表情筋トポグラフィーの開発と臨床応用

小 幡 悦 朗

Research in the Development of a Facial EMG
Topography System and Its Clinical Application

Etsuro Obata

(Kagoshima University)

To evaluate total facial movement, the author developed color EMG mapping of the face (Face EMG Topogram) using a multi-practicable computerized topography system. During voluntary contractions of mimetic muscles, such as lifting the skin of the forehead, closing the eyes, pushing the eyes and blowing out the cheeks, 16 monopolar EMG are concurrently recorded from the surface of the face bilaterally: frontal, orbicularis oculi, orbicularis oris, etc. The data are fed to an on-line computer and integrated and calculated with interpolation formulae. To emphasize the activity of each recording area, the author used an 11-color computer-graphic display or an 11-plotting-pattern display. These grades of display are considered to be related to the amount of muscular activity. The results obtained from normal subjects were reliable and reproducible. Next, the author applied this system to patients with facial nerve paralysis and discussed the differences between the facial grading methods which depend on visual determination or topographic grading. In the topographic grading method the area ratio of the paralytic side to the normal side was calculated in each class (CO to CX).

The results showed little variation of each facial movement, but some significant differences were obtained between the methods of evaluation. The Face EMG Topogram was a precise, non-invasive objective technique of quantifying facial movements and facial palsy.

Key words: facial movement, mimetic muscle, Face EMG Topogram, facial palsy

緒 言

顔面神経麻痺に関する電気生理学的検査法の中で表情筋に関する検査法としては、nerve excitability test (NET), Electroneurography, blink reflex 等が普及し、幾多の臨床症例を重ねて、顔面神経麻痺における表情筋の生理学的側面をある程度把握し得る検査法と

なっている。しかしながら、顔面神経麻痺の解析に止まらず、広く表情運動障害を惹起する疾患すべてを対象として、表情運動の全貌を評価し得る電気生理学的測定手法の開発に関しては未だ報告を見ない。それは、表情運動が、多数の表情筋の微妙な協同運動であり、4ch以下の少チャンネルシステムの電気生理学的手法に頼

る場合、個々の表情筋の特定時の筋活動を解析することはできて、その全体像を簡潔かつ、忠実に把握することが困難であったためである。

生体の全体像を解析するシステムの開発は、1970年代のコンピュータ時代に入り、多チャンネル記録の解析が瞬時に可能になってはじめて着手されたと言っても過言ではない。なかでも臨床分野における CT-scan や magnetic resonance image (MRI) の出現は診断学の分野において様々な変革をもたらしている。一方、四肢筋や大脳の活動電位についても、コンピュータを利用した等電位図的解析の研究が注目されつつある。従って、表情運動の全体像の解析においてもコンピュータの持つ多変量解析能を利用すれば個々の筋電位の詳細を直接視覚に訴える形で、表現、解析することも可能となり得る。われわれは多チャンネル記録を二次元画像表示するトポグラフィーシステム 500(日本電気三栄社製)の多変量解析能に注目し、昭和57年以来、表情筋全体の筋力を客観的に評価するシステム“表情筋トポグラフィーシステム”の開発を手掛けてきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。“トポグラフィー”とは、“地勢”または“地勢図”の意味で使用されている。すなわち、ある生理現象の全体像を総合的に再構成する際、活動電位または代表値などを等高線を用いて立体的に表現する事を意味している。換言すれば、著者が目指す表情筋トポグラムは、様々な表情運動時の“表情筋筋力地図”に近いもので、その臨床応用面での有用性を検討するものである。その結果、顔面神経麻痺の程度の客観評価を始めとして、多様な表情運動の臨床診断手法として極めて有用であることが判明した。現在なお、システムの改良を重ねている段階ではあるが、本表情筋トポグラフィーシステムの開発の経緯を述べるとともに、その臨床応用成績について若干の考察を加えて報告する。

トポグラフィーシステムの概要

コンピュータによる画像診断機種の一つで

あるトポグラフィーシステム 500 は元来、主に脳波、誘発電位解析用として開発されたものである。従って、当初は本システムを利用して表情筋トポグラムを作成し、表情運動の解析を試みることにしたが、その後、大容量を有し、かつ、データ解析に汎用性の増したトポグラフィーシステム 700 が登場するにおよび、これを用いて表情筋トポグラムに専用のプログラムを開発することを企図した。ここでは、まず、著者の開発した表情筋トポグラムの概要を中心にこれら両トポグラフィーシステムの特徴や開発経緯について述べる。

1) トポグラフィーシステム 500 について

昭和56年に製品化されたトポグラフィーシステム 500 は、主に脳波の画像解析用に開発されたものである。専用ソフトは、通常の脳波(α 波、 β 波、 θ 波、 δ 波など)解析用と、誘発電位解析用の2種類が使用されている。表情運

図1 “強い閉眼”時のEMG記録(上段)と表情筋トポグラム表示(下段)

動の画像解析に着手した当初は、表情筋の随意収縮時の自然放電の波形解析を行う目的で、誘発電位解析用のソフトを流用して、表情筋トポグラムを作成することにした。

図1は強い閉眼を行った際の16chの筋電図とAREA PEAK UPモード(ある任意の区間における最大振幅値を各チャンネルの代表値として選出)にて作成した表情筋トポグラムである。筋電図上で矢印にて示した部位がAREA PEAK UPモードにて選出された各chを代表するpeakである。16chすべてを判定材

