

咀嚼時の力を測る新システムの開発に関する研究 —テクスチャーの異なる食品に対する咀嚼力の比較検討—

久米井 亨仁¹⁾ 加地 仁¹⁾ 泉田 明男¹⁾
高橋 正敏²⁾ 菊池 雅彦¹⁾

抄録：本研究は、感圧センサを臼歯部咬合面スプリント上に設置して、食物咀嚼時の咀嚼力を測定する咀嚼機能評価法を確立し、この方法により、テクスチャーの異なる食品を咀嚼した時の咀嚼力について検討することを目的とした。健常有歯顎者19名（24～42歳、男性13名、女性6名）を被験者とした。上下顎の右側第一小臼歯から第二大臼歯に装着するスプリントを作製し、下顎スプリント上に感圧センサを設置して食品をスプリント間で咀嚼する時の咀嚼力を測定した。被験食品にはグミゼリーとチーズを用い、それぞれを被験者に嚙下可能と思われるまで任意に咀嚼させ、最終咀嚼までの感圧センサからの出力値をPCに記録した。各食品咀嚼時の第1、第3、第6ストロークおよび最終ストロークにおける最大咀嚼力の平均値は、いずれの咀嚼ストロークにおいても、グミゼリーの方がチーズより有意に大きかった。全咀嚼ストローク数の平均値は、グミゼリーの方がチーズより有意に多かった。全咀嚼ストローク分の咀嚼力積分値の平均値は、グミゼリーの方がチーズより有意に大きかった。以上のことから、本研究では咀嚼力を直接測定することができた。今回の咀嚼力測定は、チェアサイドにおいて実施可能であり、咀嚼機能評価に有用であることが示された。

キーワード：咀嚼力 感圧センサ 咀嚼機能 スプリント

緒言

顎口腔のさまざまな機能のうち、咀嚼機能は生命維持の根幹となる最も重要な機能である。また、食品の味、食感を楽しむことや、他者と食事を共にし、コミュニケーションを深めることなど、さまざまな観点から人のQOLに与える影響はきわめて大きい¹⁾。しかし、齲蝕や歯周病などの歯科疾患のために歯や歯質の欠損が生じると咀嚼機能障害が生じる。この障害を歯冠修復治療や欠損補綴治療によって回復し、咀嚼機能を維持することは、補綴歯科治療の主要な目的であり、咀嚼機能障害を診断したり、治療による機能回復の効果を評価したりするために、さまざまな咀嚼機能評価法が報告されている²⁾。

日本補綴歯科学会の咀嚼障害評価法のガイドライン²⁾では、種々の咀嚼能力検査法が示されている。直接的検査法では、篩分法などの咀嚼試料の粉碎粒子の分布状態から判定する方法^{3,4)}、チューインガム⁵⁻⁷⁾やグミゼリー⁸⁾などの試料内容物の溶出量から判定する方法、食品の混合状態から判定する方法⁹⁾、アンケート調査^{10,11)}により咀嚼能率判定表から判定する方法などがある。間接的検査法には、咀嚼の運動経路や運動のリズムを測定する方法¹²⁾、咀嚼筋活動により判定す

る方法¹³⁻¹⁶⁾、咬合接触状態から判定する方法^{17,18)}、咬合力を用いて判定する方法¹⁹⁾などが挙げられる。

咬合力を指標とした咀嚼能力の評価に関する研究では、しばしば最大咬合力から咀嚼能力を推測する研究が多くみられ、最大咬合力と咀嚼能力が関連するという報告²⁰⁾がある一方で、関連が少ないという報告²¹⁾もある。最大咬合力の測定方法としては、トランスデューサを大臼歯部で咬合させた時の最大の咬合力を測定したり²²⁾、感圧シート等^{23,24)}を歯列全体で噛んだ時の力の総和を測定したりするものがある。しかし、通常の食事において最大咬合力を発揮することはないので、臨床的意義としては、最大咬合力よりもむしろ食品咀嚼時に発揮される咬合力の方が咀嚼機能の指標として重要と考えられる。食物咀嚼時の咬合力を測定した研究では、方法として歯冠補綴物内に荷重トランスデューサを埋め込み、その歯に加わる荷重を測定したものが^{25,26)}、測定装置を組み込んだ1歯での測定に限定されている。

そこで本研究は感圧センサを応用して、テクスチャーの異なる食品を咀嚼した時に下顎臼歯部に設置した感圧センサに加わる圧力をチェアサイドにおいてリアルタイムで記録し、圧力を力に変換することで、歯列上の咀嚼力を測定する新たなシステムを開発した。

¹⁾ 東北大学大学院歯学研究科総合歯科診療部（主任：菊池雅彦教授）

²⁾ 東北大学大学院歯学研究科歯科生体材料学分野

¹⁾ Department of Comprehensive Dentistry, Tohoku University Graduate School of Dentistry (Chief: Prof. Masahiko Kikuchi) 4-1, Seiryomachi, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi 980-8575, Japan.

