

学位論文

外耳道のひずみで咀嚼回数をカウントする方法について

菅生 秀昭

大学院歯学独立研究科 顎口腔機能制御学講座
(主指導教員:増田 裕次 教授)

松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士(歯学)学位申請論文

New method for counting the number of chewing by recording
the distortion of ear canal

Hideaki Sugou

Department of Hard Tissue Research, Graduate School of Oral Medicine
(Chief Academic Advisor : Professor Yuji Masuda)

The thesis submitted to the Graduate School of Oral Medicine,
Matsumoto Dental University, for the degree Ph.D. (in Dentistry)

要旨

【目的】

食塊形成や肥満予防という観点から、「咀嚼回数」の計数は必要であると考えられる。しかし、「咀嚼回数」の計数は、ビデオ撮影を利用し計数する方法や、顔面に計測するためのセンサーを設置したり、筋電図から計数したりするなど決して容易ではない。

一方、解剖学的見地から見ると、下顎運動時に起こる外耳道のひずみを記録することができれば、下顎頭の動きを推定できると考えられる。事実、外耳道のひずみの波形と下顎頭運動を記録した研究から、顎運動時に見られる外耳道のひずみは下顎頭運動により生じている可能性が高いことが示唆されている。

本研究では、外耳道ひずみを一定のアルゴリズムを持って計数することで、より簡便かつ正確に咀嚼回数を測定できるかどうかを明らかにすることを目的とした。さらに、物性の異なる食品を咀嚼した時の計数の特徴を明らかにすることを目的とした。

【方法】

成人男性 14 名 (27～55 歳) を対象とした。すべての被験者には自覚的な顎関節症の症状は認められなかった。

ガム1粒 (粒ガム) は 20 秒間咀嚼し、その回数の計数を行った。以降の被験食品は咀嚼側の指示以外は被験者が食品すべてを嚥下するまでに要した咀嚼回数を計数した。これらの食品を 1 回目は右側のみで咀嚼するように指示し、2 回目は咀嚼側を規定せず、自由に咀嚼してもらった。

りんご 1 片 (10g: りんご一個を約 1/16 等分に薄切り)、きゅうり 1 片 (5g: 輪切り)、チップスター®1 枚、コアラのマーチ®1 個、じゃがりこ®1 本、クッキーサンド 1 枚、せんべい1枚を被験食品として用いた。

装置による咀嚼回数のカウントは、外耳道内センサーで記録した外耳道ひずみの波形を装置内のマイコンにて、2 秒をワンブロックとして、自己相関関数を算出し、咀嚼と判定したブロックに推定された咀嚼回数を計数し、積算することで行った。

左側外耳道のひずみと同時に左右側咬筋筋電図を記録し、整流・スムージングした波形から、各バーストのピークの数を実動計測した。

装置による積算数 (咀嚼回数) と、同時記録した咬筋筋電図から得た咀嚼回数的一致を Bland-Altman 法で分析した。

【結果】

1. 筋電図による食品別の咀嚼回数 (筋電図による)

一元配置分散分析により、個人間に有意な相違が認められ、個人差の大きいことがわかった。加えて、右側咀嚼で咀嚼回数の多い人は自由咀嚼でも多い傾向にあった。

2. 咀嚼回数計数装置の積算数 (咀嚼回数) と筋電図の一致度の分析

Bland-Altman 法から得られた 2 つの計数値の差の平均値、95%一致限界（上限、下限）を食品ごとに検討した。ほとんどの記録で、咀嚼回数に比べて 95%一致限界が小さく、双方の計数の一致度は高かった。食品別に一致度の比較を行うと、95%一致限界の範囲が狭い食品を認めた。

1) 右側咀嚼について

右側咀嚼時では 2 つの計数値の差の平均値が多くの食品の場合にマイナスの値を示し、筋電図でのカウントよりも装置でカウントした時の方が咀嚼回数の計数が小さい結果になった。95%一致限界の範囲の大きさでは、じゃがりこ®、きゅうり、コアラのマーチ®、ガム、りんご、チップスター®、クッキーサンド、せんべいの順に大きくなった。

2) 自由咀嚼について

自由咀嚼時の 2 つの計数値の差の平均を右側咀嚼のものと比較すると、全体的に下方に偏移した。全被験食品の中でチップスター®のみ右側咀嚼時の 95%一致限界が下方に偏移した。

自由咀嚼時の 95%一致限界の範囲が自由咀嚼の方が右側咀嚼に比べて、より大きく広くなった食品は、りんご、ガム、クッキーサンド、きゅうりであった。

【結論】

本研究で、外耳道のひずみを利用した新しい咀嚼回数計数装置による咀嚼回数と筋電図により計数した咀嚼回数的一致度を調べると、以下に示す特徴が認められたものの、咀嚼回数に比べて 95%一致限界は小さく、新しい装置で咀嚼回数が計数できる可能性が示された。

1. 咀嚼回数には個人差を認めた。
2. 右側咀嚼と比べて自由咀嚼の方が差の平均値および 95%一致限界が下方に偏移した。
3. 右側咀嚼でも破砕性の食品は 95%一致限界の範囲が広がった。
4. りんごやガムでは、自由咀嚼の場合に 95%一致限界の範囲が広がった。

緒言

咀嚼とは、上下の歯で食物を噛んで小さくするだけでなく、顎や舌が巧みな運動を行い、唾液(あるいは水分)と小さくした食物を混和し、嚥下できる状態にすることである。つまり、食塊形成が咀嚼することの第 1 の意義といえる。嚥下直前の食塊が、「均一である」、「まとまりやすくバラバラしにくい」、「パサパサしていない」、「変形しやすく粘膜表面をすべりやすい」、「べたべたしない」などの特性をもつことが必要であることが示されている¹⁾。Alexander²⁾は、嚥下直前の食塊を回収して、食品の粒子のサイズから適切な食塊を形成するために、適切な咀嚼回数があることを提唱している。