料として扱う場合、筋電図そのものを一つ一つ検討することも可能ではあるが、かなりの複雑な作業を強いられる事になる。従って、様々な解析プログラムを用いて、それぞれの筋放電の特徴(この場合は、記録時間内で最も高い振幅)のみを抽出し、analogue data以外の把握しやすい表示法で再構成することが重要となる。図1で示した表情筋トポグラムは、最も活発な筋放電を示した両側の眼輪筋部が濃い赤色(図においては濃い暗色で示されている部分)にて提示され、左右の対称性も含めて実際の表情を良く捉らえた表示法であることが示されている。また、表情運動の全体像を理解するという意味においても視認性に富む表示法であることがわかる。

トポグラフィーシステム500では、トポグラムそのものを32画面保管することができる。32画面の範囲内であれば、表情運動の解析を迅速に行なうことができる(EMGのデータは保存できない)。また、専用のポラロイドカメラにてカルテ添付用に撮影した後、次の解析へと進

図2 トポグラフィーシステム700の全容

図3 トポグラフィーシステム700のブロックダイアグラム

むことも可能である。

トポグラフィーシステム 500 が改良されて、次代世であるトポグラフィーシステム 700 が登場したのは昭和58年である。本システムの導入を契機に、誘発脳波解析用のプログラムを流用することなく、より操作性の優れたシステムの利用を目指して、表情筋トポグラム解析専用プログラムの開発に着手した。

トポグラフィーシステム 500 における主な改良すべき点としては、下記の項目が挙げられる。

1. 最大振幅値を基本値にしているため、データの再現性に問題がある。

2. EMGなどの analogue data そのものは保存できない。

3. 電源 off にて保存したトポグラム自体が消去されてしまう。

4. 顔面痙攣の解析などに有用な連続記録ができない。

5. CRT上には 4 ch 分の筋電図しか表示できないため、測定時の artifact チェック終了まで時間を要する。

6. 頭部を真上から見た構図となっているため左右の表示が逆になっている。

7. 顔面神経麻痺症例の解析において左右差の定量的解析機能がない、等々である。

2) トポグラフィーシステム 700 について

トポグラフィーシステム 700 は signal processor 7T-17 (容量512 kbyte) を中心に構成されている (図2 がそのシステムの全容である)。トポグラフィーシステム 700 のブロックダイアグラムは図3 に示す通りである。トポグラフィーシステム 500 との最も大きな相違点は 1. 8 inch floppy disket に analogue data そのものを保存できること、2. 16ch 同時に signal processor 7T-17 の CRT 上に表示でき、artifact のチェックが容易に行なえること、等である。

以上の2点は signal processor 7T-17 自体が有する特徴でもあるが、本システムをより

効果的に活用していくために、トポグラフィーシステム 500 の欠点を踏まえた表情運動解析専用プログラムを作製することが課題であった。最も重要な各 ch の代表値は、比較的変動し易い最大振幅値の代りに、得られた筋電図を CRT 上である任意の区間を integrate することによって得られる積分筋電図の値とした (sweep time は 512 msec)。積分値を得る方法としては、RC回路をシステム内に組み込む方法と、CRT 上で処理することによって integrate する方法の二つがある。前者は DC に近い形で波形が得られるため、sampling clock を延長でき、1 画面上に行なう FFT 解析においても比較的長時間の解析ができる利点があるが、原波形の artifact の混入をチェックできない。したがって、今回は、得られた EMG を CRT 上で integrate する方法を採

図4 “しめ面” (正常人) 時の EMG 記録 (上段) と表情筋トポグラム表示 (下段)

用することにした。

トポグラフィシステム 500 でのトポグラム表示は暖色系のみの 6 段階で行なっているが、本システムのカラー表示機能としては濃い青色 (C0) を最低値、濃い赤色 (CX) を最高値として寒色系から暖色系へと 11 段階 (C0, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, CX) でトポグラム表示する機能を有しており、新方式に移行するに際して 11 段階のカラー表示を行なうこととした。また、カラー画像表示のみならず、様々なパターンを用いたモノクロ表示機能をも備えている。このパターン表示

は、トポグラムのファイルに極めて有用であり、本論文における図に関しては、全てこのパターン表示によるトポグラムを採用した。

顔面神経麻痺の程度判定において有用と思われる左右差の定量的判定は、トポグラムの視認性に基づいた解析法として、得られたトポグラムを CRT 上にて縦の正中で二分し、各 step ごとに左右の面積比を算出し、% 表示によって折れ線グラフまたは一覧表として画像表示することとした。

図 4 に“しかめ面”をおこなった際の 16ch EMG 記録とそのトポグラムを表している。筋

図 5 正常成人記録例

上段より，“前額作皺”，“強い閉眼”，“頬部膨満”の実際の表情と表情筋トポグラムを示す。

放電のパターンは細かい区間で比較すると左右異なった部分も認められるが, 512msec 全体にわたって積分した値を基にトポグラム表示すると, 両側上眼瞼部, 口輪筋部がほぼ左右対称に最も濃い色彩パターンにて示され, かつ, 11段階表示によって, より繊細な変化をも解読できるようになっている。

