

[原著論文]

筋活動のパターンの解析法とデータ・リダクション法の妥当性について

蘆田一郎¹⁾、稲垣大悟²⁾、川上心也¹⁾、宮岡洋三¹⁾

キーワード：筋電図、パターン識別性、データ・リダクション、サンプリング定理

Evaluation of the Validity of Methods for Pattern Analysis of Muscle Activity
and for Data ReductionIchiro Ashida¹⁾, DAgr, Daigo Inagaki²⁾, DDS, Shin-ya Kawakami¹⁾, MAgr,
and Yozo Miyaoka¹⁾, PhD

Abstract

The present study evaluated the validity of methods for pattern analysis of muscle activity and for data reduction. An electromyogram (EMG) of the tongue muscle was recorded before, during, and after swallowing by surface electrodes either in the upright or in the supine position. The recorded analogue EMG signals were sampled (at 1.0 kHz) to convert to digital EMG signals, and the digital EMG signals only during swallowing were extracted mainly based on laryngeal movement. The number of data nodes consisting of the digital EMG signals was reduced to 2^i ($i = 1, 2, \dots, 8$) by a re-sampling method. Patterns of the digital EMG signals were analyzed and quantified using a T_P technique developed recently in which assigns percentiles of cumulative EMG signals to a standardized time scale. Two major findings were obtained in the present study. The first finding was that application of the T_P technique detected significant differences in T_P between the upright and supine positions, when the non-reduced (i.e., original) EMG signals were used to calculate. The second finding was that T_P calculated by the original EMG signals were consistent with those by the 2^6 reduced EMG signals in the both positions. The present findings suggest the validity of our analytical methods for pattern analysis of muscle activity and for data reduction.

Key words : electromyogram (EMG), pattern discriminability, data reduction, sampling theorem

要旨

本研究では、同一の被験食品を異なる二

体位（座位と仰臥位）で嚥下したときの舌筋筋活動を記録し、その活動パターンの T_P

-
- 1) 新潟医療福祉大学 医療技術学部 健康栄養学科
2) 新潟大学大学院 歯医学総合研究科 口腔生命科学専攻

蘆田一郎 新潟医療福祉大学 医療技術学部 健康栄養学科

[連絡先] 〒 950-3198 新潟市島見町 1398 番地
TEL・FAX : 025-257-4702
E-mail : asida@nuhw.ac.jp

法（筆者らが最近開発した解析手法）による解析の妥当性を調べた。また、本解析対象のような生体データのコンピュータによる記録に際し、高頻度のデジタル・サンプリングに伴うデータ・サイズの巨大化がしばしば問題となることから、リダクション・データに基づく解析の妥当性についても調べた。T_P法による解析の結果、原データを用いた場合に、座位と仰臥位における舌筋活動パターンの差違を識別できた。また、データ・サイズが原データの2⁶となる強いリサンプリングを施したリダクション・データを用いても、T_P法のパターン識別能は損なわれなかった。すなわち、本T_P法による筋活動パターンの解析および解析対象のデータ・リダクションの妥当性が示唆された。

I 目的

近年、生体现象の記録においてもアナログ・データからデジタル・データへの移行が急速に進んでおり、コンピュータを用いたデータ解析を容易におこなうことができる。しかし、高周波成分を含むデータのデジタル化に際しては、サンプリング速度を高く設定して復元性を確保する必要がある（サンプリング定理¹⁾）、しばしばデータ・サイズが膨大になるという欠点もある。そのような場合でも、解析方法によっては、サンプリングされたデータ点（以下、データ・ノード）の全てが必要になるとは限らない。これまで著者らが調べてきた嚥下時に活動する筋（以下、嚥下関連筋）は、特徴として、短期間（長くとも数秒間）に一つないし少数の周期をもつ筋電位を生じる。このようなデータのパターン解析に際しては、リサンプリング（原データから一定間隔でデータ・ノードを再抽出する操作）によるデータ・サイズのリダクションが可能と考えられる。適切にリダクションされたデータを用いれ