²⁾ Division of Dental Biomaterials, Tohoku University Graduate School of Dentistry

材料および研究方法

1. 被験者

顎口腔系に異常がなく、上下顎両側中切歯から第二大臼歯まで欠損がない健常有歯顎者であり、研究参加について、本人の文書による同意が得られた者19名（男性13名、女性6名、年齢24～42歳、平均29歳±4.75）を被験者とした。除外基準は、一部の歯に転位、傾斜等の歯列不正がある者、開咬や骨格性反対咬合等、咬合関係が正常でない者、歯の動揺が見られる歯周疾患を有する者、食品アレルギーがある者とした。なお、本研究の実施に先立ち、東北大学大学院歯学研究科研究倫理委員会の承認を得た（受付-29258）。

2. 測定装置

咀嚼力の測定には、感圧センサ（CKS-RA300M、キヤノン化成、つくば）と専用の感圧測定システムを用いた（図1）。感圧センサの感圧部の寸法は、厚さ0.35mm、幅9mm、長さ120mmであり、感圧センサの測定範囲は0～300Nとされている。感圧センサは、感圧部の一方から導線部、ケーブル部が繋がっており先端に接続プラグがあり、接続プラグを送信プラグに接続した。また、接続モジュールと記録用PCはUSBケーブルで接続した。

各被験者の右側における咀嚼力を測定するため、被験者の歯列模型の下顎右側第一小臼歯から第二大臼歯までの部位に感圧センサを設置し、咬合面側が平坦なスプリントを作製した。また、上顎歯の咬頭が感圧センサに直接接触すると感圧センサの破損が危惧されたため、上顎右側の第一小臼歯から第二大臼歯までの部位にも咬合面側が平坦なスプリントを作製した。以下、測定装置作製の詳細について述べる。

1) 印象採得

各被験者に対し、ディスプレイザブルトレとシリコーンゴム印象材（インプリンスレギュラータイプ、トクヤマデンタル、東京）を用いて印象採得を行った。印象材が硬化したのち、印象材専用除菌洗浄剤（インプロステリンプラス、太平化学産業、大阪）に15分間浸漬させた。次いで、硬質石膏（ニューブラストーンII LE、ジーシー、東京）をメーカー指示の混水比（W/P 0.23）に従って練和し、バイブレーターで脱泡させたのち、石膏泥を印象体に流し込み歯列模型を作製した。

2) スプリント作製

歯列模型をトリミングしたのち、サベヤーを用いて上下顎右側第一小臼歯から第二大臼歯にサベイラインを描記した。その後、模型の基底面と咬合平面が平行になるように注意して平均値咬合器（プロアーチIG型、松風、京都）に装着した。装着後、即時重合アクリルレジン（ユニファストIII clear、ジーシー、東

京）をサベイラインより咬合面側に筆積み法で築盛した。上下顎スプリントの咬合面部は、閉口時にスプリントどうしが面接触するように平坦な形状とし、上下顎切歯間距離が3mm以下となるようにできるだけ薄くした。また、スプリント咬合面部の頬舌径は感圧センサの幅に合わせて9mm以上に仕上げた（図2）。

3. 咀嚼力の測定

1) 前準備

はじめに、上下顎のスプリントを被験者の口腔内で試適し、適合や維持力を確認した。その後、上顎側のスプリントが対合する下顎の感圧センサと咬合時に概ね面接触するように咬合面を調整した。

感圧センサを防湿するために、レジン充填時に使用する光重合照射器用ライトガイドカバーに入れ、それを接着剤で下顎のスプリント上に固定した。感圧部の一端は第二大臼歯遠心部に一致させた。感圧センサの感圧部の長さは120mmであるので、感圧部の長さが余る部分は下顎スプリントからはみ出させた（図3）。

2) 被験食品と咀嚼力測定

被験食品には、感圧センサの耐久性と破損防止を考

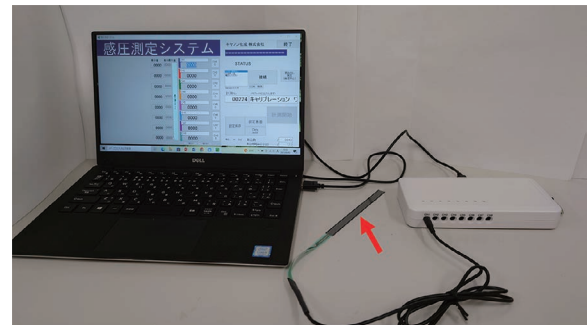


図1 感圧センサ（矢印）と感圧測定システム



図2 上下顎スプリントの形態

慮して、グミゼリー（咀嚼能力測定用グミゼリー、UHA 味覚糖、東京）とチーズ（ベビーチーズ、Q.B.B 六甲バター、神戸）を用いた。なお、グミゼリーは予め一口量（17mm×21mm×11mm、5.5g）で個装されていたが、チーズの個装は一口量よりも大きかったので半分の大きさにカット（28mm×22mm×10mm、6.75g）し、いずれも室温下にしばらく放置後、実験に供した。

