月

筋電位計測による若年者と高齢者の漬物咀嚼特性解析

大山高裕[§], 阿久津智美, 伊藤和子, 渡邊恒夫, 神山かおる*

栃木県産業技術センター食品技術部

* 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所

Electromyography Study of Mastication of Pickles by Young and Elderly People

Takahiro Ooyama[§], Satomi Akutsu, Kazuko Ito, Tsuneo Watanabe and Kaoru Kohyama*

Industrial Technology Center of Tochigi Prefecture, 367-1 Karinuma, Utsunomiya, Tochigi 321-3224

* National Food Research Institute, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

The chewing patterns of young and elderly people were analyzed by electromyography (EMG) and magnitude of chewing sounds during the process of eating pickles under normal conditions to examine differences in mastication by age and food characteristics. Four types of pickles were examined: takuan, pickled shallot, pickled ginger and pickled eggplant. The number of bursts and the duration of chewing were significantly higher in the elderly group compared to those in the young group. On the other hand, chewing cycle, EMG amplitude, muscle activity per chew and magnitude of chewing sound per chew were significantly higher in the young group compared to those in the elderly group. Next, chewing properties related to the differences among the pickles were investigated. Compared to pickled ginger and pickled eggplant, takuan and pickled shallot were judged to be more difficult to masticate based on their high EMG amplitudes, muscle activities per chew and magnitudes of chewing sound per chew. The time course results of muscle activity and chewing sound for takuan revealed dramatic variation in chewing throughout the course for the young group, but not for the elderly group. These findings suggest that young people adapt better to the texture of the pickles while eating.

(Received Jun. 16, 2008 ; Accepted Oct. 1, 2008)

Keywords : chewing sound, elderly people, electromyography, mastication, pickle

キーワード : 咀嚼音, 高齢者, 筋電位, 咀嚼, 漬物

2008年の総務省統計局の「日本の統計」¹⁾によれば、65歳以上の老年人口は全国でおよそ2660万人であり、社会の高齢化は加速度的に進行している。そのため、新たな社会構造を考慮した様々な取り組みが各種分野で行われているが、食は人間に欠くことができない営みの1つであることから、食品分野の果たすべき役割は非常に大きなものである。一般に高齢者は若年者と比較して、様々な身体能力が低下していることが知られているが、そのような能力の一つに咀嚼能力が挙げられる²⁾。咀嚼能力は高齢者の生活の質とも密接に関わる重要な能力である。咀嚼能力が低下すると、咀嚼しにくい食品、あるいは咀嚼できない食品が現れ、食事の種類が大きく制限されたものとなってくる³⁾。実際の介護の場においては、咀嚼困難な高齢者に対する様々な工夫をした調理が行われている。しかし、食品本来の特徴という点においては、刻んだり、すり潰したりする

ことにより、食べる人が期待している食品の特徴が維持されない場合もあり、食の楽しみを必ずしも満足させているとは言えない。また、咀嚼困難な高齢者に限らず、健常な高齢者であっても若年者と比較した場合には、咀嚼しにくい食品があって、食の楽しみが制限されていることも考えられる。摂食困難な食品をもつ高齢者に対しても、望む食品をその本来の特徴を可能な限り維持して提供していくことが、大きな課題である。

そこで重要になるのは、高齢者が食品ごとにどのような咀嚼をするのか、特徴を適切に把握し、食べにくい食品ではどのような現象が確認されるのかを科学的に検証していくことである。食品の咀嚼に大きな影響を与える因子はテクスチャーである。テクスチャーは、食品のおいしさを表現する主要素であり^{4)~5)}、食品開発において非常に重要な情報のひとつであることから、これまでその測定の方法がいろいろと模索されてきた。しかし、ヒトの口腔内で起こっている複雑な咀嚼現象について直接知見を得ることは難しかった。近年導入された咀嚼筋の筋電位計測は、実際