また、咀嚼回数を多くして食事に時間をかけると肥満予防になると考えられる^{3,4)}。Smit ら⁵⁾が筋電図を記録して咀嚼行動をモニターしながら、一口量の食物を 35 回咀嚼した場合と 10 回咀嚼した場合で比較した。その結果、35 回にした場合、咀嚼リズムは速くなり、かつ「満腹」を感じるまでの食事時間は 2 倍になったにもかかわらず、食物摂取量は減少すること明らかにした。すなわち、一口量の咀嚼回数を増やすことによって、総摂取量の減少をもたらすことができた。そもそも、肥満症とは遺伝的要因やインスリン感受性低下などが含まれる代謝要因、ライフスタイルの変容、高エネルギー食品の摂取などの環境要因、過食、間食、早食いなどが原因となる行動要因、これらの 3 つの要因が重なると発症する⁶⁾。肥満症は生活習慣病と関連が強く、高血圧や糖尿病ひいては心筋梗塞のリスクが高まると示唆されている⁷⁾。このうち行動要因から考えると、咀嚼回数を増加させるように意識することで、エネルギー摂取量を少なくすることが可能であると考えられる。したがって、「咀嚼回数」を意識するために「咀嚼回数」を測定することにより行動変容に寄与することができれば、健康維持につながると考えられる。

しかし、「咀嚼回数」の計数は、ビデオ撮影を利用し計数する方法⁸⁾や、顔面に計測するためのセンサーを設置したり⁸⁻¹⁰⁾、筋電図から計数したりするなど¹¹⁾で決して容易ではない。

咀嚼運動を含めた下顎運動に関して、これまでに、顎関節内における下顎頭の運動について多くの報告がある¹²⁻¹⁹⁾。一方、解剖学的見地から見ると、下顎頭と外耳道の関係は非常に緊密で、指を外耳道に挿入して下顎を動かすと外耳道壁の軟組織を介して下顎頭の動きがよく触知できる。このことから、顎運動時に起こる外耳道のひずみを記録することができれば、下顎頭の動きを推定できると考えられる。事実、外耳道のひずみの波形と下顎頭運動を記録した研究²⁰⁾から、顎運動時に見られる外耳道のひずみは下顎頭運動により生じている可能性が高いことが示唆されている。側方運動時の平衡側の下顎頭は大きな運動を行うので、咀嚼時には、平衡側で、外耳道ひずみと下顎頭の動きとの相関が高いことも明らかにされている。しかし、下顎頭の動きは単純な開口など咀嚼運動以外でも起こるので、外耳道のひずみを計数するだけでは咀嚼回数とはいえない。しかし、咀嚼運動は、リズムカルな運動なので、そのリズムカルな運動のみを抽出することにより、より正確な計数を行える可能性がある²¹⁾。

本研究では、外耳道ひずみを一定のアルゴリズムを持って計数することで、より簡便かつ正確に咀嚼回数を測定できるかどうかを明らかにすることを目的とした。さらに、物性の異なる食品を咀嚼した時の計数の特徴を明らかにすることを目的とした。

実験材料および方法

本研究は松本歯科大学研究等倫理審査委員会の承認(許可番号 第 0242 号)を得て行った。

1. 被験者

成人男性 14 名 (27~55 歳、平均年齢 34.3±7 歳)を対象とし、研究の内容を理解し同意を得た者とした。第三大臼歯以外の歯の欠損を持つ者、顎口腔領域に疼痛や機能障害を持つ者を除外した。すべての被験者には自覚的な顎関節症の症状は認められなかった。

2. 被験食品

ガム1粒(粒ガム)は 20 秒間咀嚼し、その回数の計数を行った。以降の被験食品は咀嚼側の指示以外は、被験者が食品すべてを嚥下するまでに要した咀嚼回数を計数した。嚥下まで行った。被験食品はりんご1片(10g:りんご一個を約 1/16 等分に薄切り)、きゅうり1片(5g:輪切り)、チップスター®1 枚、コアラのマーチ®1 個、じゃがりこ® 1 本、クッキーサンド1 枚、せんべい1枚、とした。これらの食品を 1 回目は右側のみで咀嚼するように指示し、2 回目は咀嚼側を規定せず、自由に咀嚼してもらった。

被験食品毎の物性(破断に至る力、破砕性の高さ)を確認するために破砕性試験を行った。破砕性試験は万能試験機(INSTRON 社、ノーウッド、USA)にて行った(図 1)。上下顎第一大臼歯のメラミン歯を正常咬合で咬合するように位置づけし、被験食品を挟み、試験を行った。万能試験機は 6mm/min のスピードで上顎の第一大臼歯が下がっていき、破砕されるまでにかかる力と、被験食品の圧縮変位量を測定した。各食品に対して 3 回の測定を行った。

3. 咀嚼回数計数装置による計数方法

図 2 は装置のモニターの写真を示す。装置には1)外耳道内センサーで記録した外耳道ひずみが入力され、2)装置内のマイコンにて、2 秒をワンブロックとして、自己相関関数を算出し、3)咀嚼と判定したブロックに推定された咀嚼回数を計数し、積算することで咀嚼回数をカウントした。以下に各過程の詳細を記載する。

1) 外耳道ひずみの記録

外耳道内センサー(図 3)は、気圧計(ゲージ圧センサー、2SMPP-02、OMRON、京都)と耳栓を組み合わせ、密封状態になるように製作した。耳栓の部分は外耳道に入る部分は直径 8.85mm、長さは 24.5mm、厚さは 0.3mm のシリコン製の耳栓を製作した。左側外耳道に外耳道内センサーを挿入し、下顎頭運動時に起こる外耳道のひずみによって耳栓内腔の圧力の変化を記録した。

2) 自己相関関数の算出法

咀嚼以外の運動でも外耳道のひずみが生じるので、自己相関関数を用いて1つの波形の中に周期性があることを確認した。自己相関関数とは 1 つの波形の中に周期性があることを確認するために使われる。2 秒をワンブロックとして、それに対する自己相関関数の計算を行った。 τ はこれらの波形の時間的ずれを示す。 τ が -1 のときの自己相関関数の計算は、対応するポイントの値同士の積の総和で算出でき、その後 τ が 0 に近づくとともに計算に用いる波形は1ポイントずつ右にずれていく。このようにして、 τ が 1 のときまで連続的な自己相関関数値が算出でき、自己相関関数の波形が導かれる。自己相関関数では τ が 0 の時に値が最大となり値が 1 になる。また τ がピークとなるのは、その時のタウに相当する周期性を持った波形であることを示す(図 4)。

