ENG 記録のコンピュータ分析における諸問題

富山医科薬科大学耳鼻咽喉科学教室（主任：水越鉄理教授）
渡辺 行雄，大橋 直樹，今村 純一，水越 鉄理

STUDIES UPON SOME FUNDAMENTAL PROBLEMS
ABOUT COMPUTER ANALYSIS OF ENG EXAMINATIONS

YUKIO WATANABE, M. D., NAOKI OHASHI, M. D.,
JUNICHI IMAMURA, M. D. and KANEMASA MIZUKOSHI, M. D.

Department of Otorhinolaryngology Toyama Medical and
Pharmaceutical University Faculty of Medicine, Toyama

Previously we reported a computer system to analyze ENG by on-line real time process.

In this paper, some fundamental conditions about computer analysis of ENG, that is, the characteristics of ENG recording system and the analyzing process of computer, and some technical problems in the use of micro-computer were studied. Amplitude and velocity of slow phase were little influenced by time constant, but fast phase velocity was influenced significantly. The experiment on effects of noise filter showed that the velocity of the fast phase was significantly lowered by a low frequency noise filter.

Sampling frequency also affected to fast phase velocity as noise filter did. It would be better to sample with high frequency, however, high sampling frequency might increase the processes work for the computer analysis.

It was generally accepted that the programing of micro-computer was simple and easy, however, in a case of complicated program as real time process of ENG, it is not simple, but rather difficult than programing of mini-computer. This might be due to the lack of detailed informations about the operating system offered by a computer maker.

Key words: ENG, コンピュータ分析, サンプリング周波数の影響
デジタルフィルタ, マイクロコンピュータ処理

A87—1089—20092

1. はじめに

最近，平衡機能検査のいろいろな分野にコンピュータ
さかんに導入されるようになり，とくに，ENG 記録
析ではコンピュータがルーチン検査¹⁾⁵⁾⁶⁾ に応用され
段階に至っている。私達はこれまで ENG 記録³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾
コンピュータ分析についての研究を進め，実用的な
JG 検査の分析システムを開発し報告してきたが，今
は，これらの経験から ENG の記録条件が分析結果
与える影響，デジタルフィルタ，サンプリング周波

数，眼振波形とアーチファクトとの鑑別など眼運動記録
や処理上の問題，マイコンの導入など実用段階を迎えた
ENG 自動分析の諸問題について検討し若干の考察を加
えてみた。

2. ENG の記録条件と雑音処理の問題

用手計測的に ENG 記録を分析するとき特別な計測を
行う場合を除いて，時定数，フィルタなどの眼運動記録
の条件が結果に影響することは少ない。しかし，コンピ

ュータ分析においては、ペン記録に表れない波形歪や雑音が分析結果に影響する可能性がある。使用した ENG は日本電気三栄測器製、増幅器 1117-B で、すべての眼運動は12ビット変換でサンプリングを行い、ノイズ除去のため下位2ビットを切り捨てたデータを使用した。また、眼運動の較正は0.3Hzの正弦波を用いて1°の眼運動がコンピュータの内部値で16となるようにした。眼振急速相および衝動性眼運動の速度は、その区間の原波形データの接線速度の最大値から計測した。その他のパラメータの計測はさきに報告した⁴⁾方法と同じである。

1) 時定数の影響

図1は同一の眼振波形について、時定数をD.C., 3秒, 1.5秒の3段階での記録を比較したもので、1.5秒の記録では緩徐相部分に歪みが生じているが、D.C.と3秒では差がみられない。表1は同一の眼振波形をD.C., 3秒, 1.5秒の3段階で記録し、計測された緩徐相、急速相の振幅、速度がどのように変化するかみたものである。高域遮断フィルタは25Hzとした。緩徐相の振幅、速度、急速相の振幅には三者の間で臨床的に問題となるような大きな差はみられなかった。ここで注目すべきは、急速相速度の差である。時定数が長時間になるにつれ急速相速度が低値に算出される傾向が有意の差で認められた。通常、時定数は眼運動の低速成分に歪みを与えると考えられており、その例を図1に示したが、波形の

図1 時定数が眼振波形に与える影響

A: D.C. B: 3秒 C: 1.5秒

同じ眼振記録を3種類の時定数で記録したときの变化をみた。A, Bでは差がないが、Cでは緩徐相に歪が認められる。しかし、矢印に示した同じ眼振の緩徐相速度は、A, B: 22°/sec C: 20°/sec と大きな差はなかった。

