

外眼筋筋電図干渉波形の定量解析

林 孝雄, 木原 英二, 長嶋 正美, 岩重 博康, 丸尾 敏夫

帝京大学医学部眼科学教室

要 約

骨格筋の筋電図領域で行われている周波数と振幅での定量解析法を外眼筋に初めて応用し, その干渉波形の定量解析を行った。対象は, 水平直筋の261筋の筋電図干渉波形である。この波形を「ターン・振幅分析法」で定量解析し, 他覚的にXYグラフ上に表した。X軸には干渉波形の1秒間の振れ数(Turns)を, Y軸にはそれらの平均の振幅(Amplitude/Turn (A/T))を表示した。臨床所見および筋電図検査時の所見から四つの型に分類し, 正常, 完全型神経麻痺, 不完全型神経麻痺および筋麻痺のそれぞれをグラフ上にプロットした。その結果,

完全型神経麻痺は明らかに他の三つから離れた部位(低Turns, 低A/T)にみられ, 不完全型神経麻痺と筋麻痺は, 正常の領域よりも下方(低A/T)にみられた。この解析方法を利用することにより, 特に完全型神経麻痺と不完全型神経麻痺は, 他覚的に容易にその病態判断ができ, 補助診断としての臨床応用の価値が高いものと思われた。(日眼会誌 99:501-505, 1995)

キーワード: 外眼筋筋電図, 定量解析, ターン・振幅分析法, 神経麻痺, 筋麻痺

Quantitative Analysis of Electromyogram Interference Pattern in Extraocular Muscle

Takao Hayashi, Eiji Kihara, Masami Nagashima,
Hiroyasu Iwashige and Toshio Maruo

Department of Ophthalmology, Teikyo University School of Medicine

Abstract

Quantitative analysis of electromyogram (EMG) interference pattern was performed for objective evaluation. EMGs of 261 horizontal rectus muscles had been recorded in our laboratory during the past 18 years, and they were divided according to the clinical diagnosis into four categories: 56 records due to complete neuropathy, 67 due to incomplete neuropathy, 19 due to myopathy, and 119 normal. The turns and amplitude analysis program was used for EMG analysis. A turn was one wave of the interference pattern, for which we used an amplitude of more than $15 \mu V$. Turns meant the number of turn waves per second. Turns/second and mean amplitude/turn (A/T) were plotted against each other on an X-Y diagram, and a statistical evaluation of data was done. Complete neuropathy record-

ings that had lower turns and lower A/T were separated from the other three categories. Incomplete neuropathy and myopathy occurred on the lower A/T area. There was a significant difference ($p < 0.05$) between each pair of comparisons from all four categories except for turns evaluated between myopathy and normal. Quantitative analysis proved useful for the objective evaluation of the EMG interference pattern, particularly between cases of complete and incomplete neuropathy. (J Jpn Ophthalmol Soc 99:501-505, 1995)

Key words: Quantitative analysis, Electromyogram, Turns and amplitude analysis, Neuropathy, Myopathy

I 緒 言

筋電図検査は, 検者がオシロスコープを見, スピーカー

からの音を聞きながら, その筋の病態を判断していく検査であるが, この波形を見ての病態の判断は, 例えば fibrillation だけがみられる高度の神経麻痺の場合は容

別刷請求先: 173 東京都板橋区加賀2-11-1 帝京大学医学部眼科学教室 林 孝雄
(平成6年9月22日受付, 平成6年12月10日改訂受理)

Reprint requests to: Takao Hayashi, M.D. Department of Ophthalmology, Teikyo University School of Medicine,
2-11-1 Kaga, Itabashi-ku, Tokyo 173, Japan

(Received September 22, 1994 and accepted in revised form December 10, 1994)

易であるが、ある程度以上の干渉波がみられる場合はかなりの熟練を必要とし、また、検者の主観の入るものでもあり、純粋な客観的検査とはいえない難い面がある。そこで、この筋電図検査を他覚的に解析する方法として、干渉波形のパターンをみる方法や、単一神経筋単位の放電頻度をみる方法などがある^{1)~3)}。前者に対して骨格筋領域では、「棘波分析法」や「ターン・振幅分析法」などの周波数と振幅での定量解析が行われている⁴⁾。今回我々は、過去に記録された外眼筋筋電図の干渉波形を、この骨格筋筋電図の解析方法である「ターン・振幅分析法^{5)~12)}」を用いて定量解析することにより、他覚的に病態を判断していくことを試みた。