それぞれの食品を口腔内に入れ、任意の咀嚼を開始させ嚥下可能と思われるところで挙手してもらい咀嚼を終了させ、食品の嚥下は行わせなかった。この間の感圧センサからの出力値を記録用 PC に記録した。咀嚼後の食品は紙コップに吐き出させ、うがいをさせた。この測定を 1 食品につき 5 回繰り返して、測定の間には適度な休憩をとらせた。なお、測定は同一の 1 日に連続して行い、休憩は各被験者の疲労度により設けたので、一律に明確な休憩時間は設けていない。また、測定を食前もしくは食後に行うという条件も、本研究では設定しなかった。

4. 感圧センサの校正

スプリント作製時に使用した即時重合アクリルレジジンにて直方体のブロック 2 個を作製した。一方のブロック状に両面テープで感圧センサを固定し、その上に被験食品であるグミゼリーを置いて他方のブロックで挟み込み、実荷重を加えることで校正を行った。記録された出力値と実荷重との関係から校正曲線を求め、各測定で得られた出力値を荷重 (N) に変換し分析に供した (図 4)。

5. 分析項目と統計解析

測定で得られたデータについて、各咀嚼ストロークにおける最大咀嚼力、嚥下可能と感じるまでの全咀嚼ストローク数、全咀嚼ストローク分の咀嚼力の積分値を分析項目とした。なお、咀嚼力の積分値とは、A/D 変換におけるサンプリング毎の咀嚼力とサンプリングタイムの積の総和である。

各被験者の 5 回分のデータの平均値を各被験者の代表値とし、それぞれの分析項目について被験者 19 名分の最大値、最小値、平均値、標準偏差を算出した。統計処理として IBM SPSS Statics 28 (日本アイ・ビー・エム) を用い、各分析項目の食品間の差について検討した。Shapiro-Wilk 検定で正規分布に従うという結果が出たため、パラメトリックな手法である paired t-test を用いて解析した。なお、有意水準は 5 パーセントに設定した。

結 果

1. 各咀嚼ストロークの咀嚼力

図 5 にグミゼリーとチーズそれぞれの咀嚼時の最終ストロークまでの測定結果の 1 例を示す。被験者が嚥



図 3 感圧センサを固定した下顎スプリントと口腔内装着時のスプリント

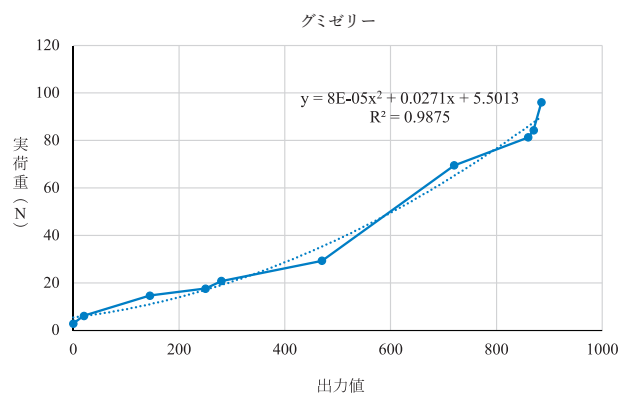


図 4 感圧センサの校正曲線

下可能と感じるまでの咀嚼ストローク数の最小はチーズ咀嚼時の 7 ストロークであったので、分析においては第 1 ストローク、第 3 ストローク、第 6 ストローク、そして最終ストロークの咀嚼力の最大値を各咀嚼ストロークの咀嚼力として分析に用いた。

その結果、表 1 に示すようにグミゼリーにおける各咀嚼ストロークの咀嚼力の平均値 (±標準偏差) は、第 1 ストロークで 48.99 (±23.53) N、第 3 ストロークで 57.56 (±20.40) N、第 6 ストロークで 60.03 (±18.39) N、最終ストロークで 37.36 (±16.23) N であった。

一方、チーズにおける各咀嚼ストロークの咀嚼力の平均値 (±標準偏差) は、第 1 ストロークで 12.55 (±4.26) N、第 3 ストロークで 12.23 (±6.10) N、第 6 ストロークで 12.32 (±6.79) N、最終ストロークで 11.85 (±7.45) N であった。

どの咀嚼ストロークにおいても、咀嚼力の平均値はグミゼリーの方がチーズよりも有意 ($p < 0.05$) に大きかった (図 6)。また、グミゼリーの方は、第 1 ストロークより第 3 ストローク、第 6 ストロークで咀嚼力が増加し、最終ストロークで減少する傾向がみられ