〒321-3224 栃木県宇都宮市刈沼町 367-1

* 〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12

§ 連絡先 (Corresponding author),

のヒトの出力による評価が可能であることに加え、得られる筋電位波形を利用して数値比較を行うことも可能な評価手法のひとつである^{6)~7)}。特に、顔表面から測定した咬筋、側頭筋等の閉口筋の筋電位は、咀嚼運動量、咀嚼力と密接な関係があることが知られている⁸⁾。これまでに、神山^{9)~16)}や中沢¹⁷⁾、柳沢¹⁸⁾、中山・神山¹⁹⁾、Mioche^ら^{20)~21)}、Bourdiol^ら²²⁾の報告など、様々な食品への応用がなされている。一方、食品咀嚼時に発生する特徴的な音は筋電位計測と同様、食感の評価等に利用されている^{23)~26)}。咀嚼音は、咀嚼過程のどの部分に注目するかで得られる情報が異なる²⁷⁾。咀嚼前期における咀嚼音は、食品ごとの特徴が大きく反映されるが、後期は食品ごとの特徴が少なくなり、咀嚼音は減少していく²⁷⁾ので、試料の咀嚼特性の変化を経時的に追跡できる可能性がある。

阿久津^ら²⁸⁾によれば、高齢者では若年者よりも漬物の嗜好が高かった。その一方で高齢者は、たくあんを食べにくい漬物の一例として挙げ、その理由には、かたい、噛み切りにくいなどテクスチャーに関するものが多かった。また、柳沢¹⁸⁾はたくあんやらっきょう甘酢漬などの漬物を咀嚼筋活動量の大きな食品として挙げている。これらの報告でも、たくあんが高齢者で食べにくい漬物となっていることを示唆している。加えて阿久津^ら²⁸⁾は、4種の漬物試料(たくあん、らっきょう甘酢漬、しょうが酢漬、なす浅漬)について圧縮破断試験を行い、破断強度、破壊歪みを報告した。それによれば、たくあん、らっきょう甘酢漬は破断強度が大きく、なす浅漬は最も小さかった。また、破壊歪みについては、なす浅漬が最も大きな値を示し、次いでたくあんが大きな値を示した。これらの物性の違いは咀嚼活動にも影響を与えたと考えられる。

そこで本研究では、高齢者の嗜好が高い一方で、食べにくいとされる漬物を対象に、若年者と高齢者の咀嚼特性の違いを咀嚼筋筋電位計測、咀嚼音測定により検討した。

実験方法

1. 測定試料

実験では、咀嚼しにくい漬物の例としてたくあん、らっきょう甘酢漬を選択した。たくあんは、(株)アキモから提供を受けた一般的なテクスチャーをもつ塩押したくあんを用いた。らっきょう甘酢漬は、岩下食品(株)製(製品名：生活良好 熟成甘らっきょう)を用いた。また、阿久津^らの報告²⁸⁾をもとに、これらとは違う物性値をもつ漬物として、なす浅漬、しょうが酢漬を選択した。なす浅漬は、荒井食品(株)製(製品名：荒井の長なす)を、しょうが酢漬は岩下食品(株)製(製品名：岩下の新生姜)を用いた。(以下、各試料の名称をたくあん、らっきょう、なす、しょうがとする。)それぞれの漬物について、らっきょう1個分の重量 5 ± 0.25 gを基準とした。表1に各試料の形状の詳細について示す。試料形状については、実際に漬物を食べる際に不

表1 各漬物の試料形状

試料名	試料形状等
しょうが	3 mmの厚さに輪切りにしたものを複数枚取り 5 ± 0.25 gにする。
たくあん	試料両端から50 mmを廃棄、残りの部分を8 mmの厚さに輪切りにする。さらにそれを4分の1の扇形状に切り、 5 ± 0.25 gにする。
なす	ヘタ部50 mm、下部30 mmを除き、残りの部分を5 mm程度の厚さに輪切りにし、重量は 5 ± 0.25 gにする。
らっきょう	5 ± 0.25 gのらっきょうをそのままの状態を試料とする。