図5は, 正常人における代表的な表情運動時のトポグラム成績を示している。前額部作皺, 強い閉眼, 頬部膨満の3表情についての解析結果であるが, それぞれ前頭筋部, 眼輪筋部, 口輪筋部を中心に最も濃い色彩パターンで示され, 活発な筋放電の存在部位を的確に表した表示結果であることがうかがえる。また, 同一被検者の“しかめ面”記録例を折れ線グラフ表示にて左右差を解析した結果が図6である。CRT上でカーソルを操作することによって512msecの筋電図を1区画100msecずつ6区画

(最高10区画に分割可)に分割し, それぞれの区画内を積分することによって得られる値を基にして, 図4, 図5において示したトポグラムを縮小した形で6個の表情筋トポグラム(図6B)として作成することも可能である。図6右側は, 得られた6つのトポグラムを各stepごとに面積比を算出し, C0からCXまでについて $R/R+L \times 100$ (一つのclassの全体の面積分の右側の面積)の計算式にて, 折れ線グラフとしてパーセント表示したものである(折れ線グラフ表示は最高4class分まで同一グラフ上に表示できる)。6分割表示したトポグラムには僅かながら変動が認められる。C1からC4(図6C), C5からC8(図6D)について左右差解析を行った成績においては, C1からC4のグラフでは全く変動は見られず, C5からC8の折れ線グラフ表示に6分割表示トポグラムの変動が表れていることがわかる。しかし

図6 A: 16 ch. EMG表示
C: 左右面積比折れ線グラフ表示(C1~C4)

B: 6分割トポグラム表示
D: 左右面積比折れ線グラフ表示(C5~C8)

ながら、この変動は極めて振幅の小さなもので、この“しかめ面”が、左右対称な表情運動であることを客観的に示した成績と言えよう。

3) 小括

脳波の解析プログラムを利用して開発した表情筋トポグラムのシステムの目的と、これまでの変遷について、その概要を記した。それらを要約すると、

A. 当初は、signal processor 7T-08 を中心としたトポグラフィシステム 500 を用いて誘発脳波解析プログラムを利用することによって表情運動のトポグラム解析を試みることにした。しかしながら、本システムは、各 ch の筋電図の最大振幅値をその基本値にしているため、6段階表示という粗なトポグラム表示ではあるが、解結析果が変動し易い傾向が見られた。データの保存に関してもトポグラムのみをボラロイド写真として保存し得るに過ぎず、意図する時に筋電図を再解析する機能は具備して

いない。

B. 次の段階では、signal processor 7T-17を中心としたトポグラフィシステム 700 において表情運動の専用解析プログラムを作成した。筋電図をCRT上で積分した値を基本値とし、11段階表示することとした。そして、トポグラムの視認性に基づく表情運動の左右差を解析する方策として各 class ごとに左右の面積比を算出し、折れ線グラフ表示する機能を新たに加えた。11段階の細かいトポグラム表示ながらトポグラム作成時の再現性は飛躍的に改善され、また、analogue data の保管が可能のため、過去のデータを比較検討する際、有用となった。表情筋の臨床診断に関する新しい手法として十分活用可能なことが証明された。

顔面神経麻痺症例における表情筋

トポグラム解析に関する研究

表情筋トポグラムの臨床応用については、広く表情運動に何らかの障害を来す疾患を対象と

図7 右顔面神経麻痺患者(20才, 男性)における“強い閉眼”(上段)と“ウー”の表情”(下段)の表情筋トポグラム表示結果

して、著者は過去数年間にいくつかの具体例（末梢性顔面神経麻痺、顔面痙攣、重症筋無力症など）を報告している。本章では、1984年、4月より2年間にトポグラム解析を行った末梢性一側性顔面神経麻痺について、トポグラムによる左右差判定と日本顔面神経研究会で一応容認されている肉眼的麻痺評価法（0点、2点、4点の3段階評価法）とを比較検討した成績を中心に示すことにする。

図7は、受傷から28日目、治癒に近い状態を示している外傷性顔面神経麻痺（20才、男性）症例の“強い閉眼”（上段）と“「ウー」の表情”（下段）の実際の表情とトポグラム表示結果とを対比して示したものである。“強い閉眼”においては肉眼的にも左右差を認めうるが、“「ウー」の表情”においては判然としない。しかしながら、トポグラム上は、明確にその左右差が提示されている。すなわち、“強い

閉眼”（上段）においては、右下眼瞼部の筋力回復が十分でなく、また、“「ウー」の表情”（下段）では、右下口唇部における値が低いことがトポグラム表示にて客観的に判定できる。

この臨床例からは、肉眼的評価法とトポグラム表示結果とが必ずしも一致せず、視認性に優れるトポグラム表示の場合、回復の十分でない部位を的確に表現し、かつ、肉眼的評価法に比し、麻痺程度を強調して提示することが可能な表現方式であることが窺われる。

図8—A, B, C, Dは右ベル麻痺患者の“強い閉眼”時の、トポグラムのみた回復過程を健常側の最も筋放電の強い部分、即ち、左眼輪筋部の濃い表示領域を一定にして示したものである。麻痺発症時10日目のA, Bの成績では麻痺側である右眼輪筋部にはほとんど筋放電がなく、著しい左右差を示している。その1週間後のC, Dの成績では右眼輪筋部は上下ともに等