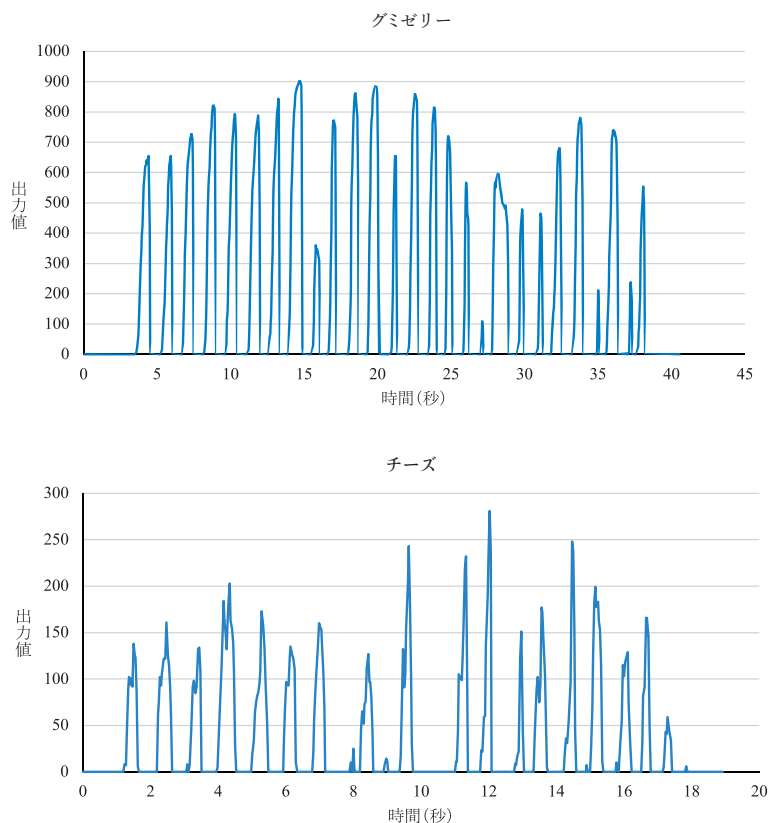


図 5 グミゼリーとチーズの咀嚼力測定例

表 1 各咀嚼ストローク時の食品別咀嚼力

食品	ストローク (回)	咀嚼力 (N)			
		最大値	最小値	平均値	標準偏差
グミゼリー	1	93.53	18.16	48.99	23.53
	3	87.53	20.54	57.52	20.40
	6	91.27	31.80	60.03	18.39
	最終	66.64	8.89	37.36	16.23
チーズ	1	26.85	8.24	12.55	4.26
	3	29.73	6.18	12.23	6.10
	6	30.32	6.35	12.32	6.79
	最終	35.06	6.46	11.85	7.45

(ストローク：回, 咀嚼力：N)

たが、チーズの方は、各咀嚼ストロークでの変動は少なかった。

2. 全咀嚼ストローク数

被験者が嚥下可能と感じるまでの全咀嚼ストローク数の平均値 (±標準偏差) はグミゼリーの場合で 37.69 (±13.10) 回、チーズの場合で 19.48 (±7.97) 回であった (表 2)。全咀嚼ストローク数の平均値はグミゼリーの方がチーズよりも有意 ($p < 0.05$) に多

かった (図 7)。

3. 全咀嚼ストローク分の咀嚼力積分値

咀嚼開始から嚥下可能と感じるまでの全咀嚼ストローク分の咀嚼力積分値の平均値 (±標準偏差) は、グミゼリーの場合で 804.69 (±298.77) N・s、チーズの場合で 185.08 (±97.23) N・s であった (表 3)。全咀嚼ストローク分の咀嚼力積分値はグミゼリーの方がチーズよりも有意 ($p < 0.05$) に大きかった (図 8)。