自然ではない厚さ、形状を予備試験により決定した。

2. 筋電位測定

若年者11名(男性5名、女性6名：平均年齢30.6歳)、高齢者11名(男性6名、女性5名：平均年齢61.1歳)を被験者とし、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所において行った。高齢被験者は総義歯使用者が1名、部分義歯使用者が2名、義歯を使用していないものが8名であった。実験計画は、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所の人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会の承認を得た。試料については、順番効果を考慮し、4種類の漬物試料をランダムで提示することとした。被験者の左右咬筋、左右側頭筋の計4箇所皮膚表面から電極を貼り付け¹²⁾¹⁶⁾、通常咀嚼時の咀嚼筋筋電位の測定を行った。反復回数は2回とした。筋電位は、生体用アンプ(日本光電製MEG-6108に筋電用アンプユニットAB-610Jを装着)で1000倍に増幅した後、BIOPAC社製MP150システムを介してパソコンに保存した。図1には筋電図波形の一例を示す。記録した波形データについて、BIOPAC社製解析用ソフトウェアAcq-Knowledge(V3.7.3)を用いて、咀嚼回数、咀嚼時間、咀嚼周期、筋電位振幅、筋活動時間、筋活動量(筋電位の時間積分値)の各咀嚼特性値を求めた¹¹⁾¹⁹⁾。咀嚼周期、筋電位振幅、筋活動時間、筋活動量の各値については、測定筋ごとに咀嚼開始から終わりまでの和を求め、それらを咀嚼回数で除して咀嚼1回あたりの値を算出し、この値をさらに4筋の平均値としたものを用いた。

咀嚼音測定では、接触面を伝わる音を集音するコンタクトマイク(小野測器製JM-0116)を眼窩下部に装着した。アンプ(小野測器製SR-2200)を用いて電圧に変換しBIOPAC社製MP150システムにより筋電位と同時にパソコンに記録した。得られた測定結果について、咀嚼初めから最後まで咀嚼音の値を積算し、その値を咀嚼回数で除して咀嚼1回あたりの値を求めた。

また、高齢者で食べにくい漬物とされるたくあんについて、咀嚼の進行に伴う筋活動量、咀嚼音の変化を追跡する

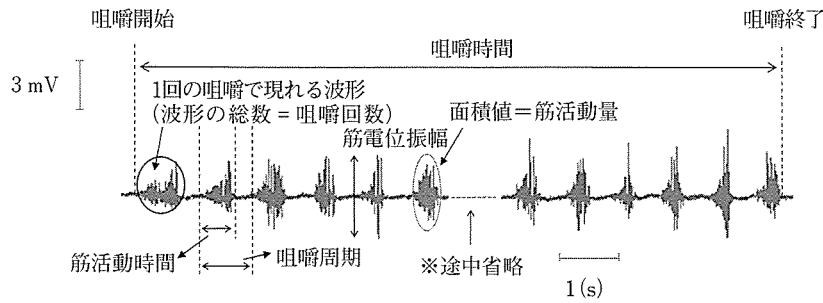


図1 筋電位波形の例と各種咀嚼特性値

ために、咀嚼過程の初期(2~6回)、中期、後期(嚥下直前の5回)¹⁶⁾の積算値を5で除して咀嚼1回あたりの値を求めた。それらを初期、中期、後期の筋活動量と咀嚼音の値とした。

3. 統計処理方法

統計解析には、SAS Institute JAPAN 社製 JMP6.0J を用いた。全ての計算で、有意水準は5%とした。

まず、若年者と高齢者の咀嚼特性の違い、漬物の違いによる咀嚼特性の違いを調べるため、分散分析の要因は、世代、個人、試料とし、個人と世代との間に枝分かれ効果²⁹⁾を考慮した。分散分析の結果、有意な差が認められた要因については、要因ごとに検定を行った。世代で有意な差が認められた場合には、若年者と高齢者の間で *t* 検定を、試料で有意な差が認められた場合には、Tukey の HSD 検定を用いた。

また、若年者と高齢者のたくあん摂食過程における筋活動量、咀嚼音の経時的な変化を調べるために、分散分析の要因として、世代、個人、区間とし、個人と世代に枝分かれ効果を考慮した。また、世代と区間の間に交互作用を考慮した。区間において有意差が認められた場合、Tukey の HSD 検定を行った。