II 対象および方法

対象は、昭和50年11月から平成5年8月までに、帝京大学眼科で記録された筋電図のうち、261の水平直筋の筋電図干渉波形で、平成元年9月まではアナログ、それ以降はデジタルで記録されたものである。内訳は、臨床的に神経麻痺と診断されたもの123筋、筋麻痺と診断されたもの19筋、および正常119筋である。神経麻痺の内訳は、完全型神経麻痺が56筋、不完全型神経麻痺が67筋である。この二つは臨床では、角膜中央部が正中線を越えて麻痺筋側に移動しない場合を完全型、正中線を越える場合を不完全型として分類し、筋麻痺は徐々に進行し、ほぼ全方向に軽度の運動制限があり、時に眼瞼下垂を伴っているという特徴から、神経麻痺と鑑別をした。

筋電図はすべて双極針電極を用いて、同一検者により再現性を考慮し、同一条件下で記録されたもので、今回は作用方向、つまり内直筋は内転時の、外直筋は外転時の筋電図干渉波形を解析した。

解析には、プログラムソフトは「ターン・アンプリチュード解析」を用い、日本電気三栄社の「シグナルプロセッサ-DP 1100」を使用した。

Turn (T:振れ点)とは、干渉波の極性のピークが変化する山から谷への一つの「振れ」のことで、その振幅差が $15\mu\text{V}$ 以上のものを1秒間当たりでカウントし、その数を「Turns」としてグラフ上のX軸に表した。骨格筋では、Turnとしてカウントする振幅を $100\mu\text{V}$ 以上としている⁴⁾が、骨格筋の筋電図は平均の振幅が $600\mu\text{V}$ 以上あるので、それをそのまま外眼筋に应用することはできない。正常の外眼筋においては、骨格筋に比べ全体の振幅が小さく、約 $50\sim 200\mu\text{V}$ といわれており¹⁾、さらに高度の神経麻痺でみられるfibrillationは $20\sim 100\mu\text{V}$ といわれており、今回記録した干渉波形でもほとんどの神経麻痺の振幅が $50\mu\text{V}$ 以下であったので、その中で雑音を排除しながら有効と思われるTurnをピックアップするためには $15\mu\text{V}$ 以上が適当と判断し、その値以上のTurnをカウントすることとした。

Amplitudeとは、一つのTurnの振幅のことで、グラフ

上のY軸には、その1秒間の総和をTurnの数で割った値、すなわち、平均の振幅「Amplitude/Turn (A/T)」を表した。カテゴリーを正常、完全型神経麻痺、不完全型神経麻痺、筋麻痺の四つに分け、それぞれをXYグラフ上にプロットした。

III 結果

それぞれの干渉波形の典型例を図1に示す。外眼筋の場合、完全型神経麻痺の干渉波は正常に比べ、干渉波同士の距離の長いlong durationを示し、低いamplitudeを示している。不完全型神経麻痺は完全型神経麻痺よりもdurationが短くなり、amplitudeが少し増す。筋麻痺は正常とほとんど変わらないdurationで、ややamplitudeが小さくなる。これらの干渉波を解析してグラフ化したものが図2である。X軸は1秒間のターンの数を表し、Y軸は平均の振幅を表している。

XYグラフ上、完全型神経麻痺は明らかに他の三つから離れた部位(Turns: 333.02 ± 195.24 , A/T: $32.54 \pm 12.85\mu\text{V}$)にみられ、不完全型神経麻痺(Turns: 1216.51 ± 255.84 , A/T: $57.12 \pm 31.60\mu\text{V}$)および筋麻痺(Turns: 1437.16 ± 249.82 , A/T: $80.23 \pm 55.16\mu\text{V}$)は、正常(Turns: 1490.52 ± 264.13 , A/T: $115.76 \pm 54.56\mu\text{V}$)の領域よりも下方にみられた。これら四つのカテゴリーの、それぞれのTurnsとA/Tの間の比較を