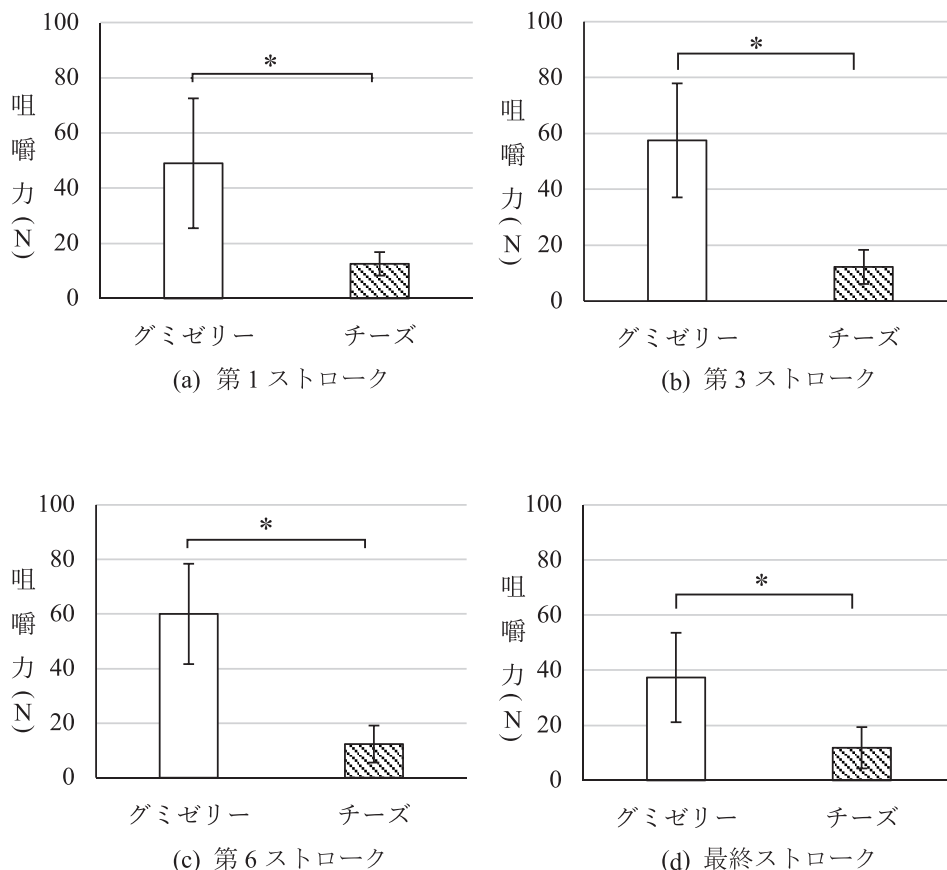


図 6 各咀嚼ストローク時の食品別の最大咀嚼力 (*p < 0.05)

表 2 食品別の全咀嚼ストローク数

食品	最大値	最小値	平均値	標準偏差
グミゼリー	63.00	19.20	37.69	13.10
チーズ	36.60	8.60	19.48	7.97

(回)

表 3 食品別の全咀嚼ストローク分の咀嚼力積分値

食品	最大値	最小値	平均値	標準偏差
グミゼリー	1351.44	420.79	804.69	298.77
チーズ	535.90	86.01	185.08	97.23

(N・s)

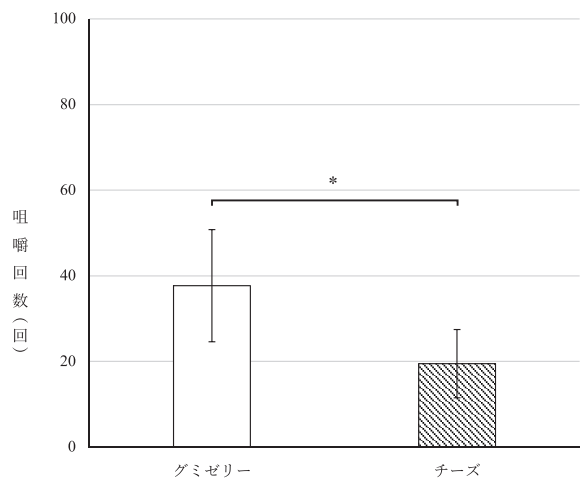


図 7 全咀嚼ストローク数の食品間比較 (*p < 0.05)

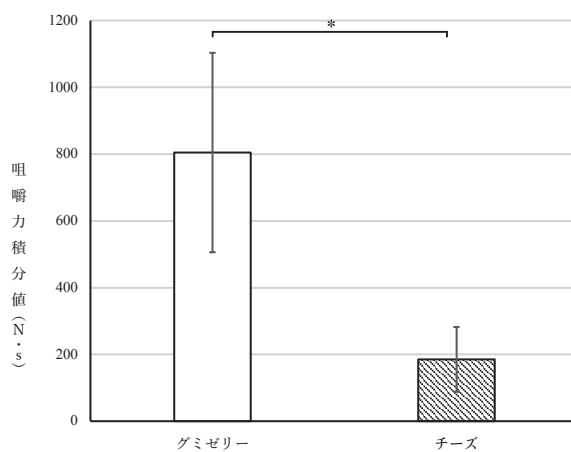


図 8 全咀嚼ストローク分の咀嚼力積分値の食品間比較 (*p < 0.05)

考 察

1. 測定装置と被験食品

本研究で用いた感圧センサおよび感圧測定システムは、各種機器のスイッチ、出力調整・荷重検知等に使用可能で、人の感覚（触覚、感触）、機械装置・ロボットの感覚（接触）等を可視化することを使用目的としている。例えば、把持圧測定や着衣圧測定、隙間の有無測定といった用途が可能である。感圧センサの検出原理として、センサ部は特殊導電部材（ゴム・フィルム）と電極で構成されており、圧力の程度により特殊導電部材と電極の接触面積が増減し、電気抵抗が変化することにより、力の大小が表示される。