実験結果

若年者と高齢者の咀嚼特性の違い、漬物の違いによる咀嚼特性の違いについて分散分析で検討を行なったところ、筋活動時間を除くすべての特性値で、世代、個人、試料で有意な差がみられた。世代と試料の間については、いずれの特性値も交互作用はみられなかった。筋活動時間については、世代で有意な差が見られなかった。

表2には、筋活動時間以外の特性値を世代別に *t* 検定した結果を示す。若年者と比較して高齢者では咀嚼回数は有意に増加し、咀嚼時間は有意に長くなった。一方、咀嚼周期、筋電位振幅、筋活動量、咀嚼音については、若年者の方が有意に大きな値を示した。

表3に、漬物試料ごとの咀嚼特性値を示す。咀嚼回数、咀嚼時間については、たくあんがその他の試料に対して有意に大きな値を示した。咀嚼周期については、なすがたく

表2 若年者と高齢者の各咀嚼特性値の比較

	若年者	高齢者
咀嚼回数	37.0±19.3	53.9±47.6*
咀嚼時間 (s)	25.2±12.6	34.5±27.4*
咀嚼周期 (s)	0.624±0.067*	0.576±0.070
筋電位振幅 (mV)	1.070±0.554*	0.921±0.357
筋活動量 (mV·s)	0.0297±0.0135*	0.0285±0.0086
咀嚼音 (V·s)	0.0264±0.0107*	0.0202±0.0205

各値は平均値±標準偏差で表す。

数字の横の*は同一行における他の値よりも有意に高いことを示す ($p < 0.05$)。

あんに対して、有意に大きな値を示した。筋電位振幅、筋活動量については、たくあんとらっきょうがなす、しょうがに対して有意に大きな値を示した。筋活動時間については、たくあんながなすとしょうがより有意に大きいことが認められた。咀嚼音については、たくあんがしょうがとなすより、また、らっきょうがなすより有意に大きいことがみられた。

次に、咀嚼に負担がかかる食品を摂食した際に若年者、高齢者の咀嚼の特徴が経時的にどのように現れるかを、たくあんの摂食過程に注目して検討を行った。分散分析を行ったところ、筋活動量では、個人、区間、世代と区間の交互作用において有意な差がみられた。また、咀嚼音では今回設定したすべての要因で有意な差がみられた。2つの咀嚼特性値とともに交互作用が有意であったため、それぞれ世代別で区間に注目し検討を行った。若年者では、咀嚼初期、中期、後期のすべての区間の筋活動量の値で有意な差がみられた。また、咀嚼音については、咀嚼初期の値が中期、後期の値に対して有意に大きな値を示した。それに対して高齢者では、筋活動量では咀嚼初期と後期の値に有意な差がみられるのみであった。咀嚼音については、若年者と類似した傾向がみられ、咀嚼初期の値と咀嚼中期、後期の値との間に有意な差がみられた。筋活動量、咀嚼音の平均値の変化について図2、3に示す。

表 3 漬物試料ごとの咀嚼特性値

	しょうが	たくあん	なす	らっきょう
咀嚼回数	38.7±23.3 ^b	64.0±60.0 ^a	36.0±22.5 ^b	43.2±23.3 ^b
咀嚼時間 (s)	25.6±13.0 ^b	40.2±34.7 ^a	24.7±14.8 ^b	28.7±14.2 ^b
咀嚼周期 (s)	0.598±0.076 ^{ab}	0.585±0.067 ^b	0.613±0.070 ^a	0.603±0.076 ^{ab}
筋電位振幅 (mV)	0.955±0.470 ^b	1.057±0.053 ^a	0.938±0.423 ^b	1.033±0.475 ^a
筋活動時間 (s)	0.302±0.048 ^b	0.324±0.062 ^a	0.300±0.049 ^b	0.315±0.052 ^{ab}
筋活動量 (mV·s)	0.0277±0.0111 ^b	0.0309±0.0124 ^a	0.0275±0.0107 ^b	0.0303±0.0110 ^a
咀嚼音 (V·s)	0.0221±0.0156 ^{bc}	0.0267±0.0183 ^a	0.0196±0.0141 ^c	0.0250±0.0180 ^{ab}