図8 右ベル麻痺患者（16才、男性）の表情筋トポグラム表示による経時的推移
A, B: 1984年12月5日の記録 C, D: 1984年12月12日の記録

しい回復を示し、C 9の class までトポグラム上に出現し、一見してかなりの改善が得られていることがわかる。また、B、Dの6連続トポグラム表示は、それぞれ1 sweepのEMG上で、100msecごとに6区間を任意に選出して構成したものである。上段に示した512 msecすべてを基本値とした一画面表示のトポグラムとも同様の構成になっており、かつ、細かい分画の表示にもかかわらず、個々のトポグラム間の動揺が少なく、積分EMG値を基本として表示する本方式が再現性に優れていることを臨床例においても示した成績である。

図-9 A、B、C、Dは図8で示した6連続トポグラム(Topogram 1からTopogram 6)における左右差を本表示法のもう一つの特徴である折れ線グラフ表示で示したものである。上段

A、CがC 1、C 2、C 3、C 4を、下段B、DがC 5、C 6、C 7、C 8の各stepについてTopogram 1からTopogram 6に対応してR/R+Lの%表示を行っている。上段A、Cにおいてはともに35~50%の間を推移し両者間にさほどの差は示されていないが、下段B、DではC 5~C 7までが30%以上の安定した高値を示すようになり、C 8のみが5~35%の間を大きな変動を示しながら推移していることがわかる。このことから、麻痺の回復程度に応じてあるclassまでは安定した値をとることが示され、具体的にトポグラム上のどのclassが肉眼的麻痺評価法とどの程度の対応を示しているかについての検討が必要となる。

C 4、C 5、C 6、C 7、C 8、C 9、CXとR:L(主な筋放電部位の積分EMG値の比)の8

図9 図8に示した症例の折れ線グラフ表示による左右差解析

A: 12月5日のC 1, C 2, C 3, C 4の成績, B: 12月5日のC 5, C 6, C 7, C 8の成績
C: 12月12日のC 1, C 2, C 3, C 4の成績, D: 12月12日のC 5, C 6, C 7, C 8の成績

項目についてその百分率と0点、2点、4点の3段階による肉眼的麻痺評価法との関係について検討した結果を図10から図13に示す。

図10は、“前額部作皺”における成績である。解析総症例数は29例で、それらの肉眼的麻痺評価法による分類の内訳は、0点群が8例、2点群12例、4点群は9例である。R:Lは前額部左右一箇所の記録電極の積分EMG値より麻痺側/健常側の比をとって算出したものである。各classごとの0点、2点、4点に対する百分率評価を左側に、個々のグラフの全体的傾向を検討するために一つにまとめたグラフを右側に示した。各classごとの肉眼的評価法との相関関係を検討した結果、C4、C5の2つのclassとR:Lにおいては3群間に1%の危険率で、また、C6とC7においては1~5%の危険率で肉眼的評価法と一致した判定が行われていることがわかった。全体的傾向としては、2点に対するトポグラム解析症例においてC4

からC7間の各class間で比較的安定した標準偏差をもってclassが高い程一定間隔を置いて低値を示す傾向が認められるものの、他の症例群においては、標準偏差値にかなりの開きが認められ、一定の傾向を見出すことは困難である。

図11は、“強い閉眼”例における解析結果を示したものである。総症例数29例であり、うち、肉眼的評価0点の症例が10例、2点の症例が11例、4点の症例が8例であった。本解析の際のR:Lは両側眼輪筋部の上下に貼付した4個の電極においてそれぞれの積分EMG値の左右比を平均して算出したものである。左側のclass別解析結果では、C7とR:Lにおいて、肉眼的評価法にて分類した3つの群相互に対して1%の危険率で有意差が認められた。また、C6では0点群と2点群間が1%、2点群と4点群間が5%の危険率で有意差を示しており、C8ではその逆の関係になっている。全体

Lift skin of forehead

図10 “前額部作皺”症例における表情筋トポグラムの左右差解析と3段階肉眼的麻痺評価法との比較成績

のまとめにおいては、2点群において同様な標準偏差をもって、class が上がるにつれその平均値が一定の傾向をもって低値へと推移していることが示されている。また、解析した症例のなかで4点群のCXが最も大きく変動していることも指摘される。

図12は、“「ウー」の表情”例の解析結果である。肉眼的な評価0点群が8例、2点群が14例、4点群が11例、総症例数は33例である。各群間で1%の危険率をもって有意差が認められたclassはC4のみであった。また、本表情運動においてもR:Lは、同じく、1%の危険率で3群間に有意差が認められた。さらに、C5、C6、C7のclassでは0点群～2点群間、または、2点群～4点群間において1%、ないしは5%の危険率で有意差を認めた。なお、R:Lは口輪筋部の左右の上方下方に貼付した4個の電極においてそれぞれの積分EMG値の左右比を平均して算出したものである。全