3) 咀嚼の判定と咀嚼回数の推定

咀嚼回数の計数は、自己相関関数で、一定のピーク(τ_{peak})が出現することで、まず、リズム性の有無を確認し、 τ_{peak} が -0.9~-0.4 の間に存在するときに咀嚼と判断し、 $1/\tau_{peak}$ を加算して行き 2 秒間に存在する咀嚼回数を推定した。

4. 筋電図記録からの咀嚼回数の計数方法

左側外耳道のひずみと同時に左右側咬筋筋電図を記録した。筋電図の記録にあたって、左右咬筋中央部に電極間距離 10mmとして脳波記録用皿電極を貼付し、額の正中に不感電極を貼付した。記録された筋電図の波形はアンプを介して増幅され、リアルタイムで AD 変換(サンプリングクロック:1000Hz)を行いパソコンの波形分析ソフトの spike2(CED、ケンブリッジ、UK)に送られた。

咬筋筋電図を整流・スムージング(時定数:0.1 秒)した波形から、各バーストのピークの数自動計測した。各バーストのピークは自動で計測するように波形分析ソフトの spike2 でプログラムを製作し、計数を行った(図 5)。ピークの高さは最大バーストの 10%を超えるものとし、前のピークから 0.4 秒以上後に見られるものを検出した。ただし、これらの値は、被験者、電極の位置等で異なることがあるので、その場合は適切に修正した。

5. 2 つの咀嚼回数の値の一致度の分析方法

筋電図による計数と咀嚼回数計数装置による計数は同時に行った。今回の分析では相関ではなく、二つの計数が一致するかが重要となる。このことより Bland-Altman 法で分析を行った。これは、一致度を調べる時に使用する分析方法である。

6. 統計

筋電図による咀嚼回数の個人差は一元配置分散分析により検定した。被験食品間での筋電図による咀嚼回数の相違の検定に、Wilcoxon の符号付き順位検定(Bonferroni の修正)を用いた。有意確率は 5%とした。

結果

1. 破砕性試験

図 7 は横軸に圧縮変位量を縦軸に力を表す。また、傾きと破断点(破断に至る力)を 3 回の試行の平均値で表す。破断に至るまでの変位が大きかった食品は、りんご、きゅうりであった。つまり、これらの食品は繊維性の高い食品と考えられる。

一方、その他の食品は破断に至るまでに変位量は少なく、破砕性高かった。そのうち、チップスター®、コアラのマーチ®は破断点が低かった。これらよりも破断点が大きな食品では、じゃがりこ®、クッキーサンド、せんべいの順に破断点が大きくなった。この 3 つの被験食品の破断に至るまでの圧縮変位量はクッキーサンド、じゃがりこ®、せんべいの順に小さかった。つまり、せんべいが最も硬く、破砕性が高い食品と考えられる。

ガムは破砕性を持たないので破砕性試験を行わなかった。常に一定の状態であり、咀嚼中に食塊形成を行わない食品と考えられる。

2. 筋電図による被験食品別の咀嚼回数

表 1 に 14 人の被験者における食品別の咀嚼回数を示す。一元配置分散分析により、個人間に有意な相違が認められ、個人差の大きいことがわかった。加えて、右側咀嚼で咀嚼回数の多い人は自由咀嚼でも多い傾向にあった。また、食品別の咀嚼回数を検討すると、右側咀嚼時にコアラのマーチ®がチップスター®以外の他の食品に比べて有意に少なかった。さらに、チップスター®はりんごおよびせんべいに比べて有意に少なかった。その他の食品間で有意な相違は認められなかった。自由咀嚼時には、りんごとコアラのマーチ®の間にのみ有意な相違が認められた。

3. 咀嚼回数計数装置と筋電図の一致度の分析

表 2 に、Bland-Altman 法から得られた差の平均値、一致限界(上限、下限)を食品ごとに示した。ほとんどの記録で、咀嚼回数に比べて 95%一致限界が小さく、双方の計数の一致度は高かった。2 つの計数値の差の平均と 95%一致限界の範囲の比較を行うと、95%一致限界の範囲が狭い食品を認めた。

1) 右側咀嚼について

右側咀嚼時では、多くの場合に差の平均値がマイナスの値を示し、筋電図でのカウントよりも咀嚼回数計数装置でカウントした時の方が小さいとの結果になった。しかし、差の平均値の絶対値は小さく、絶対値が1よりも大きい(下方移動が大きいもの)のは、コアラのマーチ®、チップスター®、せんべい咀嚼時であった。ガムは差の平均値がほぼ 0 に近かった。次に 95%一致限界の範囲の大きさは、じゃがりこ®、きゅうり、コアラのマーチ®、ガム、りんご、チップスター®、クッキーサンド、せんべいの順に大きくなった。

2) 自由咀嚼について

自由咀嚼時の 2 つの計数値の差の平均を右側咀嚼のものと比較すると、全体的に下方に偏移した。全被験食品の中でチップスター®のみ右側咀嚼時の 95%一致限界が下方に偏移した。自由咀嚼時の 95%一致限界の範囲は自由咀嚼の方が右側咀嚼に比べて、より大きく広がった食品は、りんご、ガム、クッキーサンド、きゅうりであった。逆に右側咀嚼の方の 95%一致限界の範囲が広がったのは、コアラのマーチ®とチップスター®であった。

考察

1. 咀嚼回数の計数について

1) 筋電図による計数

咀嚼運動を臼歯部で食品を咬断・臼磨する運動と捉えると、咀嚼筋活動が大きく出る運動と考えることができる。そのために、咬筋活動のバーストの数を計数する方法は現段階では、咀嚼回数をカウントする方法として正確性が高いと考えられる。しかし、前歯部で食品を咬断した時も筋活動は大きくなる場合があると考えられる。このような点を考慮すれば、必ずしも下顎頭運動から計数する装置とは一致しないと考えられるが、本研究では、咬筋活動のバースト数を咀嚼回数の基準とした。