各値は平均値±標準偏差で表す。

値の横のアルファベットは、同一行において異なる文字間で有意に異なることを示す ($p < 0.05$)。

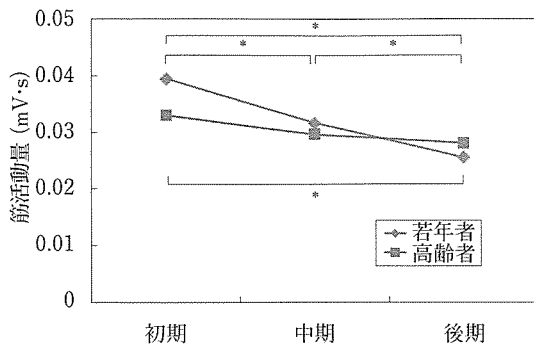


図 2 たくあん咀嚼時の世代ごとの筋活動量平均値の変化
水平な線で結んだ区間は有意に差がある (*: $p < 0.05$).

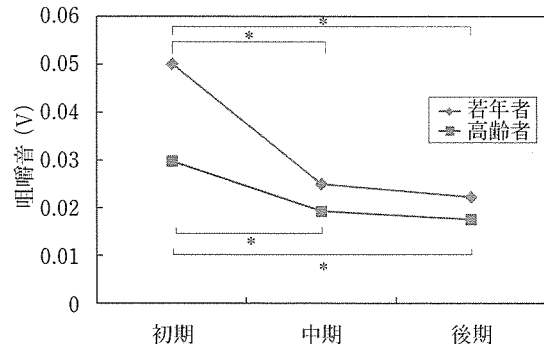


図 3 たくあん咀嚼時の世代ごとの咀嚼音平均値の変化
水平な線で結んだ区間は有意に差がある (*: $p < 0.05$).

考 察

表 2 に示した各特性値の世代別比較結果より、若年者と比較して高齢者は咀嚼回数、咀嚼時間の値が多く、筋電位振幅、筋活動量の値が小さかった。これは、神山ら^{13)~14)}や Mioche らの報告^{20)~21)}でも指摘されていることであり、高齢者は筋力が弱いことを咀嚼の回数や時間を増やすことで対応していると考えられる。本実験における高齢被験者は、高齢者で食べにくい食品の代表例であるたくあんを摂食することが可能であったことから、咀嚼にはそれほど不自由を感じていない被験者層であると考えられた。そのような被験者であっても若年者の咀嚼特性値とは違いが見られたことで、健常な高齢者であっても咀嚼には変化が現れていると考えられる。

表 3 の各特性値からは、漬物の咀嚼特性による分類ができる。試料形状に違いがみられるため、今回用いた試料の物性値とは違いがあるはずであるが、阿久津ら²⁸⁾が報告した漬物試料の破断強度の序列は今回測定した咀嚼回数、咀嚼時間、筋電位振幅、筋活動時間、筋活動量、咀嚼音の序列と同様であった。咀嚼の特徴としては、なすはたくあんと比較して周期の長い咀嚼が行われていることがわかった。また、たくあんは、なすやしょうがよりも、筋活動時間を要することから、長い時間噛みしめて摂食される漬物

であることがわかった。たくあんやらっきょうは、なすやしょうがと比べて咀嚼回数、咀嚼時間、筋電位振幅や筋活動量が大きな値を示す漬物であったことから、咀嚼負担の大きい漬物であると考えられる。特にたくあんは、筋活動時間が長く、らっきょうと比較しても咀嚼回数、時間を必要とする漬物であるため、その負担はさらに大きい。阿久津ら²⁸⁾の報告によれば、漬物の圧縮破断試験において、たくあんとらっきょうの破断強度は近い値を示したが、破壊歪みはたくあんの方が大きかった。これより、破断までに要する仕事量は、たくあんの方がらっきょうより大きいと考えられる。これは、本実験の咀嚼筋筋電位測定の結果と一致した。

