顔面表情運動の定量的検討

田 中 久 哉

Computerized Quantitative Analysis of Facial motions

Hisaya Tanaka

(Kinki University School of Medicine)

The scoring system is widely accepted as a simple and useful method for evaluating the degree of facial palsy, but there have been some problems in objectivity and reproducibility. This study investigated a new objective method of analyzing facial movements and examined the physiological range of asymmetry and differences between genders.

Facial expression data input to an Apple Computer using Quick Time was analyzed by applying digital image editing techniques.

Forty-six healthy volunteer subjects were analyzed utilizing this method. To quantify facial movements, several points on the face were identified to accurately monitor their movements. Twenty-four white marks were placed on the face, and 10 pictures in a series from resting to maximum movements were imported. The movements of each marker were expressed on a coordinate axis. Four voluntary facial movements (forehead wrinkling, eye closing, grinning and whistling) were examined.

The trajectory of the marks were expressed numerically and changes in an area within a polygon produced by connecting all marked points with a line were measured. The ratio of the area of maximum movement to the area at rest was obtained and used for comparative investigation.

The differences in the ratio between the left and right sides were less than 6% in any area and any movement. There were no significant differences due to gender. Some areas obtained by subdividing showed larger changes with facial movements than other areas.

Key words: objective method, facial movements, image editing techniques

目 次

緒 言

対 象

方 法

A. 使用機器

B. 原理

C. 顔面固定装置の製作

1. 顔面固定の意義

2. 固定装置の詳細

D. 顔面上の基準点の選択

解剖学的根拠

- a. 顔面表情筋概論
- b. 基準点と顔面表情筋との対応
- E. 画像(動画)の取り込み
- F. 画像の処理
 - a. 2値化の理論
 - b. 実際の方法
- G. 数値化の方法
- 結果
 - 1) 軌跡の表示

- 2) 面積比
 - a) 閉顔運動について
 - b) 額のしわ寄せ運動について
 - c) イーと歯を見せる運動について
 - d) 口笛(口を尖らせる)運動について

考 察

結 論

謝 辞

参考文献

緒 言

顔面麻痺は、現在のところ、その左右差を検査者(以下、検者)が肉眼的に比較して麻痺度を評価しており、日本では顔面神経研究会提唱の10項目、40点法が広く用いられ、最近では、Houseら¹⁾のgrading systemの採用も普及している。これらの方法は特別な器具を必要とせず、誰にでもどこでも評価できる簡便な方法ではあるが、検者の主観に頼るために、麻痺の程度の詳細な分析には限界があるといわれており、この方法による麻痺程度の評価は厳密な他覚的検査法にはなっていない。このために、いままでにいくつかの顔面麻痺の客観的評価法が開発報告されてきた^{2)~12)}が、広く臨床に応用されるにはいたっていない。筆者らは簡便かつ客観性のある検査法を確立するために、顔面の動きをパーソナルコンピュータに動画として取り込み、これを細かく分析する方法を開発した。被検査者(以下、被検者)の顔面にマークをつけ、ビデオカメラからビデオキャプチャボードを介してその画像をコンピュータに入力した。入力された画像に画像処理を行うことによりマークした点を抽出し、各点の軌跡、指定領域の面積の変化を検討した。今回、健康成人についてくわしく検討し、この方法により顔面表情運動を客観的に評価できたのでその評価を述べ、この方法の有用性について報告する。

対 象

本研究の対象とした被検者は、20歳台の健康成人46名(男性22名、女性24名)である。被検者には、本研究の意義と検査上の無害性を十分説明し、同意を得た。

方 法

A. 使用機器(図1)

- a) 撮影用ビデオカメラ: Sony CCD-TR55
- b) 使用ハードウェア: Apple社製, Macintosh Centris 650
- c) ビデオ画像取り込み装置: Super Mac社製 Video Spigot