2) 装置による計数

本研究では、新しく簡便な方法として、外耳道ひずみの波形から咀嚼回数を計数する装置を開発した。過去にも、下顎頭の動きを知るために外耳道の変形を記録したり、外耳道の変形から咀嚼回数をカウントしたりする試みが行われている^{22, 23)}。本装置の特徴は外耳道ひずみに下顎頭運動が反映されている点を利用したこと、自己相関関数を算出し、一定の間隔にピークが認められることを利用してリズム性を確認し、抽出する点にある。

外耳道のひずみと下顎頭運動を記録し、相互相関関数から二つの波形の相同性を調べると、下顎頭の前後的な動きと外耳道ひずみの波形に相同性が高いこと、さらに咀嚼運動時には平衡側下顎頭の動きが大きく、平衡側で外耳道のひずみとの相同性の高いことが明らかになっている²⁰⁾。また、作業側下顎頭の動きとの相同性も低いながらもあることが考えられる。本研究でも自由咀嚼で咀嚼回数のカウントができたことから、作業側の外耳道ひずみでも咀嚼回数がカウントできる可能性を示すことができた。ただし、後述するように食品により 2 つの計数値の差の平均や 95%一致限界の範囲が異なるので、咀嚼様式によっては咀嚼回数が正確に計数できない場合があると思われる。

下顎頭の動きから咀嚼運動を抽出するために、咀嚼運動のリズム性を利用した²¹⁾。健康成人での一般的な咀嚼リズムは約 1.5 Hz である²⁵⁾ので、自己相関関数で、1~2 Hz のリズム性を確認し、その波形を咀嚼運動とした。本研究では、このアルゴリズムで筋電図との一致

を認めカウントできたと判断したが、今後、児童や高齢者など、リズム性の異なる対象者の場合はアルゴリズムの変更も考慮に入れないといけないだろう。

2. 咀嚼様式について

1) 右側咀嚼について

本研究では、左側の外耳道にセンサーを挿入し、右側に規定して咀嚼してもらう試行を行った。この場合、外耳道ひずみの記録側は平衡側となるので、咀嚼運動中の下顎頭は、前後方向に動くことから、大きなひずみの波形が記録できることを想定し、装置による計数が正確になると考えて行った。しかし、結果から一致度の個人差が大きいことが明らかとなり、現在のセンサーでは外耳道の形状などの個人差で波形記録が出来ない対象者もいたと考えられる。さらに、咀嚼のリズム性が不規則な対象者もいたと考えられる。

2) 自由咀嚼について

自由咀嚼とした試行では、左右いずれで咀嚼をしたかを確かめることはできなかった。しかし、チップスター®を除くすべての食品で差の平均値が低くなった。このことは筋活動のある咀嚼運動をしているにもかかわらず装置では計数できなかったことを示す。この理由は二つ考えることができる。一つ目は外耳道ひずみの記録側を作業側とした咀嚼時に、下顎頭の動きが小さくて計数できなかったことが考えられる。二つ目は作業側を変更する際に、複雑な顎運動を行い、筋活動があるにも関わらず下顎頭の動きが小さかったり、リズム性のない運動が起こったりした可能性が考えられる。このようないくつかの要因が多くふくまれた被験者とそうでない被験者が居たために、多くの食品で 95% 一致限界の範囲が大きくなったと考えられる。

3. 被験食品間の相違について

まず、被験食品別に咀嚼回数を検討すると、コアラのマーチ®がチップスター®を除く他の食品に比べて有意に少なかった。これは、コアラのマーチ®が他の食品に比べて小さく一口サイズであったためと思われる。また、チップスター®が一部の食品(りんごおよびせんべい)に比べて有意に少なかったが、薄い素材でできているためだと考えられる。しかし、他の食品間では有意な相違は認められなかった。

咀嚼の目的は食塊形成である。また、食塊が必要とする物性の特徴は一定であり¹⁾、食品によりその物性に至るまでの過程は食品によりさまざまである。Hutchings と Lillford²⁴⁾は、嚥下に適した食塊にある程度の固さとぬれが必要でかつ、それに到達するまでの時間が必要であるとの概念を提唱している。即ち固いものは軟らかくするために時間を必要とし、乾燥したものは十分なぬれになるまでに時間を要するとしている。食品により食塊形成の過程が異なるので、咀嚼運動も異なる可能性が考えられる。したがって、本研究では繊維性の食品と破砕性の食品を用いて咀嚼回数計数に対する影響を調べることにした。破砕性試験から、りんごときゅうりは繊維性の食品で、その他は破砕性の食品であった。過去の研究で、2 タイプの食品の咀嚼後(嚥下前)の粒子サイズを調べ、破砕性のナッツは、より小さな粒子の量が多く、繊維性の野菜では大き目の粒子の量が多いことが明らかにされている^{25, 26)}。同様のことが本研究における破砕性および繊維性の食品においても、嚥下前には同様の粒子構成になっていると考えられる。つまり、破砕性のものは咀嚼中も細かい粒子が多く存在することが考えられる。

このような過去の研究で明らかになっている食塊の粒子サイズから、破砕性の食品と繊維性の食品について今回の結果を考察する。まず、咀嚼側が一定である右側咀嚼では破砕性の食品も繊維性の食品も、2 つの計数値の差の平均および 95% 一致限界の範囲は同等の値を示しており、両タイプの食品間で著しい相違は認められなかった。しかし、繊維性の食品の特徴として、2 つの計数値の差の平均が自由咀嚼により大きく低下している点が挙げられる。

このことは繊維性の食品の方が、粒子サイズが大きいので、自由咀嚼において、「前噛み」(前歯部での咬断)の出現が多くなったり、咀嚼側を変更する際に顎運動が複雑になりやすかったりしたためと考えられる。この結果、95%一致限界の範囲も自由咀嚼で大きく広がったと考えられる。破砕性の食品の中でも、コアラのマーチ®やチップスター®は薄い素材でできており、破断点が小さい食品として分類することができる。この2つの特徴としては、右側咀嚼と自由咀嚼で95%一致限界の範囲に大きな相違がみとめられなかったことである。粒子が容易に細くなるために、咀嚼中は定型な顎運動が続いたことが予想される。