本研究では、この感圧センサの特徴を踏まえ、咀嚼力測定に応用することが可能か否かを検討した。今回、感圧センサの破損防止のため、上下顎に咬合面側が平坦なスプリントを装着し、スプリント間で食品を咀嚼させた。また、口腔内の唾液から感圧センサを防湿するために、光重合照射器用ライトガイドカバーによって感圧センサを被覆した。これらの条件設定により、上下顎臼歯間で直接、食品を咀嚼する時の咀嚼力測定とはならないが、いずれの被験者においてもリズムミカルな咀嚼の様相を記録することができた。また、このような条件下では被験者の習慣性咀嚼側はあまり影響しないと考えられたので、一律に右側の歯列で咀嚼力の測定を行った。

被験食品は、感圧センサの耐久性と破損防止を考慮して、1つは咀嚼機能の評価にしばしば使用される咀嚼能力測定用グミゼリーとし、これと比較検討するためにグミゼリーよりも感覚的に軟らかいチーズを用いることにした。なお、口腔内に測定装置が装着されている条件下で、被験者がこれらの食品を咀嚼後、嚥下まで行うことには心理的抵抗があると考え、嚥下可能と思われる時点まで咀嚼させてから、粉碎された食品を吐き出させて十分うがいさせることで1回の試行とした。

2. 咀嚼力測定値

1) 各咀嚼ストロークの咀嚼力について

どの咀嚼ストロークにおいても、咀嚼力の平均値はグミゼリーの方がチーズよりも有意に大きかった。これは食品のテクスチャーからみてグミゼリーの方がチーズよりも硬く、何回か咀嚼しても、完全に粉碎されるまではある程度固形の状態を保つのにに対し、チーズは軟性であるので口腔内で咀嚼開始すると圧縮されるため、小さい力でも容易に咀嚼可能であったと考えられる。一般的に軟らかい食品よりも硬い食品の方が咀嚼時の咀嚼筋活動量の値が高いと報告^{15, 27)}されており、本研究結果と合致している。

各咀嚼ストロークの咀嚼力については、チーズの方

は大きな変化は認められなかったが、グミゼリーの方は特に第1ストロークの咀嚼力が他のストロークの咀嚼力に比べて小さい傾向であった。この理由としてグミゼリーでは表面がなだらかで、チーズのような粘性がなく、感圧センサにライトガイドカバーを装着したこともあり、咀嚼開始時にグミゼリーが滑りやすく、ある程度粉碎されるまでは歯列上で安定しなかったことが考えられる。しかし、2, 3回目の咀嚼ストロークからは安定した咀嚼の様相が観察された。

最終ストロークについては、グミゼリーとチーズともに咀嚼力が小さくなった。最終咀嚼ストロークは各被験者が嚥下可能と感じたタイミングに相当し、咀嚼により十分に細かく粉碎されたため、それほど強い咀嚼力を必要としなくなったと考えられる。

2) 全咀嚼ストローク数

全咀嚼ストローク数を2食品間で比較すると、明らかにグミゼリーの方がチーズよりも咀嚼ストローク数が多かった ($p < 0.05$)。堀尾ら²⁷⁾の研究では、硬い食品ほど咀嚼回数も多くなると報告されている。本研究においてもその傾向が顕著であり、チーズよりグミゼリーの方が硬く弾力性も有し、粉碎しにくいいため、嚥下が可能となるまでに多くの咀嚼が必要だったと考えられる^{8, 28-30)}。

ただし、本研究における全咀嚼ストローク数とは、被験者が無意識下で嚥下するまでのストローク数ではなく、嚥下可能と感じた時に咀嚼を終了するという実験条件下でのストローク数であるので、被験者の意識が結果に影響を与えた可能性は否定できない。また、平坦なスプリントを介しての咀嚼は咬頭対窩で行われる本来の咀嚼形態とは異なり、粉碎自体が困難と考えられ、結果に影響を与えた可能性は否定できない。しかしながら、前述のとおり食品のテクスチャーの違いから^{8, 27-30)}、グミゼリーとチーズのストローク数が入れ替わることはなかったと考えられる。

3) 全咀嚼ストローク分の咀嚼力積分値

さまざまな食品を咀嚼するうえで、咀嚼筋活動における筋電図積分値は食品の硬さが高いほど増加することが報告されている^{15, 16)}。本研究でも先に述べたように、グミゼリーの方がチーズより硬く、そのためグミゼリーの方がチーズよりも、各咀嚼ストロークの咀嚼力が大きく、かつ全咀嚼ストローク数が多くなった。その結果、筋活動の総和が大きくなったと考えられ、これは田中¹⁵⁾、東¹⁶⁾の報告と合致する。咀嚼力積分値は各種食品の物性により変化し、硬い食品での咀嚼時ほど増大することからも^{15, 27)}、食品を咀嚼するのに要する咀嚼筋のエネルギーに相当すると考えられ、さらに、咀嚼筋活動における筋電図積分値の値が増大するにつれて、咀嚼の仕事量が大きくなり、咀嚼能率が向上するとされており、このことから咀嚼機能を評価