今回の個人差に関する検討結果から、個人間の咀嚼特性の差は若年者、高齢者問わずに生じていた。各特性値におけるデータの標準偏差をみると、咀嚼回数や咀嚼時間、咀嚼周期、咀嚼音では、若年者よりも高齢者で標準偏差が大きかった。筋電位振幅、筋活動量、筋活動時間については、若年者で標準偏差が大きかった。たくあんが咀嚼能力の低下した高齢者で食べにくいとされる食品の代表例であるのは、もともと咀嚼しにくい特徴であることに加えて、これら個人差の現れ方の違いが関与することが想像される。つまり、若年者では個人的な咀嚼能力の差が摂食に影響を与えない部分で広く分布しているのに対し、高齢者では咀嚼

能力の分布は狭いが、摂食に影響を与える限界に近い範囲に分布しているのではない。

阿久津ら²⁸⁾は高齢者の漬物官能評価の結果として、若年者よりも高齢者のほうがなすをかたいと評価したことを報告した。今回の咀嚼筋筋電位計測で用いた試料形状は、阿久津ら²⁸⁾の用いたものとは異なるが、咀嚼筋筋電位計測の結果から、なすは他の漬物と比較して咀嚼周期が有意に長かったことのほかは、いずれの咀嚼特性値も小さな値となった。つまり、咀嚼の負担は今回用いた漬物試料の中でより小さなものであることが考えられた。このような中で、阿久津ら²⁸⁾の述べる高齢者の評価があったことも、個人の咀嚼能力が影響している可能性がある。総義歯の高齢被験者は、他的高齢被験者と比較して、明らかに咀嚼回数、時間が多かった。歯牙状態が、咀嚼能力の個人差に大きな影響を与えている可能性があるが、本実験では被験者を歯牙状態で分類するためには人数が不足している。それらの検証を行っていくことは今後の課題である。

たくあん咀嚼時の筋活動量、咀嚼音の経時的な変化の検討結果からは、若年者と高齢者の咀嚼状態の違いをみることが出来る。若年者では、咀嚼初期から後期にかけて筋活動量の減少が大きい。高齢者では若年者ほどの変化は起こらなかった。つまり、若年者は咀嚼初期の食品の特徴の残る段階では強い力を用いた咀嚼を、咀嚼が進行してその特徴が失われてくると次第に弱い咀嚼を行い、食物テクスチャーの状態に合わせた咀嚼活動を行うことが示唆された。その一方で、高齢者では咀嚼初期から嚙下まで強弱の変化が少ない咀嚼活動を行っており、若年者ほど食物のテクスチャー変化に対応した咀嚼活動を行っていないと考えられる。Kohyama・Mioche¹⁵⁾は、異なるテクスチャーをもつ5つの食品を摂食した際の若年者と高齢者の咀嚼特性を、経時的に6つの咀嚼ステージに分けてその特徴を検討している。それによれば、若年者は各ステージで最大筋電位が変化するのに対し、高齢者ではそのような変化がみられなかった。これは、今回観察された若年者と高齢者の咀嚼の特徴の違いにも共通するものと考えられる。Miocheら²⁰⁾は、異なるテクスチャーをもつ肉を摂食した際、高齢者では初期咀嚼において若年者ほど食物の特徴に合わせた咀嚼を行っていないことを報告している。

咀嚼音の経時的変化に関しては、若年者よりも高齢者のほうが有意に小さな値を示した。これらは口腔内の食物の状態変化が両者で異なることを表しているものと考えられる。Krishan³⁰⁾は、天然歯の被験者は、義歯を装着した被験者よりも発生する咀嚼音が大きいことや、義歯使用者よりも咀嚼の進行に伴う咀嚼音の変化が大きいことを報告している。今回の結果から、若年者、高齢者という分類で考えた場合にも類似した傾向をみることができ、筋活動量の経時的な変化にも近い変化を示すことから、両者の咀嚼活動の違いを表していると考えられた。