計測値からは急速相速度にも大きな影響を与えていることがわかった。これは時定数が低周波成分に対してフィルタとして作用したものと推察されるが真の原因は不明で今後検討の必要がある。

2) 高域遮断フィルタの影響

表2は振幅30°の衝動性眼運動速度がフィルタによりどのような影響を受けるかをみたもので、同一波形を遮断周波数25Hz, 25Hz+ハム除去フィルタ, 5Hz+ハム

表1 時定数が各計測値に与える影響

波形番号	時定数: D.C.			3 秒			1.5 秒		
	SA	SV	FV	SA	SV	FV	SA	SV	FV
1	4	10	131	4	11	125	5	12	143
2	6	11	118	6	11	131	7	12	137
3	3	11	87	3	13	93	4	14	100
4	5	10	143	5	10	162	6	11	181
5	16	12	287	15	12	287	14	10	331
6	16	13	268	16	13	275	16	13	312
7	2	18	256	2	18	256	2	15	293
8	18	14	318	17	13	337	18	14	362
9	16	15	150	17	15	137	17	16	162
10	12	14	193	12	13	202	11	14	233

SA: 緩徐相振幅(°), SV: 緩徐相速度(°/sec), FV: 急速相速度(°/sec)

同じ眼振波形を時定数を変えて記録したときの緩徐相、急速相の振幅、速度を比較した。緩徐相の振幅、速度、急速相の振幅(本表では省略)の各パラメータは時定数による差がみられなかった。急速相速度は時定数が単時間になるにつれ高速に計測される傾向がみられた。(各時定数間 $P < 0.01$)

表 2 ENG の高域遮断フィルタが急速眼運動速度に与える影響

フィルタの条件	眼運動速度 (°/sec)
25Hz	509±32.9
25Hz+ハム	451±28.2
5Hz+ハム	305±17.6

振幅 30°の衝動性眼運動45波形についてフィルタの影響を検討した。同一の眼運動波形を同時に3種類のフィルタの条件で記録した。
(平均値±標準偏差)

除去フィルタ波形の各条件で記録し、計測した速度の平均値を示した。サンプリング周波数は 100Hz で別に後述するようなデジタルフィルタを使用した。遮断周波数により眼運動速度が大きく影響されることがわかる。25 Hz のフィルタでは、原波形のペン記録に雑音が増加するが記録が大きく障害されることはない。ここで、フィルタの周波数特性を検討してみる。図2はこの ENG で

25Hz, 25Hz+ハム除去フィルタ, ハム除去フィルタ単独の周波数特性を示したもので、ハム除去フィルタを併用すると 5~8 Hz 付近の周波数まで影響を受けることを示した。ただし、これは、今回使用した増幅器固有の特性であり増幅器が異なる場合には影響の範囲が異なってくることに留意する必要がある。

3) デジタルフィルタについて

図3-A は 25Hz の高域遮断フィルタを使用して記録した眼振波形で ENG 記録では雑音はみられないがサンプリングしたデータでは雑音が混入していることがわかる。ENG 記録ではペン機構が一種の高域遮断フィルタとして作用するもので、サンプリングされた多数の記録に自動分析の処理上無視できない雑音が残存していた。このように ENG のフィルタで除去しきれない雑音成分は、データ上の 1 点 V_p の値がその前後 2 点ずつ計 5 点の値により、 $V_p = (V_{p-2} + V_{p-1} + 2V_p + V_{p+1} + V_{p+2}) / 6$ となるように、データの各点毎に修正を加えることにより処理過程で除去している(加重移動平均法)。

図 2 ENG の高域の高域遮断フィルタの特性

*: 25Hz ▲: ハム除去フィルタ ■: 25Hz+ハム除去フィルタ

ハム除去フィルタの併用により 5Hz 付近の低い周波数まで影響が及ぶことがわかる。

図3 デジタルフィルタの効果

- A: 25Hz のフィルタによる眼振記録雑音が残留している。
 B: A の記録をデジタルフィルタで処理した。雑音の中で不明確な小さい眼振波形が明確になっている。(矢印)