破断点が大きい食品(じゃがりこ®、クッキーサンド、せんべい)は、破断時の大きな力を必要とし、十分に細くなるまではリズムが乱れやすいので、95%一致限界が大きくなっていると考えられる。ただし、じゃがりこ®は細長い形状をしているために、咀嚼側を規定した右側咀嚼では、臼歯部に持って行きやすい食べ方ができるので、右側咀嚼時に95%一致限界の範囲が小さくなったのだろう。

ガム咀嚼時には顎運動は定型のパターンを示すことが知られており、咀嚼運動研究の被験食品として使われる²⁷⁾。本研究結果からも右側咀嚼では、ガム咀嚼時が2つの計数値の差の平均が最も0に近く、定型な咀嚼運動を行ったことが伺える。しかし、自由咀嚼では、95%一致限界の範囲が大きくなった。このことは、自由咀嚼の場合にガムを噛んで食塊を形成しないので、前歯部や小臼歯部で噛む人が居た可能性があることを示す。

4. 今後の研究

本研究では、簡便に咀嚼回数を計数することができる可能性を示すことができたが、個人差があることや、咀嚼様式や食品の物性により計数に影響を及ぼすことが明らかとなった。今後、誰でも気軽に「咀嚼回数」が測定できるように、より簡便で正確性の高い装置の開発を行って行きたい。咀嚼回数の測定が可能になれば、「咀嚼回数」を意識し、「食べる」ことを意識することになると思われる。事実、フレッチャー氏の例のように「噛むこと」を意識することで、肥満から脱却し、健康な体を手にした例もある²⁸⁾。今後の研究で、多くの人々の健康維持に役立てたいと思う。

結論

本研究で、外耳道のひずみを利用した新しい咀嚼回数計数装置による咀嚼回数と筋電図により計数した咀嚼回数の一致度を調べると、以下に示す特徴が認められたものの、咀嚼回数に比べて95%一致限界は小さく、新しい装置で咀嚼回数が計数できる可能性が示された。

1. 咀嚼回数には個人差を認めた。
2. 右側咀嚼と比べて自由咀嚼の方が差の平均値および95%一致限界が下方に偏移した。
3. 右側咀嚼でも破砕性の食品は95%一致限界の範囲が広がった。
4. りんごやガムでは、自由咀嚼の場合に95%一致限界の範囲が広がった。

謝辞

稿を終わるにあたり、始終ご懇篤なご指導とご校閲を賜った本学松本歯科大学 大学院顎口腔機能制御学講座 増田裕次教授、ならびに統計解析に関してご指導ご助言をいただいた本学歯科薬理学講座 荒敏昭講師に深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

1. 藤島一郎. 摂食・嚥下のメカニズム(2004). 臨床栄養, 104: 241-245.
2. Alexander RM(1998) News of chews: the optimization of mastication. *Nature*, 391:329.
3. 日本肥満学会(2016)肥満症診療ガイドライン 2016、ライフサイエンス出版、東京.
4. 安藤雄一、深井稜博(2012) 歯科診療所における咀嚼指導の効果について、ヘルスサイエンス・ヘルスケア 12: 88-96.
5. Smit HJ, Kemsley EK, Tapp HS, Henry CJK (2011) Does prolonged chewing reduce food intake? Fletcherism revisited. *Appetite* 57: 295-298.
6. 吉松博信(2011)肥満症の行動療法. 日内会誌 100: 917-927.
7. Hiroshi Yatsuya, Hideaki Toyoshima (2010) Body mass index and risk of stroke and myocardial infarction in a relatively lean population. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 3: 498-505.
8. 安富和子、足立忠文、増田裕次(2011)学校給食における食行動の定量評価 ―主食の違いによる影響について―. 日咀嚼誌. 21: 31-39.
9. 小川匠, 重田優子, 安藤 栄里子, 平井 真也, 須摩 真由美, 福島 俊士(2004)光方式 6 自由度顎運動測定装置の臨床応用への試み. 顎機能誌 10: 166-168.
10. 石川輝明, 坂東永一, 薩摩登誉子, 重本修伺, 北村万里子, 中野雅徳, 重本貴穂, 郡元治(2005)光学方式と磁気方式による顎運動測定、顎機能誌 12: 52-53.
11. 猪子 芳美, 清水 公夫, 近藤 大輔, 西川 良彦, 渡邊 文彦(2013)健常若年者の米飯一回摂取量およびその倍量が咀嚼に及ぼす影響. 日咀嚼誌. 23: 17-23.
12. Farrar WB (1978) Characteristics of the condylar path in internal derangements of the TMJ. *J Prosthet Dent* 39: 319-323.
13. Van Willigen J (1979) The sagittal condylar movements of the clicking temporomandibular joint. *J Oral Rehabil* 6: 167-175.
14. Mauderli AP and Lundeen HC (1988) Condylar movement recordings for analyzing TMJ derangement. *J Craniomandib Disord*, 2: 119-127.
15. Yatabe M, Zijnenburg A, Megens CCJ and Naeije M (1995) The kinematic center: a reference for condylar movements. *J Dent Res* 74: 1644-1648.
16. Peck CC, Murray GM, Johnson CWL and Klineberg IJ (1997) The variability of condylar point pathways in open-close jaw movements. *J Prosthet Dent* 77: 394-404.
17. Yatabe M, Zijnenburg A, Megens CCEJ and Naeije M (1997) Movements of the mandibular condyle kinematic center during jaw opening and closing. *J Dent Res* 76: 714-719.