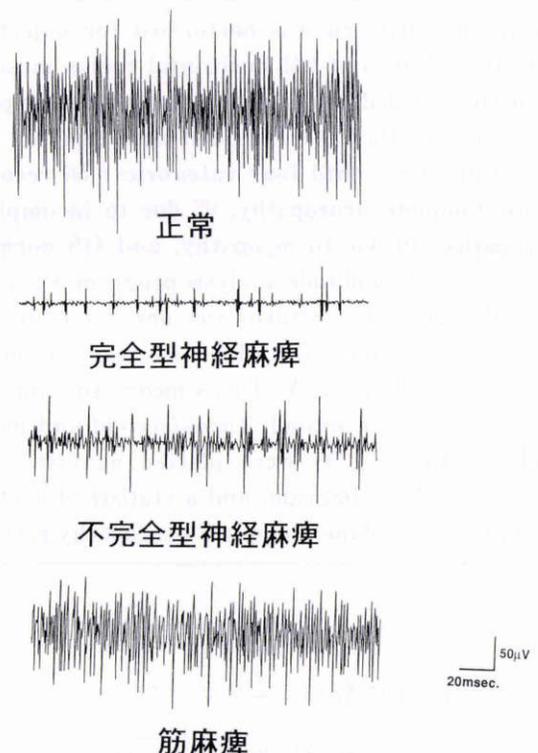


図1 外眼筋筋電図の干渉波形。

四つのカテゴリー(正常、完全型神経麻痺、不完全型神経麻痺、筋麻痺)の筋電図のそれぞれの典型例を示す。

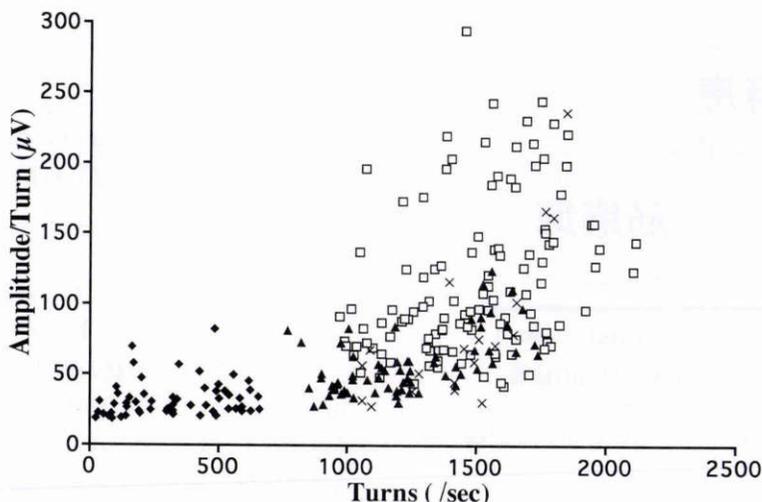


図 2 筋電図干渉波形の解析結果.

完全型神経麻痺は明らかに他の三つから離れた部位にみられ, 不完全型神経麻痺および筋麻痺は, 正常の領域よりも下方にみられた.

(白四角: 正常, 黒菱形: 完全型神経麻痺, 黒三角: 不完全型神経麻痺, 罰印: 筋麻痺)

表 Turns と Amplitude/Turn における四つのカテゴリ一間の有意差検定

Turns			
	完全型 神経麻痺	不完全型 神経麻痺	筋麻痺
正常	0.001 以下	0.001 以下	0.412*
完全型 神経麻痺		0.001 以下	0.001 以下
不完全型 神経麻痺			0.00127
Amplitude/Turn			
	完全型 神経麻痺	不完全型 神経麻痺	筋麻痺
正常	0.001 以下	0.001 以下	0.00948
完全型 神経麻痺		0.001 以下	0.001 以下
不完全型 神経麻痺			0.00659

数値は, t 検定によって得られた各カテゴリ一間の危険率を表したもので, Turns における正常と筋麻痺の関係を除いたすべてに有意差 ($p < 0.05$) がみられた.