図3-B はAの波形に対しこの処理を行ったもので雑音成分が抑制され矢印の部分にAでは不明な小さな眼振様の波形が出現していることがわかる。このように、デジタルフィルタは雑音対策として有効な方法であるが、この処理により眼振波形はENGのフィルタと同様の大きな影響を受ける。デジタルフィルタの影響を眼振波形で計測することは簡単にできないので、前述の衝動性眼運動で一度デジタルフィルタを通過した後に再度デジタルフィルタの処理を行い両者の差を比較した結果では、平均12%速度が低値に計測された。現段階ではデジタルフィルタの方法は経験的に決定されたもので雑音を最大限に抑制し、かつ、データの損失の少ない最適なフィルタは今後の課題である。眼振は振幅、速度の範囲が広くまた緩徐相と急速相の速度差が大きいため適当なデジタルフィルタを設定することが難しい。また、周波数分析を応用したデジタルフィルタも試みたが、演算時間が長くなりオンライン実時間処理に用いるフィルタとしては問題があった。

図4 サンプル周波数が急速眼運動速度の計測に与える影響

振幅 30° の衝動性眼運動速度がサンプリング周波数によりどのように変化するかを計測した。同一条件で比較するために 800Hz でサンプリングしたデータから 400Hz, 200Hz, 100Hz のデータを作成した。30波形の平均値と標準偏差を示す。

3. サンプル周波数の影響

サンプリング周波数²⁾も急速眼運動速度の計測に大きな影響を与える要因の一つである。図4は振幅 30° の衝動性眼運動を 800Hz, 400Hz, 200Hz, 100Hz の各周波数でサンプリングを行ったときの急速眼運動速度の計測値の変化をみたものである。ENG は D.C. 記録、高域遮断周波数 25Hz (ハム除去フィルタ使用せず) として別にデジタルフィルタを処理段階で使用した。同一条件で計測ができるように、眼運動はまず、800Hz でサンプリングを行い、このデータから他の各周波数のデータを作成した。サンプリング周波数が低くなるにつれ速度が低値に計測されていることがわかる。図5は振幅 10° から 30° の衝動性眼運動の波形を 200Hz と 100Hz の周波数でサンプリングしたときの関係をみたもので 100Hz で低い値を示すのは当然であるが、両者の直線的関係は保たれている。また、サンプリング周波数が緩徐相、急速相の振幅に与える影響を検討したが、とくに問題となるような差はみられなかった。

急速眼運動速度の計測には高いサンプリング周波数ほど良好な計測が行われることになるが、それにつれて、

図 5 200Hz と 100Hz のサンプリング周波数による急速眼運動速度の比較
横軸: 200Hz, 縦軸: 100Hz

振幅 10° から 30° までの同じ衝動性眼運動波形の速度を 200Hz と 100Hz でサンプリングしたときの計測値を比較した。(Y=X-37)

必要な記憶容量の増加, 処理時間の延長, データの保存コストの増加など処理側の負担が増加することにも考慮に入れるべきであろう。

4. 眼振波形の鑑別とその限界

ENG 記録には眼振の他に眼振以外の眼運動, 眼運動以外の生体電気現象, その他の雑音など多くのアーチファクトが混在している。私達のコンピュータ分析システムでは, ENG に記録された波形の中で急速な成分を持つ眼運動について波形認識を行い眼振波形とアーチファクトを鑑別しており, 波形分析的には眼振波形としての鋸歯状波を適切に認識できることを報告³⁾⁴⁾⁶⁾してきた。(図 6)

しかし, ENG 上にみられるアーチファクトのなかには, 波形的に眼振とまったく同様の形状をしたものが散見されることがある。図 7 はその例として示したものである。これは, ENG の電極装着直後の不安定な眼運動の ENG 記録で, 用手計測的には眼振は発現していないが, サンプリングされた波形には緩徐相と急速相を伴った典型的な眼振様の波形がみられる(矢印)。単に波形認識の方法ではこれらと眼振を鑑別することは困難であり, したがって, 眼振反応を正確に自動分析するには反応中の眼振の連続性, 方向性など新たな観点での処理を

図 6 眼振とアーチファクトの鑑別

A の * で示した波形は眼振とはいえないが, 眼振を表示するマーク(縦線)が付いている。B は眼振の波形認識を行った後のもので, アーチファクト部分のマークが消え, 眼振波形が正しく認識されたことを示す。

図 7 波形認識による眼振とアーチファクト鑑別の限界

電極装着直後の ENG 波形

肉眼的にアーチファクトのみで眼振は出現していないが, サンプリングされた波形では眼振様の波形がみられる。波形の連続性, 方向性を条件に入らず波形認識のみでこれらとアーチファクトを鑑別することは困難である。