ば、解析時の演算容量や演算時間、転送時の負荷、保管時の容量などを低減するというメリットがある。一方、食品の温度や味が嚥下運動に及ぼす影響を代表的な嚥下関連筋である舌骨上筋群で調べた結果、これらの食品属性は嚥下の期間や同筋群の活動量を変えなかった²⁾。その後、筋活動のパターンを解析できる手法（以下、T_P法）を開発し、嚥下時の舌骨上筋群活動を対象として調べた結果、同筋群の活動パターンは食品の味によって異なると分かった³⁾。本研究では、同一被験食を二種類の体位条件（座位および仰臥位）で嚥下した場合の舌筋活動パターンをT_P法によって解析する。このとき、リダクション強度を変えたりサンプリングをおこなって、リダクション強度に伴うT_P値の変化を調べる。本研究の目的は、1) 筋活動パターンのT_P法による解析の妥当性を検討する、2) 筋活動パターンの識別性を損なわないリダクション強度を探り、リダクション・データによる解析の妥当性を検討する、の2点にあった。

II 方法

1 データ採取

1) 被験者、材料、記録法

本研究には、実験の目的、手法、安全性などの説明に同意した咀嚼・嚥下機能に異常のない若年成人9名（男性6名、女性3名、年齢21～30歳）が被験者として参加した。

被験食品として、増粘剤「ムースアップ[®]（日清サイエンス株式会社）」を100 mlの蒸留水に6 g溶解させた被験食品（無味・無臭）を用いた。被験食品は、1.0 gを無針のシリンジに充填し、口腔温近傍の35℃にて保存した。

舌筋の活動シグナルは、舌前部に貼付した小型電極⁴⁾を介し、生体アンプで増幅した。増幅筋電図の波形のサンプリング速度は1.0 kHzとし、デジタル・フィルタによ

るノイズ除去 (10 ~ 500 Hz の帯域通過) 後、PowerLab[®] Chart[®] v.5.2 ソフトウェア (ADInstruments) を用いて保存した。なお、1.0 kHz のサンプリング速度では、1.0 s の記録時間中に 1,000 データ・ノードがサンプリングされる。

2) 手続き

本研究では、被験者の体幹角度を容易に変更できる歯科用ユニットを使用した。最初に、筋電図記録用の表面電極を貼付し、被験者を歯科用ユニットに着席させた。電極の貼付位置は、舌の先端から 20 mm 後方の舌表面に、正中線を中心にして左右対称とし、電極間距離を 10 mm とした。次に、歯科用ユニットを操作して体幹角度を鉛直 (以下、座位) もしくは水平 (以下、仰臥位) に設定した。このとき、被験者の頭部の拘束具による固定はおこなわなかったが、後頭部とヘッド・レストが密着するように注意した。続いて、被験者に開口を指示し、シリンジに保存した被験食品を全量 (1.0 g) 口腔底へ注入した。注入後は被験者に閉口、安静を指示した。ここで、被験者に発光による合図を送り、咀嚼なしの嚥下をおこなわせた。各試行の後、水道水によって口腔内を洗浄させ、体位を変えて次の試行をおこなった。試行間には 10 分程度の休憩時間を設けた。各被験者は「座位」と「仰臥位」について 1 回ずつ試行したので、18 セット (2 体位 × 9 被験者) のデータが得られた。

2 データ解析

本研究では、喉頭運動および嚥下関連筋活動から特定された「嚥下時」に生じる一連の舌筋活動のバーストを「嚥下時舌筋活動」として扱った。

1) 原データとリダクション・データ

Chart[®] に記録された波形データは、

Microsoft[®] Excel[®] にエクスポートし、データ区間 (嚥下時舌筋活動期間) を抽出した (原データ)。リダクション・データは、原データからリサンプリングをおこなって作成した。このとき、原データの連続する 2^i データ・ノードにおける先頭の 1 データ・ノードをリサンプリングした。したがって、リダクション・データの長さは原データの 2^{-i} 倍 (すなわち、1/2, 1/4, ..., 1/256) となる。データ・リダクションの演算は、Excel[®] VBA[®] を利用して作成したマクロによっておこなった。

リダクション・データの原データからの一致度を評価する指標として、本研究では、積分筋電位の二波形が成す面積を利用した。すなわち、1) 各データ・セットの積分筋電位を計算して (時定数、0.03 s)、2) ビットマップ上に積分-原データと積分-リダクション・データのデータ・ノードをプロットし、3) 連続する 2 ノード間を線で分て補間した上で、4) 両波形が囲む空間を塗りつぶし、5) フォトレタッチ・ソフトウェアの「ヒストグラム」機能を使って画素数を計測した。