するうえで重要な指標となる^{8,31)}ことが示唆される。

以上のことから、本研究で行った感圧センサを用いた咀嚼力測定は咀嚼機能を評価するうえで有用であることが示された。これまで行われてきた感圧シートを一回のみ噛んだ時のシート上加わる圧力とは異なり、本研究で用いた感圧センサは連続的に咀嚼時に加わる圧力を測定出来る。この特徴を踏まえ、咀嚼開始から嚥下に至るまでの咀嚼力の総和である咀嚼力積分値を特に有用なパラメータであると考えている。本研究では完全有歯顎者を対象に研究を行ったが、今後は歯の部分欠損を有する症例や無歯顎患者において、予め他の咀嚼機能検査で優秀のあった患者を被験者とし、データを集めて基準値を設定していくことを考えている。これにより完全有歯顎者と比較することや、義歯装着前後の咀嚼力測定を行うことで、補綴治療による効果について検討できると期待される。

結 論

本研究では、チェアサイドにおいて簡便にリアルタイムで咀嚼力を測定する方法を確立し、グミゼリーとチーズを用いて各咀嚼ストロークの咀嚼力、全咀嚼ストローク数、全咀嚼ストローク分の咀嚼力積分値について検討を行った。その結果、以下の結論を得た。

1. 今回の感圧センサを用いた咀嚼力測定は、チェアサイドにおいてリアルタイムで実施可能であり、咀嚼機能評価に有用であることが示された。
2. 各咀嚼ストロークの咀嚼力は、グミゼリーの方がチーズよりも大きな咀嚼力を要することが示された。
3. 全咀嚼ストローク数は、グミゼリーの方がチーズよりも多く、硬く弾力性のある食品ではより多くの咀嚼回数を必要とすることが示された。
4. 全咀嚼ストローク分の咀嚼力積分値は、グミゼリーの方がチーズよりも有意に大きく、硬い食品を咀嚼するほど咀嚼に要するエネルギー量が大きくなることを示された。

本研究はJPS科研費JP20K10048の助成を受けて実施された。

本研究に関して、開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) 野首孝嗣. QOLの向上にむけた咬合・咀嚼への取り組み. 日咀嚼会誌 2007; 17: 3-15.
- 2) 咀嚼障害評価法のガイドライン—主として咀嚼能力検査法—. 日補綴歯会誌 2002; 46: 619-625.
- 3) Manly RS, Braley LC. Masticatory performance and efficiency. J Dent Res 1950; 29: 448-462.
- 4) 石原寿郎. 篩分法による咀嚼能率の研究. 口腔病会誌 1955; 22: 207-255.
- 5) 松田秀人, 高田和夫, 橋本和佳, 栗崎吉博, 伊藤 裕, 他. ガムを用いた咀嚼能力測定を試み. 日咀嚼会誌