*: 有意差なし

t 検定を用いて行ったところ, Turns における正常と筋麻痺の関係を除いたすべてに有意差 ($p < 0.05$) が認められた (表).

IV 考 按

外眼筋における筋電図の解析は, 青木¹³⁾¹⁴⁾が干渉波形のパターンを, 春田ら¹⁵⁾¹⁶⁾が単一神経筋単位を, 稲葉¹⁷⁾, 山崎ら¹⁸⁾, 松林ら¹⁹⁾²⁰⁾が周波数分析を, そして最近では, 三村ら²¹⁾²²⁾が干渉波形を単一神経筋単位に分離して定量

する方法を, それぞれ報告している. 今回我々は, 骨格筋の分野における筋電図干渉波形の定量解析法の一つであり, 干渉波形を単一神経筋単位に分離しないで行う方法である「ターン・振幅分析法」を用いて, 初めて外眼筋の筋電図干渉波形を解析した.

「ターン・振幅分析法」は, 1964 年に Willison⁶⁾がその基盤を報告したことに始まる. 1967 年には Rose ら⁶⁾がその解析のための具体的な測定方法を記載し, 1975 年に Fuglsang-Frederiksen ら⁷⁾が臨床応用での検討を行った. 1982 年には Smyth ら⁸⁾⁹⁾が短時間でできるということで小児への応用を試み, 解析にコンピューターを導入し, その有用性を高めた. さらに翌年, Stålberg ら¹⁰⁾が, 今回我々が行ったような XY グラフ上へのプロットによりパターンでの検討を報告した. 骨格筋の場合, 電極を刺した筋の作用方向に負荷を懸け, 牽引することによりその筋に発生する干渉波形を拾うという方法を取っていたが, その牽引力の強さを変えてみると, いろいろな試行もなされた¹¹⁾¹²⁾.

Stålberg ら¹⁰⁾の方法は, 非検者に筋肉を収縮するように命じ, 針電極を 3~4 か所に刺入し, 一つの筋からそれぞれ 20 個ずつの干渉波形を取り出し, 解析するというものである. この解析の結果, 骨格筋の場合は, 神経麻痺では Turns が減少し, amplitude が大きくなり, また, 筋麻痺では amplitude が小さくなり, Turns が増加するので, XY グラフ上では図 3 のような位置関係を示す. しかし, XY グラフ上明らかに神経麻痺と筋麻痺が正常領域から分かれるのではなく, 障害された筋から得られた 20 個の値のうちいくつかは, XY グラフ上の正常領域からその障害領域の方向 (神経麻痺なら左上方, 筋麻痺なら右下方) へはみ出すことにより, 有意性を認めるとしている.

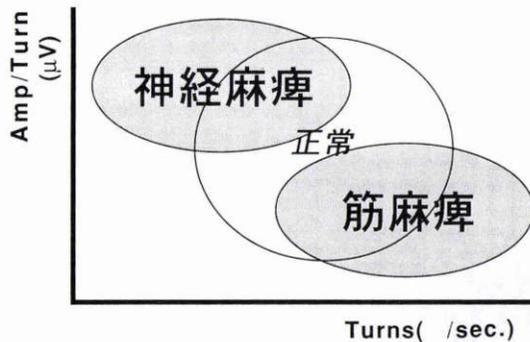


図3 骨格筋におけるターン・振幅分析の結果。

神経麻痺では Turns が減少し、Amplitude が大きくなる。筋麻痺では Amplitude が小さくなり Turns が増加する (Stålberg ら¹⁰⁾から)。

今回我々は、既に記録された外眼筋の干渉波形をコンピューターを用い「ターン・振幅分析法」で解析し、Stålberg らの考えた XY グラフ上でその病態を見きわめるという上記の方法で、その解析結果を検討してみた。