2) T_P 値の演算および検定

筋電位パターンの定量化には、原データもしくはリダクション・データから算出した T_P 値³⁾を用いた。 T_P 値 (T_{10} , T_{20} , ..., T_{100}) は、累積筋電位の最終値に占める割合が 10, 20, ..., 100% に達するのに要する相対秒 (relative second; rs) を表す。 T_P 法は、波形パターンを T_{10} から T_{100} までの 10 個の数値に要約する手法なので、演算には少なくとも 10 データ・ノードが必要である。リダクション強度によっては、データ・ノード数が 10 以下となって計算できない場合があった (Ⅲ. 2 を参照)。

筋活動パターンの体位間 (座位、仰臥位) およびデータ・セット間 (原データ、

リダクション・データ) の差の検定には Friedman 法を用い、水準(累積筋電位のパーセンタイル) ごとの対比較もおこなった。ノン・パラメトリックな手法を用いた理由は、1) T_P は初期値 ($P = 0$) が 0.0 rs、最終値 ($P = 100$) が 1.0 rs と両端が閉じており、2) T_P 値は累積値であり、 T_{P+10} 値には T_P 値が含まれる(すなわち、水準間が従属関係にある) ためである。

III 結果

1 体位による舌筋活動パターンの差異

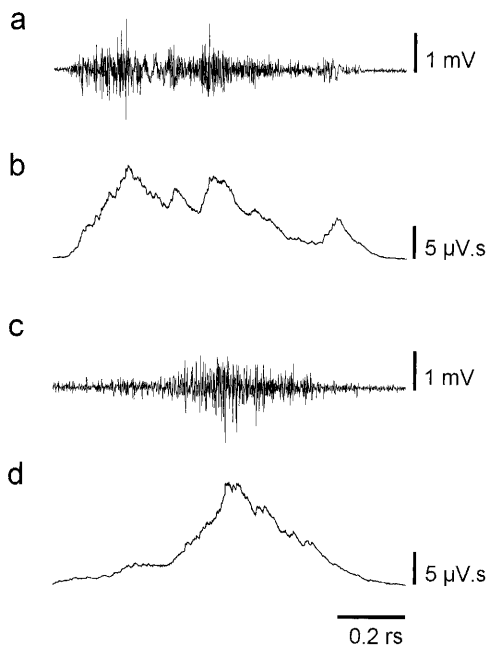


図1 体位による嚥下時舌筋活動パターンの差違

上下の2トレースは、座位と仰臥位における舌筋筋電図の原波形(aとc)と積分波形(bとd)をそれぞれ示す。いずれの時間軸も基準化してある(詳細は本文を参照)。

図1は、体位による嚥下時舌筋活動パターンの差違を示す例である。上下の2トレースは、座位と仰臥位における舌筋筋電図(aとc)と積分筋電図(bとd)をそれぞれ示す。座位における活動期間は2.7 s、仰臥位では2.0 sであった。いずれの時間軸も基準

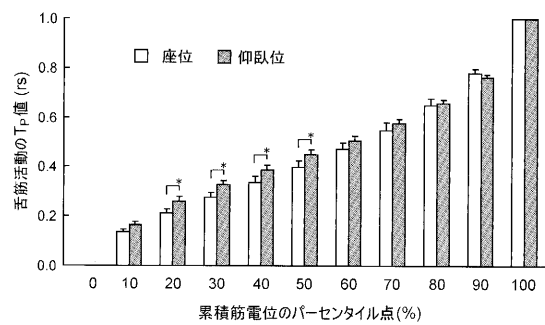


図2 嚥下時体位による T_P 値の比較

累積筋電位の最終値に占める割合が10, 20, ..., 100% に達するのに要する相対秒(rs)の平均値および標準誤差を示す(詳細は本文を参照)。

化してあるため、図では活動期間は同一となっている。図にある通り、同一の食品を嚥下した場合でも、記録される舌筋活動のパターンは大きく異なった。すなわち、座位では嚥下咽頭相初期に相当する期間に筋活動量が多く(図1 aとb)、逆に仰臥位では同期間に筋活動量が少なかった(図1 cとd)。図2には、座位および仰臥位における平均 T_P 値 ($P = 0, 10, \dots, 100; N = 9$) とその標準誤差(誤差線)を示す。例えば、累積筋電位が50%に達するのに要した時間 T_{50} は、座位の場合で平均0.40 rsであり、仰臥位の場合では平均0.45 rsであった。Friedman 検定の結果、座位と仰臥位の T_P 値間には有意な差があった ($P < 0.05$)。とりわけ、 T_{50} までの早い段階において、座位の平均 T_P 値は仰臥位より小さかった。

