累積積分筋電図のリセット回数計測装置について

岡根 秀明 吉田耕一郎 津島 隆司

長沢 亨 津留 宏道

A new Electrical Device for Integrated EMG Measurement

Hideaki Okane, Koichiro Yoshida, Takashi Tsushima,

Tooru Nagasawa, Hiromichi Tsuru

緒 言

筋電図積分値は筋活動を定量的に分析するうえにきわめて有用である。積分値を得るには各種の方法があるが、原波形を累積積分計に通し、リセット回数を計測する方法¹⁻⁹⁾が、現在のところ、測定精度および再現性の点で優れている。

累積積分計の測定精度は、積分感度を高くし、リセット回数を多くすればそれだけ向上するが、逆にリセット回数の計測に多大の時間と労力を要することになる。

そこで、われわれは積分計の精度を損うことなく、多数のリセット回数を自動的に計測する装置を開発し、迅速に積分値を求めることを可能にした。本論文では装置の概要について報告する。

装 置

図1は装置の全貌である。前面パネルの(1)はパワースイッチである。(2)は3セグメントの表示器で、カウントしたリセット回数をデジタル表示する。(3)は2セグメントの表示器で、カウントすべきパースト波の数(咀嚼ストローク数)を(4)のキーボードによってプリセットするとここに表示される。最大プリセット数は99である。(4)のクリアボタンによってプリセットを解除できる。(5)はリセットスイッチで、(2)の表示をクリアする。

(6)は start/stop スイッチである。これを押した時点からカウントが開始され、もう一度これを押せばカウントが停止する。計測すべきストローク数をプリセットした場合には、所定のストローク数に達すると自動的にカウントは停止する。上面パネルの(7)は筋電図原波形の input, (8)はその output である。(9)は筋電図積分波形の input, (10)は gate out である。(11)はトリガー信号の onset, offset 識別レベル調節ツマミ, (12)はパルス化した EMG 原波形の各パルスのインターバル識別装置で、これらによって EMG 原波形をトリガー信号に変換する(後述)。(13)はトリガー信号の ON-OFF スイッチである。

作動内容

食品咀嚼時の咀嚼筋表面筋電図は干渉波形のバースト波として記録される。このバースト波の持続部分のみを測定対象とするためには、バースト波の onset と offset を識別するためのトリガー信号が必要になる。本装置で

図1 装置の全貌

図 2 装置のブロック図

図 4 1 個のバースト波が 1 個のトリガー信号に変換される様式を示す模式図。

(A) 原波形, (B) 全波整流波形, (C) パルス波形, (D) マスキング波形 (トリガー信号)

は積分する前の原波形をトリガー信号として用いた。図 2 は本装置のブロック図である。筋電図原波形とその累積積分波形を本装置に平行に入力する。原波形を全波整流し、後述のトリガー回路によって図 3 に示すように 1 個のバーストに対し 1 個のトリガー信号を発生させる。このトリガー信号によって積分波形をコンパレートし、バースト波の持続に相当する部分のみ、リセット回数をカウントする。プリセットされたバースト波の数だけリセット回数を積算して、表示器にリセット総数が表示される。

カウンターにはテキサスインスツルメント社製の 10 進カウンターを用いた。リセット回数のカウンターとし

図 3 原波形を全波整流しトリガー信号に変換する。トリガー信号が ON の部分に相当する積分波形のリセット回数をカウントする。

(A) 全波整流された原波形, (B) トリガー信号, (C) 積分波形

て SN 7490 型、プリセット数のカウンターとして 74 LS 192 型を用いた。リセット回数はアップカウント、プリセット数はダウンカウントされる。いずれもセグメントドライバおよび表示器を組み合わせ、デジタル回路を構成した。

トリガー回路について

図 4 はトリガー信号の作り方を模式的に示したものである。(A) は本装置に入力された EMG 原波形の 1 個のバーストを示す。これを全波整流したものが (B) に示す波形である。咀嚼筋表面筋電図では、バーストの間隔の部分にも、通常、数 $10 \mu V$ 程度の放電が認められる。そこで、これよりわずかに高い電位に threshold level を設定する。これは図 1 の (11) のつまみで $0 \sim 100 \mu V$ の間に任意に設定できる。設定 level を越えた波形をパルス化したものが (C) の波形である。このパルス波形をマスキング回路に通し、(D) に示す 1 個のトリガー信号を得る。すなわち、(D) のトリガー信号は (C) のパルス波の間隔が $t \text{ msec}$ 以下の場合、1 つのパルスとしてマスキングしたことを示す。この時間 t の設定は、あらかじめ図 1 の (12) によって行う。マスキングの時間設定は 30 msec, 40 msec, 50 msec, 60 msec の 4 段階である。以上のような原理によって、入力された筋電図原波形は、そのバースト波の数と同数のトリガー信号に変換され、これに