外眼筋においては、神経麻痺と筋麻痺の区別は、統計上では有意差が出たものの、特に不完全型神経麻痺と筋麻痺との区別はグラフ上では付けがたかった。また、骨格筋とは逆に、神経麻痺は統計上でも有意に筋麻痺よりも低 amplitude を示していた。今回の解析の目的の第一は、まずこの神経麻痺と筋麻痺とが XY グラフ上で区別できるかということにあったが、やはり外眼筋は骨格筋と性質を異にするため、その区別は難しいようである。つまり骨格筋に比べ、外眼筋では amplitude が全体的にかなり小さいのと、外眼筋の特性上、眼球の微細な運動を司っているために、粗大な運動をする骨格筋に比べ、一本の神経が支配する筋の数、すなわち、神経支配比が非常に小さい²³⁾²⁴⁾ことや、また、そのために神経麻痺においては脱神経筋線維に対し、正常な神経からの再支配がさほど多くの筋線維に及ばないために、amplitude が高くなってきにくいものと考えられる。

筋麻痺においては、amplitude は正常よりやや低めに出了が、Turns すなわち 1 秒間の振れ点の数では正常との有意差はみられなかった。筋麻痺に関して、丸尾²⁵⁾²⁶⁾は、ほとんど運動できない外眼筋から、その筋の作用すべき方向に運動する意志を働かせたときに充実した干渉波が得られることが、その特徴であるとし、振幅の高低は障害の程度や電極の位置によって変わるが、放電は充実していると報告している。すなわち、今回の解析で出たような、筋麻痺と正常との間の Turns における有意差はなし、という結果に一致するものである。

完全型神経麻痺と不完全型神経麻痺は、XY グラフ上で他覚的に容易にその病態判断ができた。このことは、神経麻痺に対する治療、すなわち手術の方針を決めるのに役立つと考えられる。以前 Huber²⁷⁾は干渉波形をみて、例えば受傷後で 2～3 か月経っても、fibrillation の

みで活動的な放電がなければ、筋移動あるいは筋移植術の適応であると述べていたが、今回の解析法を利用すると、XY グラフ上に表すことにより、神経麻痺を完全型と不完全型とに分けることができ、それぞれに対し筋移植術をするか、あるいは前後転法のみで十分かという術式決定の際の補助診断として使うことが可能であると考えられる。

外眼筋の場合は、骨格筋と違い小さな筋であり、3、4 回針電極を刺して 20 個のデータを取るという訳にはいかない。また、外眼筋の構造上、slow fiber と fast fiber の放電の違い¹⁹⁾²⁰⁾²⁸⁾や再現性という点に関して、十分な注意を払って筋電図を採っていくことが肝心である。さらに今回は、発症から筋電図検査までの期間がまちまちのものを解析したが、今後は一定期間のものを比べると、どのように XY グラフ上に現れてくるかをみることも必要であろうと考える。

いずれにしても今回の解析方法において、最も期待していた神経麻痺と筋麻痺の定量的区別という結果は、残念ながら得られなかったが、これはやはり、骨格筋と外眼筋が生理的に別なものであると考え、今後の解析を行っていかねばならないものである、ということを示している。

筋電図の解析方法について御教示頂いた帝京大学医学部神経内科園生雅弘先生に深謝致します。

文 献

- 1) 青木 繁, 向野和雄: 眼科における筋電図. 田所 豊 (編): 眼科 Mook, 14, 眼と電気生理, 金原出版, 東京, 265-283, 1980.
- 2) 田村 修: 診断/筋電図. 筒井 純 (編): 図説臨床眼科講座 5. 神経眼科, メジカルビュー社, 東京, 96-103, 1983.
- 3) 三村 治, 和中幸生: 眼筋電図(EMG)—Electromyography of extraocular muscles—, 眼科 36: 979-984, 1994.
- 4) 廣瀬和彦: 筋電図判読テキスト, 文光堂, 東京, 366, 1992.
- 5) Willison RG: Analysis of electrical activity in healthy and dystrophic muscle in man. J Neurol Neurosurg Psychiat 27: 386-394, 1964.
- 6) Rose AL, Willison RG: Quantitative electromyography using automatic analysis: Studies in healthy subjects and patients with primary muscle disease. J Neurol Neurosurg Psychiat 30: 403-410, 1967.
- 7) Fuglsang-Frederiksen A, Månsson A: Analysis of electrical activity of normal muscle in man at different degrees of voluntary effort. J Neurol Neurosurg Psychiat 38: 683-694, 1975.
- 8) Smyth DPL: Quantitative electromyography in babies and young children with primary muscle disease and neurogenic lesions. J Neurol Sci 56: 199-207, 1982.