2 データ・リダクションの影響

図3 Aは、舌筋の積分筋電図波形に及ぼすデータ・リダクションの影響を示す例である。aからdはリダクション・データ(順に、 $2^{-1}, 2^{-4}, 2^{-6}, 2^{-8}$)をプロットを示す(煩雑を避けるため、ここに挙げた以外のリダクション強度については掲載しなかった)。図3 Bは、原データとリダクション・データから算出した積分波形が囲む領域の面積(単位、 10^3 画素)の例である。リダクション強

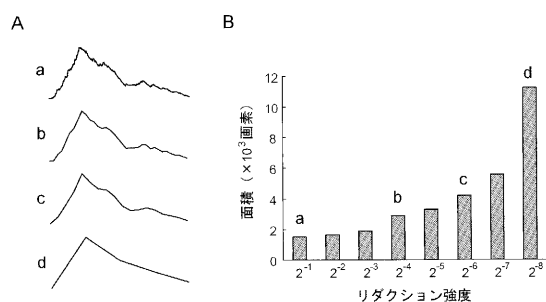


図3 データ・リダクション強度と舌筋の積分筋電図波形との関係

A: データ・リダクションの強度が 2^{-1} (a), 2^{-4} (b), 2^{-6} (c), 2^{-8} (d) のときの積分筋電図波形を示す。B: 2^{-1} から 2^{-8} のリダクション・データ強度における積分原波形と積分リダクション波形が囲む領域の面積 (単位、 10^3 画素) の変化を示す。a から d は、それぞれ A の a から d に対応する。

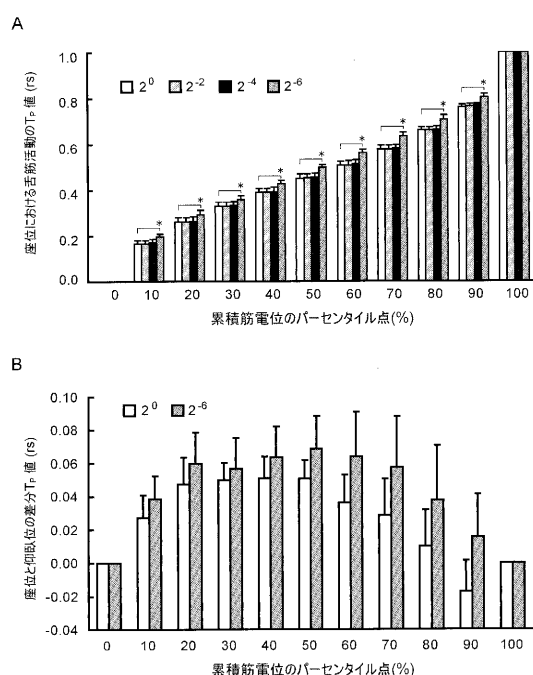


図4 データ・リダクションがTp値に及ぼす影響

A: 座位における嚥下時の舌筋活動を用いた原データ (2^0) とリダクション・データ (2^{-2} , 2^{-4} , 2^{-6}) における平均Tp値および標準誤差を示す (表示されていないリダクション・データに関する詳細は本文を参照)。仰臥位に関する図は省略した (詳細は本文を参照)。B: 原データ (2^0) とリダクション・データ (2^{-6}) に基づく座位と仰臥位間の平均差分Tp値と標準誤差を示す。

度に伴い、原波形からの解離は大きくなっ

たが (B)、筋活動パターンに大きな変化は認めにくい(A)。図4Aには、座位について、データ・リダクション強度の増加に伴う平均Tp値 ($P = 0, 10, \dots, 100$; $N = 9$) の変化を示す。ただし、 2^{-1} , 2^{-3} , 2^{-5} のケースについては、簡潔のために掲載しなかった。また、リダクション強度が 2^{-7} を超えるケースでは、18データ・セット中8データにおいてデータ長が10ノード未満となり、Tp値が計算できなかった (II. 2を参照)。Friedman検定の結果、 2^{-6} リダクション・データによるTp値は原データとの間に有意差が認められた ($P < 0.05$)。なお、仰臥位についても、図4Aと同様の結果であった。図4Bは、原データと 2^{-6} リダクション・データに基づく座位および仰臥位のTp値間の差分を示す。Friedman検定の結果、差分Tp値について、原データと 2^{-6} リダクション・データ間に有意差はなかった。