18. Morneburg T and Pröschel PA (1998) Differences between traces of adjacent condylar points and their impact on clinical evaluation of condyle motion. *Int J Prosthodont* 11: 317-324.
19. Peck CC, Murray GM, Johnson CWL and Klineberg IJ (1999) Trajectories of condylar points during working-side excursive movements of the mandible. *J Prosthet Dent* 81: 444-452.
20. 祁君容 (2015) 顎運動時に起こる外耳道のひずみと下顎頭運動の相関関係. 松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士学位論文.
21. 国内特許 咀嚼回数識別計数表示装置 特許第 5660556 号 2014 年 12 月 12 日登録 松本歯科大学(発明者:増田裕次) 特願 2014-137387、出願日 2014/7/3
22. Brenman HS, Mackwiak RC and Friedman MHF (1968) Condylar displacement recording an analog of mandibular movements. *J. Dent. Res.* 47 : 599-601.
23. 太田勝美 (1975) 口外記録法による顎関節顎頭運動の分析、口病誌、192 : 118-127.
24. Hutchings JB and Lillford PJ (1988) The perception of food texture –The philosophy of the breakdown path. *J Text Study* 19: 103-115.
25. Peyron MA, Mishellany A, Woda A (2004) Particle size distribution of food boluses after mastication of six natural foods. *J Dent Res.* 83: 578-582.
26. Prinz JF, Lucas PW (1997) An optimization model for mastication and swallowing in mammals. *Proc. R. Soci. London. B* 264 1715-1721
27. 志賀 博, 丸山 智章, 小見野 真梨恵, 中島 邦久, 植松 俊樹, 渡邊 篤士 (2014) 新たに開発した小型・軽量な下顎運動記録装置の有用性. *顎機能誌* 21: 21-27.
28. 市来英雄 (2008) フレッチャーさんの噛む健康法、医歯薬出版(株)、東京.

図の説明

表 1:

筋電図による右側咀嚼および自由咀嚼時の咀嚼回数

被験者毎、被験食品毎に示す。最下段に被験者 14 名の平均値と標準偏差を示す。

a: $p < 0.05$ りんご、きゅうり、せんべい、じゃがりこ®、クッキーサンドとの間に有意差を認めた

b: $p < 0.05$ りんご、せんべいとの間に有意差を認めた

c: $p < 0.05$ りんごとの間に有意差を認めた

表 2:

被験食品毎の右側咀嚼、自由咀嚼時の差の平均値と 95% 一致限界の範囲を示す。

図 1:

万能試験機

上下顎の第一大臼歯が正常咬合するように設定されている。

図 2:

咀嚼回数計数装置の表示画面

上の赤の波形が外耳道内センサーからの波形。

下の黄色の波形は自己相関関数を示し、その上の数字が積算した咀嚼回数である。

図 3:

外耳道内センサーセンサー

気圧計と耳栓を組み合わせで製作した。顎運動時に起こる外耳道のひずみによってセンサーの耳栓部も同時に圧力を受けてセンサー内の圧力が変化する。

図 4:

自己相関関数の算出方法

2 秒のデータ(サンプリングクロック 100Hz)を解析。

自己相関関数は 200 ポイント(2s)、オフセット 100 ポイント(1s)にて算出した。

図 5:

筋電図による咀嚼回数の算出方法

下の波形は左側咬筋の筋電図波形を整流・スムージング処理したもの。

上のラインはそのバーストのピーク数を示す。

図 6:

Bland-Altman 法での分析

図 A は縦軸を装置、横軸を筋電図の値で表した分布図で、原点を通る傾き45度のラインを引いている。このライン上の点が 2 つの変数が一致することを示す。

図 B では装置と筋電図の咀嚼回数の平均値と差を取り、縦軸に差、横軸は平均値で表した分布図を示す。赤の実線は差の平均値で、上下の点線はその平均値に、標準偏差かける 1.96 の値を増減したもの。この点線で囲まれた範囲は 95%一致限界と呼ばれる。これは差の値の 95%がこの範囲にあると考えられ、またこの範囲が広ければ広いほど、ばらつきがあるということになる。

図 7:

各食品の破砕性試験の結果

横軸に圧縮変位量 (mm) を縦軸に力 (N) を表す。

右側咀嚼	りんご	きゅうり	チップスター®	コアラのマーチ®	じゃがりこ®	クッキーサンド	せんべい	ガム
被験者1	48	41	23	17	24	26	33	29
被験者2	20	18	14	11	18	25	24	27
被験者3	37	29	24	24	37	29	29	30
被験者4	58	44	50	39	53	49	53	33
被験者5	39	29	23	25	27	31	37	26
被験者6	24	20	14	10	12	14	16	23
被験者7	28	27	26	19	26	32	32	34
被験者8	14	21	19	18	21	24	23	28
被験者9	39	27	20	14	20	22	30	32
被験者10	52	36	32	25	50	26	39	32
被験者11	32	37	24	21	24	24	32	-
被験者12	30	26	11	14	19	15	28	21
被験者13	25	16	17	11	13	20	21	28
被験者14	20	22	18	19	22	26	25	22
平均	33.3	28.1	22.5 ^b	19.1 ^a	26.1	25.9	30.1	28.1
標準偏差	12.9	8.6	9.6	7.7	12.4	8.4	9.1	4.2
自由咀嚼	りんご	きゅうり	チップスター®	コアラのマーチ®	じゃがりこ®	クッキーサンド	せんべい	ガム
被験者1	37	36	17	15	23	25	28	33
被験者2	37	20	17	12	24	14	17	28
被験者3	41	35	32	24	36	27	35	32
被験者4	73	39	45	28	37	62	49	33
被験者5	48	19	27	29	17	26	22	27
被験者6	21	21	12	11	12	15	14	23
被験者7	28	32	29	21	25	32	24	31
被験者8	15	15	16	13	19	26	18	31
被験者9	37	18	13	16	19	10	17	31
被験者10	43	38	32	20	46	24	34	29
被験者11	30	29	29	24	28	24	32	-
被験者12	11	12	13	7	7	22	7	13
被験者13	26	17	21	15	15	23	26	27
被験者14	16	14	10	11	15	10	9	18
平均	33.1	24.6	22.4	17.6 ^c	23.1	24.3	23.7	27.4
標準偏差	16.1	9.7	10.2	6.8	10.7	12.7	11.4	6.1