- 9) **Smyth DPL, Willison RG**: Quantitative electromyography in babies and young children with no evidence of neuromuscular disease. *J Neurol Sci* 56: 209-217, 1982.
- 10) **Stålberg E, Chu J, Bril V, Nandedkar S, Stålberg S, Ericsson M**: Automatic analysis of the interference pattern. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 56: 672-681, 1983.
- 11) **Fuglsang-Frederiksen A**: Quantitative electromyography. I. Comparison of different methods. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 27: 327-333, 1987.
- 12) **Fuglsang-Frederiksen A**: Quantitative electromyography. II. Modifications of the turns analysis. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 27: 335-338, 1987.
- 13) **青木 繁**: 眼球運動の臨床筋電図学的研究. 第1報. 4直筋同時記録による正常者および末梢性病変の分析. *日眼会誌* 88: 1107-1117, 1984.
- 14) **青木 繁**: 眼球運動の臨床筋電図学的研究. 第2報. 4直筋同時記録による後天性核上性眼球運動障害の分析. *日眼会誌* 88: 1200-1210, 1984.
- 15) **春田龍吾, 服部昌幸, 三村 治, 可児一孝, 下奥 仁**: 外眼筋の単一 NMU 筋電図—眼位と放電頻度—. *眼紀* 35: 173-177, 1984.
- 16) **春田龍吾, 服部昌幸, 宇山 淳, 三村 治, 可児一孝, 下奥 仁**: ヒト外眼筋における単一 NMU 筋電図—固視眼位と saccade における放電変化—. *日眼会誌* 89: 907-913, 1985.
- 17) **稲葉光治**: 眼筋の電気生理学的研究. 第1報. 外眼筋筋電図周波数分析. *日眼会誌* 72: 750-757, 1968.
- 18) **山崎篤巳, 石川 哲**: 核間麻痺 (Internuclear Ophthalmoplegia) について. *日眼会誌* 75: 810-820, 1971.
- 19) **松林光太**: ネコ外眼筋における速筋線維および遅筋線維の筋電図周波数分析. *日眼会誌* 96: 572-579, 1992.
- 20) **松林光太, 木村 久, 田淵昭雄**: 斜視のボツリヌス毒素療法の基礎的研究—筋電図周波数成分の変化について—. *日眼会誌* 98: 404-407, 1994.
- 21) **三村 治, 宇山 淳, 池田尚弘, 下奥 仁, 只隈和博**: 外眼筋における Automatic Decomposition Electromyography (ADEMG). *あたらしい眼科* 5: 1469-1472, 1988.
- 22) **三村 治, 宇山 淳, 池田尚弘, 田窪一徳, 下奥 仁, 只隈和博**: 外眼筋における定量解析筋電図 (予報). *眼紀* 40: 554-559, 1989.
- 23) **廣瀬和彦**: 筋電図判読テキスト, 文光堂, 東京, 23, 1992.
- 24) **黒住 格**: 眼科領域における筋電図の有用性と限界. *眼科* 9: 955-962, 1967.
- 25) **丸尾敏夫**: 外眼筋の Myopathy について. 第1報. 外眼筋の Myopathy に関する筋電図学的研究の文献的考察—外眼筋の筋電図に関する研究6—. *日眼会誌* 69: 361-365, 1965.
- 26) **丸尾敏夫**: 外眼筋の Myopathy について. 第2報. 外眼筋の Myopathy の症例とそれについての考察—外眼筋の筋電図に関する研究7—. *日眼会誌* 69: 1069-1076, 1965.
- 27) **Huber A**: Chirurgische Therapie der Augenmuskellahmungen. *Klin Mbl Augenheilk* 178: 256-264, 1981.
- 28) **Miller NR**: Extraocular muscles, Anatomy of the ocular motor system. In: Walsh FB, et al (Eds): *Walsh and Hoyt's Clinical Neuro-Ophthalmology*. Williams & Wilkins, Baltimore, 562-567, 1985.