図 5 定常波の積分波形

(A) は積分感度が高い場合、(B) は積分感度を (A) の 1/10 にした場合を示す。

よって図 3 の下段に示す積分波形をコンパレートし、バースト波の持続に相当する部分のリセット回数がカウントされる。

考 察

筋の活動量を定量化するために積分筋電図が用いられる。積分値を得る方法としては (1) 平滑回路を用いる方法^{1,6-8)}、(2) 累積積分計を用いる方法¹⁻⁵⁾、(3) 電解質中のイオンの移動量によって測定する方法⁹⁾、(4) コンピュータを用いて原波形を A-D 変換し、棘波の面積を測定する方法¹⁰⁾、(5) コンピュータを用いてフーリエ変換し、エネルギー値として表示する方法¹¹⁾、(6) 2 筋の筋電図を同時に平滑回路に通し、ベクトル筋電図として表示する方法¹²⁾、その他各種の方法が発表されている。これらの中で (2) の方法は筋の放電量を直接測定するもので、他の方法に比べ (1) 精度および再現性が優れている、(2) 市販の累積積分計も多種あり、それ以外に特殊な装置は不要である、(3) 計測法自体はリセット回数を数えるという単純なものであり、測定が容易である等の利点を有し、応用価値が高い。しかしながら、食品咀嚼の場合には多数のストロークについてリセット回数を数えなければならない、多大の時間と労力を要するという欠点があった。こ

図 6 (B) は積分感度を (A) の 10 倍にした場合を示す。

の点を解決すれば、累積積分計の応用価値がさらに高まるものと考え、本装置を開発した。

本装置は主に食品咀嚼時のバースト波の積分値を計測することを目的としているが、もちろん、咬みしめ時のように定常波を積分する場合にも用いることができる。図 5 の (A) に示すように測定したい時点で start/stop スイッチ (図 1 の 6) を押し、所定の時間の後、再びこのスイッチを押せば、その間のリセット回数が表示される。タイマーを併用すればより正確な測定が可能であろう。しかし、定常波の場合は図 5 の (B) のように、積分感度を低くし、 h/h_0 を計算することでも積分値を容易に得ることはできよう。

これに対し、食品咀嚼時のバースト波の場合、以下のような困難性がある。(1) 1 個のバースト波の放電量が少なく、しかも多数のバースト波を測定しなければならない。(2) バースト波の持続部分のみを測定対象とすべきである。

(1) について

1 個のバースト波当たりの放電量が少ないため、積分感度を高くする必要がある。図 6 の (A) のように感度が低い場合、リセット回数を数えれば 2 となるが、正確に測定するためには $(h_1 + h_2)/h_0$ を計算しなければならず、正しい値である 1.2 と比較するとかなり誤差が大きくなる。しかし、食品咀嚼時の積分値を求める場合、通常、咀嚼中期 20 ストロークを対象とし、場合によっては咀嚼開始から嚥下直前までの全ストロークを測定する必要が生じる。われわれの過去^{2,3,5)}の報告のように、被験筋が複数でしかも実験条件が多数の場合、測定対象とすべきバースト波の数は 5,000~20,000 以上に及ぶ。このような場合に、図 6 の (A) のように 1 個のバーストについて $(h_1 + h_2)/h_0$ を計算するのは容易なことではない。図 6 の (B) は積分感度を (A) の 10 倍にしたものである。こうすればリセット回数を数えるだけで測定精度は 10 倍

図 7 平滑回路を用いてトリガー信号を発生させると原波形の onset, offset とトリガー信号の onset, offset に delay が生じる。

(A) 原波形, (B) 全波整流波形, (C) 平滑波形 (mean voltage 波形) (D) トリガー信号, (E) 積分波形

に高まるわけである。さらに感度を高め、リセット回数を多くすればそれだけ測定精度が高まるが、単純にリセット回数を数えるだけでも、多大の時間と労力を要することになる。そこで本装置のような自動計測装置が必要になる。