表 1

	右側咀嚼			自由咀嚼		
	差の平均値	上限、下限	一致限界	差の平均値	上限、下限	一致限界
りんご	-0.23	4.72 -5.18	9.89	-5.21	3.16 -13.57	16.73
きゅうり	-0.64	3.55 -4.82	8.36	-3.00	2.78 -8.78	11.57
チップスター®	-2.10	3.23 -7.43	10.67	-1.72	3.39 -6.83	10.22
コアラのマーチ®	-1.04	3.21 -5.30	8.51	-2.97	2.71 -5.76	8.47
じゃがりこ®	-0.93	2.13 -3.98	6.11	-1.37	3.72 -6.46	10.18
クッキーサンド	-0.61	4.93 -6.16	11.09	-3.04	4.15 -10.23	14.38
せんべい	-1.74	4.46 -7.93	12.39	-2.98	4.44 -10.40	14.84
ガム	0.11	4.93 -4.70	9.63	-3.80	3.94 -11.54	15.48

表 2



图 1

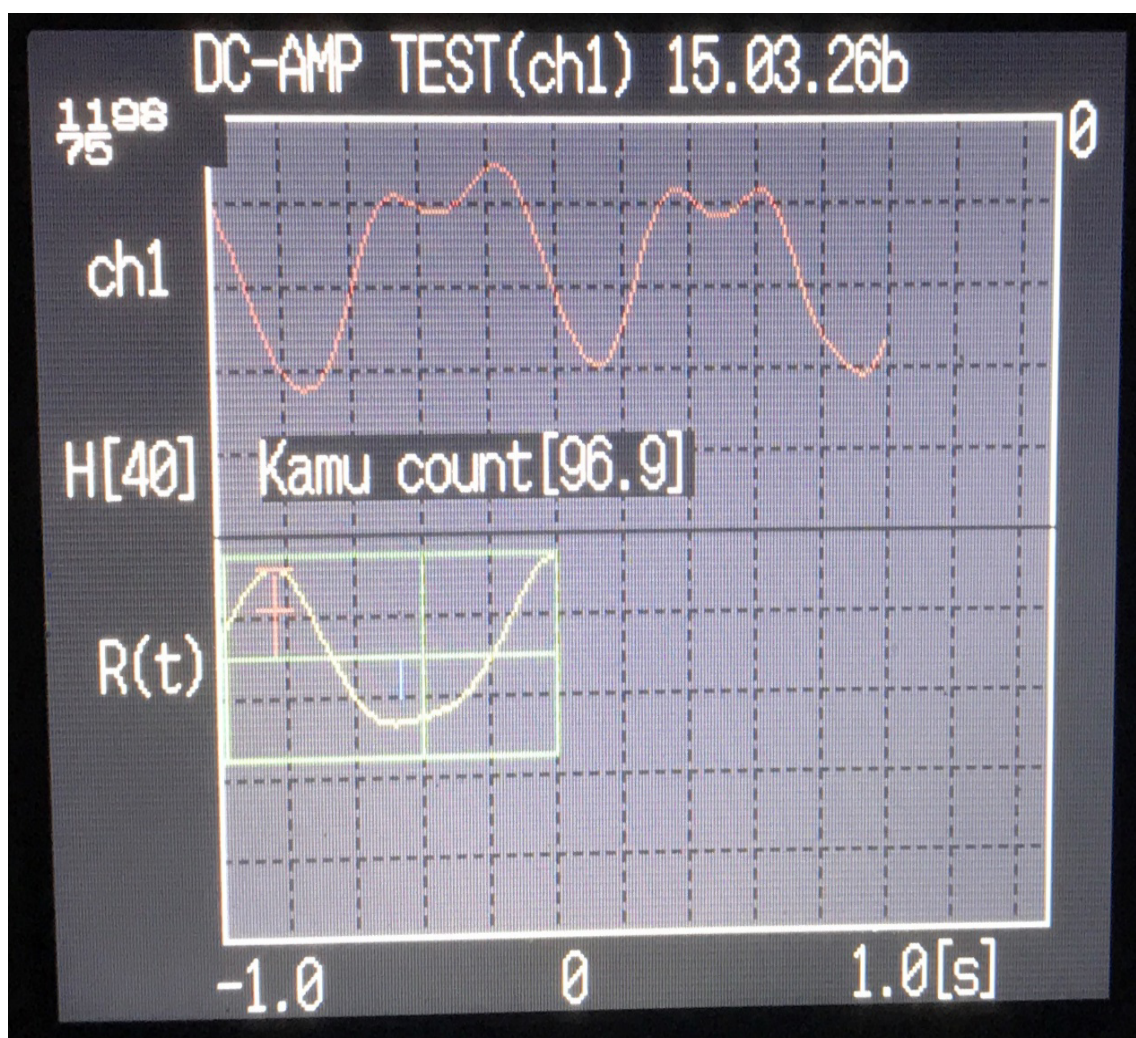


图 2



图 3

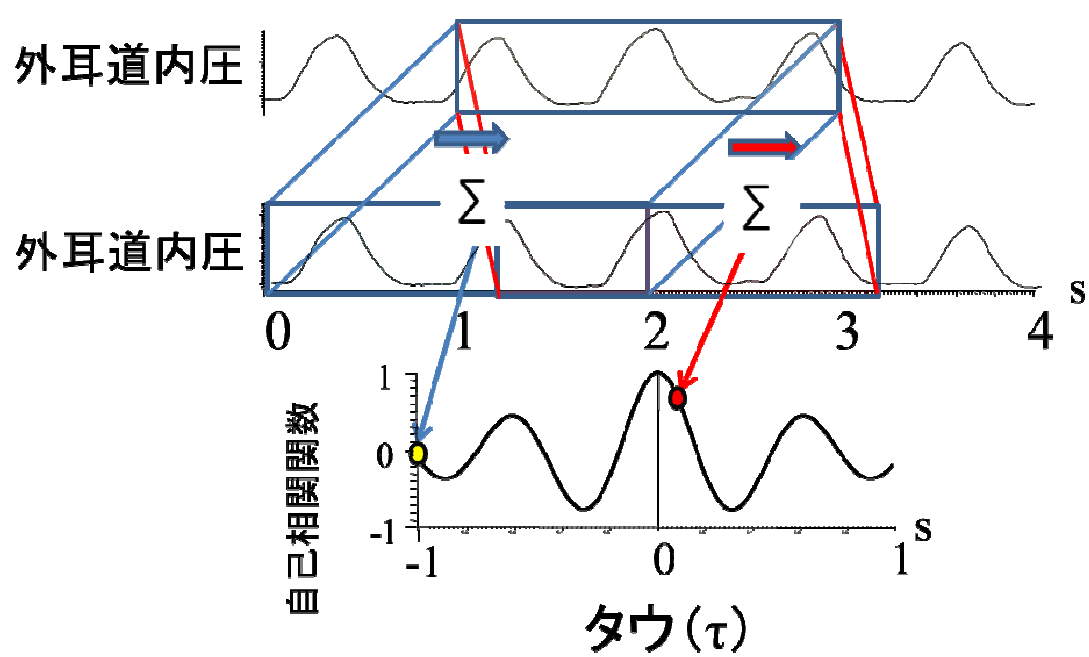
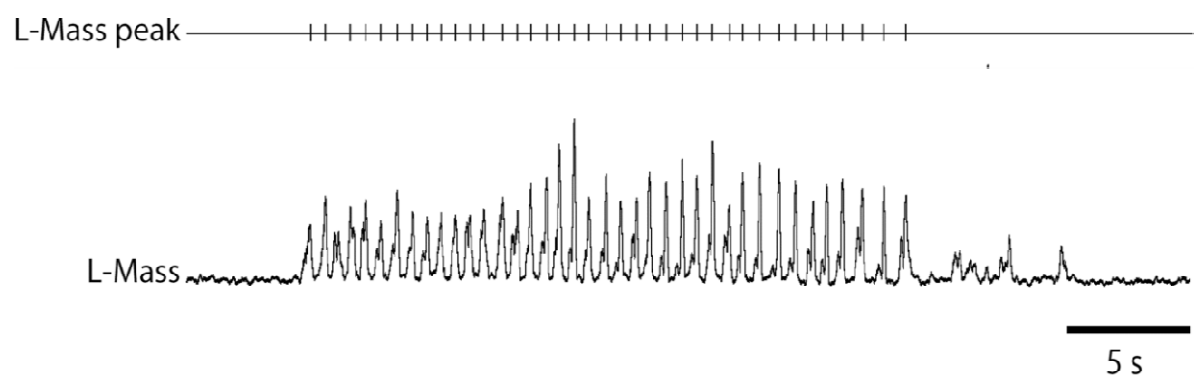


図 4



⊠ 5

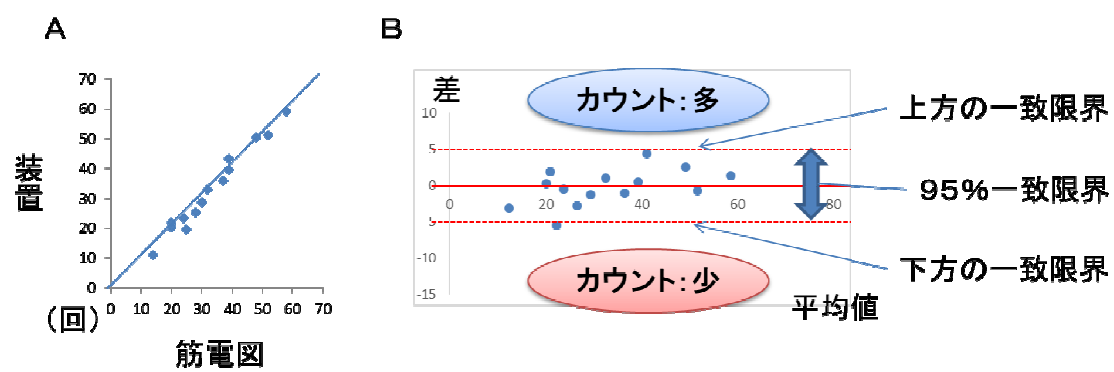


図 6

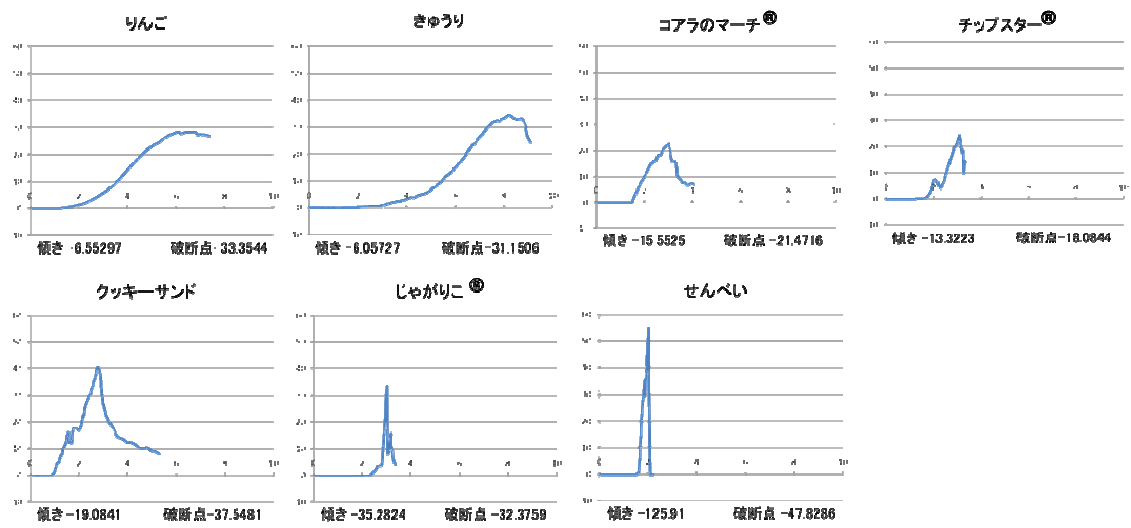


図 7