Bourdiolら²²⁾は、高齢者がテクスチャーの異なる肉を咀嚼した際、若年者よりも咀嚼時間が長くなるにもかかわらず、食塊に含まれる唾液量は変わらないことを報告している。また、咀嚼が高齢者の健康状態にまで影響を与えるという報告もある³¹⁾。一つの能力の低下が別の能力の変化を連鎖的に引き起こすことが考えられる中で、対象者の咀嚼活動を適切に把握することは、高齢者を対象とした製品の開発において、その入り口の部分ともいえる重要な過程であると考察された。

要 約

若年者と高齢者の漬物咀嚼の違いについて、咀嚼筋筋電位計測により検討を行った。その結果、若年者と高齢者では咀嚼回数、咀嚼時間、咀嚼周期、筋電位振幅、筋活動量、咀嚼音で違いが認められ、両者の咀嚼の違いがみられることが示唆された。また、各漬物試料の咀嚼特性値を比較し、漬物の咀嚼特性の違いを確認した。中でもたくあんは特に咀嚼負担のかかる漬物であることがわかった。筋活動量の経時的な変化に関する検討結果からは、若年者では初期から後期にかけて咀嚼の変化が起きていたが、高齢者では若年者ほどの筋活動量の急激な変化はみられず、若年者と高齢者で咀嚼過程の違いがあることが示唆された。また、咀嚼音の経時変化は筋活動量の変化と近い変化を示し、若年者と高齢者の咀嚼活動の違いを表していると考えられた。

研究を進めるにあたり、漬物試料を無償で提供していただいた各社に深謝する。

文 献

- 1) 総務省統計局、人口・世帯、「日本の統計 2008」、総務省統計研修所編、pp. 8-31 (2008)。
- 2) 裕 哲崇、新時代のフードデザイン、加齢に伴う生理機能の低下、「食感創造ハンドブック」、西成勝好、大越ひろ、神山かおる、山本 隆編 (サイエンスフォーラム)、pp. 111-118 (2005)。
- 3) 野首孝嗣、池邊一典、森居研太郎、新時代のフードデザイン、義歯装着者と食、「食感創造ハンドブック」、西成勝好、大越ひろ、神山かおる、山本 隆編 (サイエンスフォーラム)、pp. 119-123 (2005)。
- 4) 山野善正、新時代のフードデザイン、おいしさとは何か、「食感創造ハンドブック」、西成勝好、大越ひろ、神山かおる、山本 隆編 (サイエンスフォーラム)、pp. 25-30 (2005)。
- 5) 神山かおる、テクスチャーの官能評価、テクスチャー研究の今後の展望と課題、「食品とテクスチャー」、川端晶子編、(光琳、東京)、pp. 149-184 (2003)。
- 6) 神山かおる、咀嚼解析による高齢者が噛みにくい食品の解明、食品工業、44 (20)、18 (2001)。
- 7) 神山かおる、食品咀嚼と口腔感覚テクスチャ、食科工、47、341-346 (2000)。
- 8) 塩沢光一、食感評価技術、筋電図、「食感創造ハンドブック」、西成勝好、大越ひろ、神山かおる、山本 隆編 (サイエンスフォーラム)、pp. 251-258 (2005)。
- 9) 神山かおる、早川文代、固形状食品における力学特性と咀嚼挙動との関係、日本咀嚼学会雑誌、17、35-44 (2007)。