(2) について

食品咀嚼時の筋電図では、バースト波の間隔の部分にもわずかな放電が認められ、この部分でも積分計の電位が累積される。咀嚼筋活動を正確に評価するためには、間隔の部分は測定対象とせず、バーストの持続部分のみの積分値を求めるべきである。そのためにはバースト波の onset, offset を識別し、トリガー信号を発生させ、これによって積分波形をコンパレートする回路が必要である。当初は図 7 に示すように、平滑回路を用いる方法を考案した。すなわち EMG 原波形 (A) を全波整流 (B) し、平滑回路を通して mean voltage 波形 (C) にする、破線で示す threshold level を定め、onset, offset を識別し、トリガー信号 (D) に変換する。このトリガー信号によって積分波形 (E) の計測部を決定するわけである。このように平滑回路を用いると threshold level を設定するだけで onset, offset を識別できる利点があるが、平滑回路の time constant がかかるため、トリガー信号の onset, offset に delay (図 7 の t) が生じる。このため、リセット回数をカウントする部位がずれ、正確な測定値が得られなかった。そこで本装置では全波整流した波形 (図 7 の B) をコンパレータによって直ちにパルス波に変換する方法を用いた、平滑回路を用いないため、threshold level を各棘波が越えるたびにパルスが発生し、バースト波の

数とパルスの数が一致なくなり、プリセットしたバーストの波の数だけカウントさせるのが不能となる。この点を解決するため、前項で説明したマスキング回路を付加し、1 個のバースト波を 1 個のトリガー信号に変換させるようにした。

以上のようにして本装置を実用化することを可能にした結果、咀嚼筋活動量の分析がきわめて短時間で行えるようになり、累積積分計の応用価値も高まり、臨床診断あるいは研究に大きく寄与するものと考ええる。

ま と め

累積積分計のリセット回数を自動的に計測する装置を開発し、装置の概要について説明した。

装置の試作にあたり多大のご協力をいただいた三栄測器社、小林政博氏に感謝いたします。

本研究は昭和 55 年度文部省科学研究費 C-557451 による。付記して感謝いたします。

文 献

- 1) Ahlgren, J.: Mechanism of mastication, Acta. Odontol. Scand., 24, Suppl. 44: 1~109, 1966.
- 2) 佐々木元: 総義歯の床形態が咀嚼機能に及ぼす影響に関する研究, 補綴誌, 22: 844~864, 1978.
- 3) Nagasawa, T., Okane, H. and Tsuru, H.: The role of the periodontal ligament in overdenture treatment, J. Prosthet. Dent., 42: 12~16, 1979.
- 4) Okane, H., Yamashina, T., Nagasawa, T. and Tsuru, H.: The effect of anteroposterior inclination of occlusal plane on biting force, J. Prosthet. Dent., 42: 497~501, 1979.
- 5) 岡根秀明: 総義歯の咬合障害が咀嚼筋活動に及ぼす影響に関する研究, 広大歯誌, 12: 196~212, 1980.
- 6) Hickey, J.C., Woelfel, J.B. Allison, M.L. and Boucher, C.O.: Influence of occlusal schemes on the muscular activity of edentulous patients, J. Prosthet. Dent., 13: 444~451, 1963.
- 7) 岡根秀明, 橋田博文, 津島隆司, 佐々木元, 長沢 亨, 津留宏道: 総義歯の床面積が咬合力の発現に及ぼす影響に関する実験的研究, 補綴誌, 23: 428~436, 1979.
- 8) Ingervall, B. and Hedegård, B.: An electromyographic study of masticatory and lip muscle function in patients with complete dentures, J.

- Prosthet. Dent., 43: 266~271, 1980.
- 9) Christensen, L.V.: Effect of an occlusal splint on integrated electromyography of masseter muscle in experimental tooth clenching in man, J. Oral Rehabil., 7: 281~288, 1980.
- 10) 佐々木元, 岡根秀明, 長沢 亨, 津留宏道: コンピューターを応用した咀嚼筋筋電図のアナログ分析法, 補綴誌, 23: 384, 1979.
- 11) 鯨島宗弘: 表面筋電図の周波数分析的データ処理とその臨床医学的応用, 北関東医学, 21: 292~319, 1971.
- 12) 山科 透, 荒田 斎, 棟久信宏, 長沢 亨, 津留宏道: 筋電図分析法に関する新考案—ベクトル筋電図法について, 補綴誌, 21: 520~524, 1977.