加えなければならない。このような処理はカロリックテストの反応開始, 終了点の認識の測定などでシステム

導入されており、整った定型的な眼振反応ではそれほど困難ではないが、病的症例ではカロリックテストやOKNの反応抑制がしばしばみられ、このような例では抑制部分の反応に種々の不定な波形がみられることが多く、これらと定型的な反応を一律に処理することはかなり困難な問題であった。今後、眼振反応そのもののパターン認識を検討する必要があると考えられた。

5. 使用機器の問題（とくにマイクロコンピュータの使用について）

私達が開発した平衡機能検査のコンピュータ分析システムは、小型コンピュータによるものである（PDP 11/34）。小型コンピュータは購入価格が高価で簡単に使用できないことが欠点であり、コンピュータ分析の普及を妨げる大きな要因であった。最近マイクロコンピュータの発展はめざましく、小型コンピュータに匹敵するような性能の機器が廉価で購入できるようになった。私達は現在 PC-9801（384 K バイト、磁気ディスク：FD 1120（ICM）、AD 変換器：DAS1 298 PC（サイエンス社）、O.S.：MS-DOS）を使用したマイクロコンピュータシステムにより、先に報告したオンライン実時間処理による平衡機能検査の自動分析システムと同程度の性能を持った ENG 分析の専用機を開発している。このシステムの詳細は後に報告するが、今回は、その経験から ENG 分析にマイクロコンピュータを使用する場合の問題点について述べる。

まず、機械的な問題については、CPU は 16 ビットマシンが適当で、メモリーは多いほどプログラムの開発が容易になり、最低でも 128 K バイトは必要である。ENG 分析では AD 変換器が必要であるが通常のマイコンでは標準装備されていないので機器購入時に適当な性能のものを注文装備する必要がある。AD 変換器は 12 ビットの分解能を持ち、変換時間 100 μ sec 以下のものが適当で、いろいろな用途に使用することを考えると 8 チャネル程度を装備した方がよい。また、時計もコンピュータ内蔵の他に別に装備した方がよい。磁気ディスクは必須のものであるが、マイコンでよく用いられるフロッピーディスクの他にハードディスクを装備すれば、プログラム開発やデータの管理が効率的となる。これらの諸点に注意すれば、マイクロコンピュータおよびその付属装置の機械的性能は、ENG 分析用として十分であり特別な問題はない。

つぎに、ソフトウェアの面から検討してみる。ENG

記録のオンライン実時間処理システムにおいては、1) 一定の時間間隔で眼運動のサンプリングを行い、データを磁気ディスクに格納する、2) 一定量のデータが蓄積されたら眼振波形の分析を行う、3) 検査終了と同時に分析結果を出力する、4) キーボードまたは ENG パネルのスイッチによりコンピュータシステムのコントロールを行う、などの処理が必要となる。

私達が開発した小型コンピュータによる分析システムでは、FORTRAN を主体として、付属機器の制御を中心にかかなりの部分でアセンブリ言語でのプログラム作成が必要であった。とくに、前記の処理のうち 1), 4) の部分では、プログラム割込機能を含め付属機器の機能を十分に活用するためにアセンブリ言語の使用は必須であった。マイコンにおいても同様でありアセンブリ言語によるプログラム作成は必須の操作である。また、主プログラムについては、現在、マイコンでは BASIC が主体であるが、アセンブリ言語との接続を考慮するとマイコンでも FORTRAN の方が有利と考えられる。

ところで、現段階では、マイコンのオペレーティングシステムにおいて、アセンブリ言語を使用する環境が必ずしも十分整備されていない。とくに、磁気ディスクにデータを読み書きするようなオペレーティングシステムの機能をアセンブリ言語のレベルで利用するような場合、また、FORTRAN からアセンブリ言語のプログラムを呼び出す際の変数の受け渡しなどは、小型コンピュータでは比較的簡易に処理できるが、マイクロコンピュータでは試行錯誤的にプログラムを作成してゆかねばならぬ場合が多く、マイコンを使用する上での大きな問題点であった。これは、オペレーティングシステムを提供する側に十分なコンサルテーションの体制がなく、さらに、マニュアルの記載が不十分でユーザーに必要な情報が十分与えられていないことにも一因があると考えられた。

以上述べた、付属装置の制御や変数の受け渡しなどの基本的な部分が解決できれば、データの分析や結果の出力などは小型コンピュータとまったく同様に高級言語を使用して処理が可能でありマイクロコンピュータでとくに問題となる点はなかった。