体的傾向としては、4点群において標準偏差、平均値に動揺が認められるが、0点群と2点群とにおいては、標準偏差ならびに平均値ともに一定の傾向を有している。

図13は、“頬部膨満”例における成績である。0点群が7例、2点群が8例、4点群が7例、総症例数は22例である。解析症例数は少ないながら、C4、C5、C6、R:Lにおいて1%の危険率をもって3群間に有意差が認められた。本解析におけるR:Lは、“「ウー」の表情”と同様に口輪筋周囲の4電極の積分値より算出した。また、全体的傾向として0点群のC9、CX、4点群のC4、CXを除けば平均値、標準偏差ともに安定した値を示していることがうかがえる。

考 察

コンピュータ技術の隆盛に伴い、各種の画像診断器が輩出し、従来では想像の域を出なかった生体内の様々な情報を捉らえる事が可能とな

Close eyes

図11 “強い閉眼”症例における表情筋トポグラムの左右差解析と3段階肉眼的麻痺評価法との比較成績

Point mouth

図12 “「ウー」の表情” 症例における表情筋トポグラムの左右差解析と 3段階肉眼的麻痺評価法との比較成績

Blow out cheeks

図13 “頬部膨満” 症例における表情筋トポグラムの左右差解析と 3段階肉眼的麻痺評価法との比較成績

ってきている。このような趨勢の中で、筋電図などの神経筋生理学的検査においても同様の画像解析の必要性が迫られていると言っても過言ではない。

等電位図（トポグラム）の概念は、1948年、S. Goldman が心電図の表示を波形そのものではなく、体表面上の部位別の電位の大きさと時間的経過といった電位分布の二次元表示を試みた報告⁷⁾に始まる。我が国においては、1957年、本間ら⁸⁾が「走査式座標記録 Scanning Coordinate Recorder」として、腓腹筋の誘発筋電図におけるM波、H波の電位変化ならびに時間的経過を記録機器の関係上一次元的にオシロスコープ上に示したのを契機とする。当時は、記録機器の性能が十分でなく、二次元表示するという目的を満たすレベルにまで達していなかったため、精密な生体電位の画像表示を満足なまでに行なうことはできなかった。1960年代から1970年代にかけて、多次元表示に関する数学的基礎⁹⁾が確立されるのと呼応して、コンピュータを用いた生体計測が飛躍的に進歩した。脳波の解析法としてはそれまでに、toposcopic な表現形式の域を出なかったが、1969年、Harris ら¹⁰⁾や Estrin, Uzgalis¹¹⁾が発表した spatio-temporal な EEG の Computer Display System はその後の等電位図解析の発展に大きく寄与し、1971年、Lehmann¹²⁾が 48ch のシステムを用いて脳波における α 波の分布を等高線状に示した報告を初め、1976年、上野、松岡¹³⁾は、「徐波を示す異常脳波の抽出とその表示法」と題して、脳波活動を等価的電位として捉え、脳波の空間分布を等高線地図として表現する画像解析法を開発した。その際、松岡らは、補間式を利用して、10～20法に基づいた16個の電極間の電位変化を曲面的に算出する方法を導入し、頭皮上の電位分布を二次元的に表示することに成功した。その後、1978年、Duffy ら¹⁴⁾は EEG や visual evoked potential の 24ch, off-line 解析システムを BEAM (Brain Electrical

Activity Mapping) と称して臨床応用例を発表し、脳の機能的な生理学的検査法としての等電位図の重要性を指摘した。耳鼻咽喉科領域においては、1978年、會田ら¹⁵⁾が松岡らの手法を聴性脳幹誘発反応に応用している。また、心電図に関しても、その on-line 表示における等電位図の概念を導入した研究が始まり、1982年、谷島ら¹⁶⁾は 96ch のシステムを発表し、極めて多いチャンネル記録解析が心電図解析においても有用であることを示した。つまり、体表面上から記録される電気現象の解析方法として等電位図（トポグラム）が極めて臨床応用に即した表現方法となり得ることが実証されてきたわけである。

顔面神経麻痺の神経生理学的検索においては、1954年、時実¹⁷⁾が正常人の表情運動を安静時や様々な随意運動時の筋電図解析を詳細に検討した報告をし、また、同年、早川¹⁸⁾は顔面神経麻痺患者の筋電図、並びに、誘発筋電図の成績を発表し、reinnervation voltage の出現する時期などにも言及している。その後、誘発筋電図法はより臨床応用に即した形で発展を続け、現在では、NET, Neuronography, Blink reflex¹⁹⁾といった検査手法は、単に病態診断にとどまらず、予後診断にまで応用されるに至っている。一方、顔面神経麻痺の生理学的検査法を定量的に表現しようとする試みは、森ら²⁰⁾の積分モジュール筋電計を用いた方法や八木ら²¹⁾の積分筋電図法、神崎ら²²⁾の筋電図自動分析法など誘発筋電図や随意収縮時の筋電図解析において、筋電図そのものというよりは、むしろ、ある特徴のみを抽出または変換して、表情筋の特性診断や Synkinesis の早期発見に有用であることが見出されている。表情筋トポグラムは表情運動全体を一画面上に表示することを目的としており、代表的な表情筋の筋電図の導出を行った後、如何なる特徴を抽出すべきかが第一の問題点であった。