- 2001; 10: 95-100.
- 6) 竹原順次, 本多丘人. 成人男性集団における咀嚼機能の評価 (第1報) チューインガム法による検討. 口腔衛会誌 2000; 50: 23-30.
- 7) 平野 圭, 高橋保樹, 平野滋三, 早川 巖, 関 哲哉. 新しい発色法を用いた色変わりチューインガムによる咀嚼能力の測定に関する研究. 日補綴歯会誌 2002; 46: 103-109.
- 8) 田中 彰, 志賀 博, 小林義典. グミゼリー咀嚼時のグルコースの溶出量の分析による運動機能および咀嚼筋活動の定量的評価. 日補綴歯会誌 1994; 38: 1281-1294.
- 9) Hayakawa I, Watanabe I, Hirano S, Nagao M, Seki T. A simple method for evaluating masticatory performance using a color-changeable chewing gum. Int J Prosthodont 1998; 11: 173-176.
- 10) 山本為之. 総義歯白歯部人工歯の配列について その2—特に反対咬合について—. 補綴臨 1972; 5: 395-400.
- 11) 内田達郎, 鈴木拓也, 織田展輔. 摂取可能食品の調査による咀嚼能力の評価. 岩手医大歯誌 2007; 32: 105-111.
- 12) 雲野美香, 志賀 博, 小林義典. グミゼリー咀嚼時の運動経路のパターンと咀嚼能率との関係. 日補綴歯会誌 2005; 49: 65-73.
- 13) 坂本智史, 南 慎太郎, 菊池雅彦. 白歯中間欠損歯列における咀嚼時の咀嚼筋活動. 日顎咬合会誌 2015; 35: 31-37.
- 14) 南慎太郎, 菊池雅彦, 坂本智史, 岩松正明. 実験的に咬合接触を除去した歯列における咀嚼時の咀嚼筋活動. 日補綴歯会誌 2015; 7: 240-248.
- 15) 田中康隆. EMG Coordination Pattern からみた咀嚼運動の食品差について. 日補綴歯会誌 1988; 32: 798-813.
- 16) 東 和生. 咀嚼運動と咀嚼筋活動の関連性に関する臨床的研究. 大阪大歯誌 1989; 34: 26-63.
- 17) 高場雅之, 菅沼岳史, 川和忠治. 咬合力による咬合接触状態の変化と咀嚼機能. 日補綴歯会誌 2003; 47: 535-544.
- 18) 安陪 晋. ガム咀嚼における咬合接触状態の運動学的解析. 日補綴歯会誌 2000; 44: 274-283.
- 19) 崎間 徹. 中心咬合位最大力噛みしめにおける咬筋, 側頭筋の協調性と制御能. 口腔病会誌 1995; 62: 551-575.
- 20) 内田達郎, 下山和弘, 長尾正憲, 小田切一浩. 全部床義歯装着者の咀嚼能力とその変化の評価を目的とした摂取状況調査表の検討. 日補綴歯会誌 1992; 36: 766-771.
- 21) Hatch JP, Shinkai RS, Sakai S, Rugh JD, Paunovich ED. Determinants of masticatory performance in dentate adults. Arch Oral Biol 2001; 46: 641-648.
- 22) 森川昭彦. 下顎第一大臼歯における機能時の咬合力に関する研究. 口腔病会誌 1994; 61: 250-274.
- 23) 志賀 博, 小林義典, 中島邦久, 横山正起, 荒川一郎. デンタルプレスケールで表示される咬合力の信頼性. 日顎口腔機能会誌 2003; 9: 191-195.
- 24) Kohyama K, Hatakeyama E, Sasaki T, Azuma T, Karita K. Effect of sample thickness on bite force studied with a multiple-point sheet sensor. J Oral Rehabil 2004; 31: 327-334.
- 25) 寺村美千代. 咀嚼力の3次元的発現様相に関する研究—咀嚼の進行に伴う変化—. 歯科医 1994; 57: 58-75.
- 26) 三輪佳子. 各種食品における咀嚼力の3次元的発現様相. 歯科医 1995; 58: 44-56.
- 27) 堀尾 強, 河村洋二郎. 咀嚼運動に及ぼす食品のテクスチャーの影響. 歯基礎医会誌 1988; 30: 481-488.
- 28) 高橋類子, 永田 晟. 食品と咀嚼運動の関係. Ann

Physiol Anthropol 1987 ; 6 : 197-205.

- 29) 田村厚子, 柳沢幸江, 寺元芳子, 赤坂守人. 食品の物性と摂食機能に関する研究 第2報 食品の物性による筋電図学的考案. 小児歯誌 1985 ; 23 : 984-992.
- 30) 蕭 美英, 河野 亘. 食品テクスチャーの違いが嚥下までの咀嚼時間に与える影響. 日補綴歯会誌 1993 ; 37 : 172-181.
- 31) 柳沢幸江, 田村厚子, 寺元芳子, 赤坂守人. 食物の咀嚼筋活動量, 及び食物分類に関する研究. 小児歯誌 1989 ;

27 : 74-84.

著者への連絡先

久米井亨仁
〒 980-8575 仙台市青葉区星陵町 4-1
東北大学病院総合歯科診療部
TEL 022-717-8434 FAX 022-717-8434
E-mail : kumei.akihito.t3@dc.tohoku.ac.jp

Development of a new system to measure force during mastication
—Comparative study of masticatory force for foods with different textures—

Akihito Kumei¹⁾, Hitoshi Kachi¹⁾, Akio Izumida¹⁾,
Masatoshi Takahashi²⁾ and Masahiko Kikuchi¹⁾

¹⁾ Department of Comprehensive Dentistry, Tohoku University Graduate School of Dentistry

²⁾ Division of Dental Biomaterials, Tohoku University Graduate School of Dentistry

Abstract : The aims of this study were to develop a new method for evaluation of masticatory function by measuring chewing force using a pressure-sensitive sensor fixed on the molar occlusal splint and to investigate the chewing force during mastication of two foods with different textures. Nineteen healthy and dentate subjects (aged 24-42 years, 13 males and 6 females) participated in this study. Splints were fabricated to be attached from the first premolar to the second molar on the right side of the upper and lower jaws for each subject. A pressure-sensitive sensor was fixed on the lower splint to measure the chewing force during mastication of food between the splints. Gummy jelly and cheese were used as test foods. The subjects were asked to voluntarily masticate each food until they felt they could swallow it. Output signals from the sensor until the final mastication were recorded on a laptop PC. The average value of maximum chewing force during the first, third, sixth and final mastication strokes was significantly greater for gummy jelly than for cheese. The mean number of total mastication strokes and the average value of the integrated chewing force over the entire mastication strokes were also significantly greater for gummy jelly than for cheese. In this study, chewing force was successfully measured. It was indicated that this chewing force measurement was possible to be performed at the chairside and was useful for evaluation of masticatory function.

Key words : chewing force, pressure-sensitive sensor, masticatory function, splint