IV 考察

本研究から、2つの主要な成果が得られた。すなわち、1) Tp法により、嚥下時の舌筋活動パターンの体位間差違が検出された (図2)、2) 舌筋活動パターンの体位間差違の検出に当り、 2^{-6} までのリダクション・データを施しても、原データの結果と同一であった (図4)。以下に、それぞれの知見が示す筋活動パターンの解析法およびデータ・リダクション法の妥当性について考察する。

1 Tp法による解析の妥当性

同一食品の嚥下による舌筋活動は、被験者の体位によってパターンが異なった (図1)。骨への付着がない内舌筋は、体位の変化に伴って自重による形状や位置の変化が容易におこる⁵⁾。図1にある嚥下時における舌筋活動パターンの差違は、体位による舌の形態的变化によって生じたと推察される。

しかし、嚥下時の舌筋活動パターンは被験者間で大きく異なるため⁶⁾、これまでその差の定量的な扱いは困難であった。最近、筆者らは、筋活動量の累積値に基準化した時間を割当てする方法 - T_P 法 - を開発した³⁾。 T_P 法によれば、体位間や個体間における嚥下期間 (単位、s) や筋電位 (mV) のバラツキを均一化し、パターンのみでの比較が可能となる。実際、本データに T_P 法を適用した結果、 T_P 値間には有意な差がみられた (図 2)。また、とくに T_{50} までの早期における座位の T_P 値は、仰臥位の場合よりも小さく、これは図 1a にみられる筋電位のパターン (早期に活動量が多い) を反映する。これより、 T_P 法による筋活動パターンの識別は有効と言える。

2 データ・リダクションの妥当性

本 T_P 法の筋活動パターン識別能は、強いリダクションをかけたデータにおいても変わらなかった (図 4B)。図 3 に示したように、データ・リダクションの強度に伴い、原データおよびリダクション・データの積分波形間の解離は大きくなり (A)、両データ・プロットが囲む領域の面積は増大した (B)。実際、各リダクション・データを用いて T_P 値を算出すると、 2^{-6} (= 1/64) データの場合に差が認められた (図 4A)。しかし、いずれのデータによる計算結果でも、二体位間の差分 T_P に違いは認められなかった (図 4B)。これより、 T_P 法のデータ・リダクションに対する頑強性が示唆される。

今回取り上げた嚥下時の舌筋活動は、特徴として、一回の嚥下につき原則として一つの筋活動バーストが生じる (図 1)。このような特徴をもつデータについて、今回は単純な 2^{-4} 倍リサンプリング様式によるデータ・リダクションをおこない、良好に機能した (図 4B)。一方、一回の運動によって複数の筋活動バーストが生じ、結果的に多

くの局所的頂点をもつデータ (例えば、咀嚼期間中の咬筋活動) を取り扱う場合には、リサンプリング・ポイント間に存在する局所的頂点の損失を避ける必要がある。本法の適用性の向上を図るため、サンプリング定理¹⁾ に基づくリサンプリングが有効と考えられるが、これについては、今後の報告において論じる予定である。

以上より、筋活動パターンの解析に際し、今回報告した解析法およびデータ・リダクション法の妥当性が示唆された。

文献

- 1) Nyquist H: Certain topics in telegraph transmission theory, Quarterly transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 47 : pp617-644, 1928.
- 2) Miyaoka Y., Haishima K., Takagi M., et al. : Influences of thermal and gustatory characteristics on sensory and motor aspects of swallowing, Dysphagia : 2005, In press.
- 3) Miyaoka Y., Ashida I., Inagaki D., et al. : Differentiation of activity patterns in the suprahyoid muscles during swallowing of foods with five taste qualities, Journal of Sensory Studies : 2005, In press.
- 4) Yoshida K., Takada K., Adachi S., et al. : EMG approach to assessing tongue activity using miniature surface electrodes, Journal of Dental Research, 61 (10) : pp1148-1152, 1982.
- 5) Ingman T., Nieminen T., Hurmerinta K. : Cephalometric comparison of pharyngeal changes in subjects with upper airway resistance syndrome or obstructive sleep apnoea in upright and supine positions, European Journal of Orthodontics, 26 : pp321-326, 2004.
- 6) Tasko S.M., Kent R.D., Westbury

J.R. : Variability in tongue movement kinematics during normal liquid swallowing, *Dysphagia*, 17 (2):pp126-138, 2002.