開発当初は、プログラムの関係上、得られた筋電図の最大振幅をもって各 ch の代表値とし

ていたが、最大振幅が生理学的に有する意義が不明瞭であり、かつ、プログラム上その再現性にも問題があった。筋電図を様々な角度から検討した報告は古くから数多く、近年では、1981年、Frederiksen²³⁾ が、過去のEMGとforceの関係を検討した論文の歴史的考察を行ない、かつ、彼の成績を総括した論文を発表している。その中で、isometric forceと筋電図の様々なfactorとの相関関係を検討し、上腕二頭筋の表面電極による解析の結果、average amplitudeとintegrated electrical activityはmaximum forceの30%まで直線的な関係にあり、turns/5sec解析が最もforceとlinearに近い関係にあると報告している。神崎らのturns analysisを表情筋に応用した成績ではデータに変動が多く臨床応用にはあまり適さないとしており、また、顔面神経麻痺の回復程度と積分筋電図の関係を検討した八木らの報告では患者の自覚的回復の程度との相関が認められるとしている。これらの成績を踏まえて、topography system 700において専用プログラムを開発する際、“表情筋の筋力地図”の目的とある程度合致する代表値として積分筋電図を選定した理由もここにある。

さて、顔面神経麻痺における麻痺程度の評価法としては、肉眼的評価法が最も簡便で、かつ容易であり、これまでに、種々の評価法が提唱されている。顔面神経麻痺患者について初心者と経験者との間に差が生じ難い方法について、1984年、House²⁴⁾はBotman and Jongkees, Janssen, Yanagihara, Smith, Adour and Swanson, Stennertらの各評価法について検討を加え、障害の程度を6段階に分類する新しい評価法を提唱している。我が国においては、1982年の日本顔面神経研究会において国内の麻痺評価法の統一を目指す、シンポジウム²⁵⁾が開かれ、3段階評価による40点満点法が提唱されている。いずれにしても、正確な左右差判定を行なうためには、ある程度の臨床経験を必要とすることは言うまでもないが、定量的かつ客観

的な左右差判定の検査法の開発は皆無に近い状態であった。1985年、Burres²⁶⁾が“Facial Biomechanics”と題して表情運動時の皮膚の動きとintegrated EMG (iEMG)の関係を検討した報告を行なっているが、皮膚の移動率とlog iEMGとの間に相関関係が存在することを見出している。この報告の視点もわれわれが行なってきた表情筋トポグラムと同様の基本路線（積分筋電図と筋力の関係）を有している。トポグラム解析の発達過程において既に示した如く、本法は、既存の計測法において少ない電極数で行なっていたものをコンピュータの多チャンネル解析能と自由な画像表示機能によって、個々のデータの特徴を全く別の表現形式をもって表現するため、アナログ的な基本データとは異質な印象を与えるが、その視認性に富む表現方法は表情運動全体を対象として解析し、提示する手法としては現在のところ最良のものと思われる。しかしながら、その臨床応用においては、なお解決すべき問題点があることは、いうまでもない。

図14は実際の電極位置と本プログラムの電極の基本的な位置関係の相違について示したものである。アルゴリズムにおいて規程している電極位置は、脳波の10~20法に基づいており、16chの基本記録部位の値から5×5（25箇所）の未記録部位9箇所の値を平均値で算出し、これらの値を基本としてCRT上2500箇所の値を補間式によって求め、トポグラムとして再構成している。この場合、各電極間を5cm間隔に想定した補間を行なっており、図14に示した如く、顔面皮膚上に貼付した電極位置とは異なる配置となっている。つまり、表情筋トポグラムの場合、脳波における電極位置よりも主に左右方向において縮小した電極位置にあり、実際の電極位置よりCRT上の位置がより拡大した部位となっているため、表示結果が左右方向を中心に拡大したものになる。この電極位置の相違に起因する弊害としては、実際の表情運動とトポグラム表示結果に多少のずれのみられる可能

性があることである。実際の症例での表示結果では、図4、図5、図6、図7において示した如く、表示結果と実際の表情運動の間には大きな相違は認められず、今後、検討すべき課題ではあるが、現行のシステムにおいても臨床評価は十分に可能であると思われた。

積分筋電図から得られたデータをどのように画像に反映させるかも重要な問題の一つである。トポグラム解析において最も重要な因子はその画像構成を決定する step 設定であろう。これまで述べてきたように、表情筋トポグラムは寒色系から暖色系へと11段階でカラー画像表示を行なっている。11段階のカラー表示の中で最も我々の視覚に訴える色は言うまでもなく赤色（CX）である。この赤色の面積によって筋放電の活発さが極めて強調されて表示される。積分筋電図から得られた値の中で最高値を11で割って 1 step を設定するならば、赤色、すなわち、最高値を意味することになり、ある現象の focus を視覚に訴えることによってその役割を果たすことになる。しかしながら、表情筋トポグラムにおいて最高値にのみ捉れて、単に最高値を11で割る step 設定を行った場合、左右差解析をするというもう一つの目的とは異なった結果となることが少なくない。図15は右ベル麻痺患者（不全麻痺例）の“強い閉眼”記録

例であるが、同一のEMG記録に対して二つの異なる step 設定にて表情筋トポグラムを作成して示したものである。上段は、健常側で最高値を示した左上眼瞼部の値を11で割った step 設定を行なったもの（第一法）であり、下段は健常側で2番目の値を示した左下眼瞼部の値を11で割ってトポグラム表示を行なったもの（第二法）である。第一法で作成したトポグラムにおいては左上眼瞼部が最も濃いパターンで示され、この部位が強い閉眼を行なった際の最高活動部位であることを表している。第二法で作成した下段のトポグラムにおいては左眼輪筋部全