6. 考 察

最近、平衡機能検査のいろいろな分野においてコンピュータの普及はめざましく、とくに、ENG¹⁾⁵⁾⁶⁾の分析ではルーチン検査に実用的に使用される段階に至ってい

る。従来、用手計測的に行われてきた分野にコンピュータを導入した場合、これまで設定してきた記録条件やデジタルフィルタ、サンプリング周波数など処理側の基礎的な条件がコンピュータ分析結果にどのように影響するかは大きな問題である。今回、このような ENG 分析の基礎的な条件に検討を加えてみた。まず、記録側、処理側の諸条件とも緩徐相、急速相の振幅および緩徐相速度に与える影響は少なかった。したがって、眼振数、緩徐相速度、眼振振幅に主体をおいたこれまでのパラメータの分析については、記録、処理の諸条件を問題にする必要はないと考えられた。これに対して、眼振急速相、衝動性眼運動などの急速眼運動に対しては、各条件とも大きな影響がみられ、とくに、アナログおよびデジタルフィルタ、サンプリング周波数は条件設定により計測値が大きく変化することを示した。また、時定数が急速眼運動速度の計測に影響を与えることは私達の予想外のことで、コンピュータ分析においては経験的に結果が予測できる場合でも確認が必要なことを示す結果であった。急速眼運動速度の計測はコンピュータの導入によって臨床応用が期待される分野でもあり、このように種々の条件により結果が異なってくるということを十分注意したうえで分析を行う必要があるものと考えられた。記録条件では、記録の精度と記録のし易さ、処理条件では分析精度と処理のし易さのバランスを考慮すべきであり、とくに、急速眼運動速度のように種々の要因が影響している場合、特定のパラメータのみ高い水準を設定するのは得策とは言えないであろう。具体的なコンピュータ分析の条件設定は分析者がその目的と入手を希望するパラメータの性質により選択することになるが、コンピュータ分析では、雑音の処理を例にとれば、記録段階では、記録の障害にならない範囲で高い遮断周波数のフィルタを選択し後にデジタルフィルタを使用するなど、できるだけ情報の損失が少ない条件で記録し、後の問題は処理過程で解決するのがよいと思われた。

最近のコンピュータの普及はマイクロコンピュータによるところが大きい。マイコンは廉価で入手し易く、プログラミングが容易であるのが特徴であるが、ENG 分析のようなオンライン実時間処理に使用する場合にはさきに述べた点を含めてハードウェア、ソフトウェア上のいろいろな問題が生じてくる。したがって、小型コンピュータで行っているようなオンライン実時間処理によるシステムを開発するには、マイコンの詳細に精通する必要がある。しかし、オンライン実時間処理にこだわ

らず、簡易な方法でデータサンプリングを実行しバッチ処理的にデータの分析を行う場合には、それほどプログラミングの困難な点はなく、データサンプリング以外の部分は BASIC で処理が可能であり、このような方法で簡易にコンピュータを利用するのも一法であろう。

7. 結 語

私達のこれまでの経験から、ENG 記録のコンピュータ分析を行う際の諸問題について検討し若干の考察を加えた。今後、この分野において、コンピュータの利用がますます盛んになることが予想されるが、よい分析を行うには、分析の対象となる現象、分析の目的、分析によってどのような種類の情報を得るかなどの点を明確にすることが重要と考えられた。

参 考 文 献

- 1) Baloh RW, Langhofer L, Honrubia V et al:
On-line analysis of eye movement using a digital computer. *Aviat. Space and Environ Med* 51: 563-567, (1980).
- 2) 小松崎 篤: 急速眼運動の臨床的意義 鈴木淳一 時田 喬 編「めまい」: 193-204, 現代医療社 東京 1983.
- 3) 水越鉄理 渡辺行雄: EOG・ENG, 中西孝夫 島村宗夫 編「臨床生理学入門」: 324-377, 真興交易医書 東京 1980.
- 4) 渡辺行雄: ENG 検査の自動分析システム 日耳鼻 82: 1553-1578, 1979.
- 5) Watanabe Y, Mizukoshi K, Ohashi N et al:
Computer analysis of electronystagmography recordings in routine equilibrium examinations. *Adv ORL vol. 30*, 1983.
- 6) 渡辺行雄: ENG 検査へのコンピュータの導入 鈴木淳一 時田 喬 編「めまい」: 155-176, 現代医療社 東京 1983.

本研究は昭和58年度の文部省科学研究費試験研究 課題番号58870082の交付を受けて行われた。

(原稿受付 昭和 59. 3. 12日)

別刷請求先 〒930-01 富山市杉谷2630

富山医科薬科大学医学部耳鼻咽喉科学教室

渡辺 行雄