- 10) 神山かおる, 高齢者向け食品開発とテクスチャー, ジャパンフードサイエンス, **42**, 69-74 (2003).
- 11) 神山かおる, 中山裕子, 佐々木朋子, 福島富士子, 畠山英子, 和食・洋食一食中における主食の咀嚼量, 日本咀嚼学会雑誌, **12**, 75-81 (2003).
- 12) 神山かおる, 畠山英子, 小林知子, 関 哲哉, 滝口俊男, 鈴木建夫, 昆布の咀嚼筋電図と咀嚼能力, 日本咀嚼学会雑誌, **10**, 41-49 (2000).
- 13) Kohyama, K., Mioche, L. and Martin, J.F., Chewing patterns of various texture foods studied by electromyography in young and elderly populations. *J. Texture Stud.*, **33**, 269-283 (2002).
- 14) Kohyama, K., Mioche, L. and Bourdiol P., Influence of age and dental status on chewing behavior studied by EMG recording during consumption of various food samples. *Gerodontology*, **20**, 15-23 (2003).
- 15) Kohyama, K. and Mioche, L., Chewing behavior observed at different stages of mastication for six foods studied by electromyography and jaw kinematics in young and elderly subjects. *J. Texture Stud.*, **35**, 395-414 (2004).
- 16) Kohyama, K., Kobayashi S., Hatakeyama E., Suzuki T., Electromyographic study of mastication of kelp snack. *J. Texture Stud.*, **31**, 577-590 (2000).
- 17) 中沢文子, 咀嚼活動による食品テクスチャーの研究, *New Food Industry*, **41**, 40-46 (1999).
- 18) 柳沢幸江, 食物の物性と咀嚼活動量一筋電図的手法を用いて一, *New Food Industry*, **33** (7), 67-81 (1991).
- 19) 中山裕子, 神山かおる, かたさの異なる米飯の咀嚼筋電図, 日本咀嚼学会雑誌, **14**, 43-49 (2004).
- 20) Mioche, L., Bourdiol, P., Monier, S., Martin, J.F. and Cornier, D., Changes in jaw muscles activity with age : effects on food bolus properties. *Physiol. Behav.*, **82**, 621-627 (2004).
- 21) Mioche, L., Mastication and food texture perception : variation with age. *J. Texture Stud.*, **35**, 145-158 (2004).
- 22) Bourdiol, P., Mioche, L., Monier, S., Effect of age on salivary flow obtained under feeding and non-feeding conditions. *Journal of Oral Rehabilitation*, **31**, 445-452 (2004).
- 23) 相良孝昭, 佐伯 剛, 山口 誠, 破碎振動装置による漬物食感の測定, 日食工誌, **16**, 1245 (1984).
- 24) 豊島 尊, 土屋欣也, 佐藤文明, 橋 秀樹, 音響解析および咀嚼圧力解析によるフライ調理食品のテクスチャー評価, 食科工, **51**, 388-394 (2004).
- 25) Lee, W.E. III, Schweitzer, M.A., Morgan, G.M., Shepherd, D.C. : Analysis of food crushing sounds during mastication : Total sound level studies. *J. Texture Stud.*, **21**, 165-178 (1990).
- 26) Vickers, Z.M., Christensen, C.M., Relationships between sensory crispness and other sensory and instrumental parameters. *J. Texture Stud.*, **11**, 291-307 (1980).
- 27) 豊島 尊, 食感評価技術, おいしさと音 : 音響解析による食感評価, 「食感創造ハンドブック」, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本 隆編 (サイエンスフォーラム), pp. 231-243 (2005).
- 28) 阿久津智美, 大山高裕, 伊藤和子, 渡邊恒夫, 高齢者用食品の改良開発と機能性評価, 栃木県産業技術センター研究報告, **3**, 94-99 (2006).
- 29) SAS Institute Inc., A 統計的詳細, 「JMP 統計およびグラフ機能ガイド バージョン 6」, 初版, SAS Institute Inc., アメリカ合衆国, pp. 885-913 (2005).
- 30) Krishan, K.K., Frequency spectrographic analysis of bone conducted chewing sounds in persons with natural and artificial dentitions. *J. Texture Stud.*, **28**, 50-61 (1971).
- 31) 寺岡加代, 岡田昭五郎, 永井晴美, 柴田 博, 竹内孝仁, 高齢者における摂食機能の身体活動への影響, 口腔衛生学会雑誌, **42**, 2-6 (1992).

(平成 20 年 6 月 16 日受付, 平成 20 年 10 月 1 日受理)