図14 実際の電極配置(●)と画面上の電極配置(○)

図15 上段：最大値を示した左上眼瞼部の値を11で割って作成した表情筋トポグラム。
下段：健常側で2番目の値を示した左下眼瞼部の値を11で割って作成した表情筋トポグラム。

体が濃いパターンで表示され、トポグラム全体から受ける印象として、麻痺側との対比がより明確に示された表示結果となっている。表情運動の左右差を検討しない場合（重症筋無力症や顔面痙攣など）は、第一法によって step 設定を行ない、表情運動に端的に表れる特徴を検討すべきは論を待たない。しかし、最高値がその表情運動の第一義的特徴ではない現象、即ち、一側性顔面神経麻痺の如き表情運動の左右差を検討する場合は、第一法で表示すると、健常側内の focus を強調した表示となり、加えて、1 step の値が大きくなるために麻痺側の小さな変化については画面上に表現しきれない結果となる。つまり、健常側の特徴的活動部位全体を強調しながら、その部位と対称的に表示される麻痺側の細かい変化まで描出し得る第二法の方が、得られた情報の特徴をより生かした step 設定であると言える。従って、今回の左右差判定のために検討した症例は全例第二法によって step 設定を行ない解析した。

表情筋トポグラムにおいては表情運動の左右差解析を $R/R+L$ の面積比にて折れ線グラフ表示する方法と、全体の面積に占める左右のパーセント表示を数値表によって示す方法のふたつを採用している。左右の面積比を解析の基本値とした理由は、トポグラムが視認性に基づく表現形式であり、トポグラム自体が与える印象そのものを左右差判定に反映した解析法が重要であろうと判断したためである。専用プログラム作成前の段階では、11 class のいずれの class が、または、他の如何なるパラメーターが実際の麻痺程度と相関関係を示しているかについて想定することは困難であった。臨床应用到に即した表示法へと発展させるためには、あるまとまった臨床例を解析し、現段階のシステムの有用性を検討した後に改良点を見出すべきは言うまでもない。本論文においては、一側性顔面神経麻痺患者を対象として、“前額部作皺”、“強い閉眼”、“「ウー」の表情”、“頬部膨満”の四つの基本的な表情運動時の表情筋トポ

グラム解析結果と 0 点、2 点、4 点の 3 段階による肉眼的麻痺評価法との関係を検討した。

肉眼的評価法によって分類した 0 点群、2 点群、4 点群の 3 群間に、“前額部作皺”における成績では、C 4, C 5, C 6 の各 class が 1 % の危険率で有意差を示した。“強い閉眼”症例では、C 7, C 8 が、“「ウー」の表情”においては、C 4 のみが、また、“頬部膨満”に関しては、C 4, C 5, C 6 の class がそれぞれ肉眼的評価法とある程度一致した面積比を示すことが判明した。また、これら 4 基本表情すべてにおいて、左右の積分 EMG 値から算出した $R:L$ が 1 % の高い危険率で 3 群間に有意の差が認められた。左右の積分 EMG 値の比が有意差を示した成績は、表情筋トポグラムの基本値として積分筋電図を選んだ根拠と合致するものであることを立証している。各表情運動において、有意差を示した class が異なる結果となったが、個々の表情筋の特性や電極配置の在り方、また、電極位置によっては補間によって決定される面積値に変動が生じ得る事など様々な要因によって各々の表情運動の表示結果に影響を与えていることを示したもので当然の結果であると考えられる。全体的な傾向としては、

“前額部作皺”において、各 class 間の変動が著明に現われ、本表情運動のトポグラム解析の中心的電極の数が二箇所である欠点を示した結果と考えられた。“強い閉眼”、“「ウー」の表情”、“頬部膨満”の表情運動の成績では個々の class の標準偏差がやや幅広い値を示したものの、一定の間隔で各 class の平均値が推移していることが示され、これらの表情運動においては安定した記録が得られていることが示唆された。また、口輪筋部の運動においては 0 点時においても CX の段階まで麻痺側に出現しているが、これは、西村²⁷⁾が指摘している如く、口輪筋の交叉性支配が及んでいることを示す実例と考えられた。いずれにしても、本表情筋トポグラフィシステムは、顔面の動作や病態をかなり忠実に再構成し、かつ、理解しやす

い画像表示法として解析できるので、新しい臨床診断の一手法として極めて有用であることは疑いない。今後、さらに症例を重ねて検討するとともに、器械やプログラムの改良を通じて、より簡便で、無侵襲、そして再現性に富む客観的な診断手法の確立を目指して研究すべきは論をまたない。

結 語

様々な生理学的検査がトポグラムの表示法を導入している今日、極めて多数の筋肉の協同運動である表情運動の解析に等電位図の概念を応用することは時代的な流れとも言える。著者は、積分筋電図を基本とした表情筋トポグラムを開発し、表情運動の解析を行なった。その結果、表情運動のトポグラム解析が実際の表情の特徴をよく反映した表示法であり、顔面神経麻痺症例においても、本法が再現性に優れ、その左右差判定にも客観的定量的評価法として有用であることが判明した。今後、電極配置の改良、新しい補間関数の検討など課題が残されているが、臨床例を重ねることによって本法が真に“表情筋筋力地図”とも言える画像表示へ一歩でも近づいていくことが大いに期待される。

稿を終えるにあたり、本研究に対し御懇切なる御指導と御鞭撻を賜った鹿児島大学耳鼻咽喉科学教室 大山 勝教授に深甚なる感謝の意を表します。また、本研究を支援して下さいた日本電気三栄社に対し心から感謝致します。

参考文献

- 1) 小幡悦朗, 大堀八洲一, 清田隆二: 表情運動のカラー画像表示の試み. *Facial N Res Jpn* 2: 59~62, 1982.
- 2) 小幡悦朗, 山野 隆, 宇宿功一郎, 他: 重症筋無力症患者の表情筋 EMG Topogram— テンシロントテストへの応用成績—. *Facial N Res Jpn* 3: 17~20, 1983.
- 3) 古田 茂, 他: 顔面神経麻痺陳旧例に対する形成外科療法の経験. *Facial N Res Jpn* 3: 191~194, 1983.
- 4) 小幡悦朗, 大山 勝, 古田 茂: 表情運動のカラー画像表示. 生体等電位図—基礎と現況—. 139~144頁, にゅーろん社, 1984.
- 5) 大山 勝, 小幡悦朗: 表情筋のカラートポグラム解析について. *耳鼻臨床* 78: 22~23, 1985.
- 6) Ohyama M, Obata E and Furuta S: Color electromyographic topographic analysis of facial movements. *Am J Otolaryngol* 6: 185~190, 1985.
- 7) Goldman S, Vivian WE, Chien CK, et al: Electrical mapping of the activity of the heart and the brain. *Science* 108: 720~723, 1948.
- 8) 本間三郎, 渡辺士郎: 走査式座標記録器 Scanning Coordinate Recorder について. *低周波医学* 1: 1~4, 1957.
- 9) 宮川 洋: 多次元空間中の定常的確率変数の標本化定理. *電気通信学会雑誌* 42: 421~427, 1959.
- 10) Harris JA, Gordon MM, Reginald G, et al: Computer-controlled multidimensional display device for investigation and modeling of physiologic systems. *Comp Biomed Res* 2: 519~535, 1969.
- 11) Estrin T and Uzgalis R: Computer display of spatio-temporal EEG patterns. *IEEE Trans Biomed Eng* 16: 192~196, 1969.
- 12) Lehmann D: Multichannel topography of human alpha EEG fields. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 31: 439~449, 1971.
- 13) 上野照剛, 松岡成明: 徐波をしめす異常脳波の抽出とその表示法. *医用電子と生体工学* 14: 118~124, 1976.
- 14) Duffy FH, Burchfiel JL and Lombroso CT: Brain electrical activity mapping (BEAM): A method for extending the clinical utility of EEG and evoked potential data. *Ann Neurology* 5: 309~321, 1979.
- 15) 曾田豊二, 加藤寿彦, 調 重昭, 他: 聴性誘発反応のトポグラフィーについて. *耳鼻* 24: 571~583, 1978.
- 16) 谷島一嘉, 木下重博, 田中 博, 他: 動画像表示機能を持った体表面電位分布測定表示システムの

- 開発. 医用電子と生体工学 20:321~325, 1982.
- 17) 時実 博: 顔面筋の筋電図学的研究. お茶の水医学雑誌 2:1~14, 1954.
- 18) 早川 宏: 顔面神経麻痺の臨床的研究(殊にその筋電図学的所見について). 東京医学雑誌 62:214~233, 1954.
- 19) 森川謙三: 瞬目反射に関する臨床的研究. 耳鼻 25:補5;707~716, 1977.
- 20) 森 弘, 北原一明, 北 真行, 他: 末梢性顔面神経麻痺の回復過程における病的共同運動の測定—筋電図の積分モジュールによる分析—. 耳鼻臨床 72:957~964, 1979.
- 21) 八木伸也, 石川保之: 末梢性顔面神経麻痺と積分筋電図. 耳鼻臨床 73:1355~1361, 1980.
- 22) 神崎 仁, 大内利昭, 石原伝幸: 末梢性顔面神経麻痺に対する筋電図自動分析法の検討. 耳展 19:191~194, 1976.
- 23) Frederiksen AF: Electrical activity and force during voluntary contraction of normal and diseased muscle. Acta Neurol 63:Suppl 83:1~60, 1981.
- 24) House JW: Facial nerve grading systems. Laryngoscope 93:1056~1069, 1983.
- 25) 柳原尚明, 細見英男, 山本悦生, 他: 顔面麻痺の程度の評価基準とその根拠(有用性を含む). Facial N Res Jpn 2:1~11, 1982.
- 26) Burres SA: Facial biomechanics; The standards of normal. Laryngoscope 95:708~714, 1985.
- 27) 西村宏子: 顔面表情筋の神経支配に関する誘発筋電図学的研究(前編). 耳鼻臨床 69:453~464, 1976.
- (原稿採択: 昭和62年10月2日
別刷請求先: 小幡悦朗
〒890 鹿児島市宇宿町1208-1
鹿児島大学医学部耳鼻咽喉科教室)