図1 パーソナルコンピュータに入力された動画から、動画編集用ソフトウェアによって、顔面表情運動の解析に必要な10コマの画像を抽出する。これらの画像を画像処理用ソフトウェアによって2値化して、座標軸上に表記可能な数値に変換する。

d) 使用ソフトウェア：システムレベルのソフトウェアテクスチャとしてApple社製Quick Timeを利用し、これに加え動画処理用のソフトウェア(Super Mac社製Screen Play, Adobe社製Premier), 汎用画像分析用のソフトウェア(National Institute of Health開発のImage, HIPG社製Dip Station)および表計算ソフトウェア(Microsoft社製, Excel)を使用した。

B. 原理

動画の取込みはビデオカメラから入力された動画をデジタル化することにより行う。本研究の目的は顔面表情運動という動きそのものを数値化することにあるので、連続した動画の1コマ1コマをデジタルデータに変換する必要がある。ビデオカメラ側の操作で1コマ1コマの静止画像を作りそれをコンピューターに送れば可能ではあるが手間がかかりすぎ現実的には不可能であった。そのため、動画を連続的にデジタル化する方法が必要であったわけだが、Apple社の開発したコンピューター上で、時間軸に沿ってダイナミックデータを制御しうるQuick Timeというシステムレベルのソフトウェアを利用することにより実現した。この方法を用いることにより検者がみた通りの顔面の動きがデジタル化され、モニター上に表示される。動画というのは時間軸に沿って変化する静止画像(コマ)の集合といえるので、デジタル化された各静止画像の変化を記録すれば動きの分析が可能となる。つまり、各コマには下記するような基準点が設けてあり、これらの各コマにおける位置は数値化することができるので、顔面運動に伴って移動するこれら基準点の変化を追っていくことによりこれら基準点の移動を数値として表現することができることになる。なお、本研究においては、単位時間あたりの顔面運動の変化を計測するわけではなく、時間軸に沿って変化する動画を再構築することにより肉眼的検討を越えた詳細な検討を行った。例えば、閉眼に要する時間が被検者によって異なるが、動き

が早く肉眼的にはその動きがよくわからない場合でも、動画の1コマ1コマの中から、顔面の動きをよく表現できるコマのみを選別し検討することが出来る。実際には動画は10から15コマ毎秒で入力し、入力された動画の各コマの中から静止時から最もよく動いた表情までを代表するコマを10コマ選び解析した。こうすることによりいかなる顔面表情筋運動も10枚の数値データの集合とすることができるのである。したがって検討したすべての顔面表情運動を同一の尺度で検討することができるのである。

C. 顔面固定装置の製作

1. 顔面固定の意義

顔面表情運動は本来3次元空間での容積変化を伴った運動である。したがって本研究のように2次元平面における面積の変化、軌跡の表示を行う場合、常に顔面に対して同一の角度から表情の取り込みをする必要がある。そこで、今回顔面および、入力用のビデオカメラを同一枠上に固定する器具を製作した。

2. 固定装置の詳細

自作した頭部固定装置によって左右内眼角結合線が入力用ビデオカメラの画像上、水平になるように、また左右内眼角結合線の中点と鼻尖点を結んだ直線が垂直になるように頭部を固定した。また、頭部反対側に入力用ビデオカメラを固定し、顔面正面像をとらえ、鼻尖部が画像の中心になるように設定した。撮影した画像の画像処理の際の基準として、頭部固定枠上でしかも同時に撮影される位置に最小目盛1mmのスケールを設置した(図2, 写真1)。

D. 顔面上の基準点の選択

解剖学的根拠

a. 顔面表情筋概論

顔面表情筋は非常に多くの筋線維によって構成されている(図3)。人間の表情運動は複雑であり単純と思われる表情運動においても数種類の筋が協調して働いているものと考えられる。たとえば、強く閉眼する運動においてはM. orbicularisだけでなく、M. corrugator supercilii,

M. lacrimalis, M. procerus などが協調して働いていると思われる。実際の表情からこれらの個々の筋の働きを探ることは困難であるが、これらの解剖学的な筋の配置を考えただけで基準点の配置をする必要がある。

b. 基準点と顔面表情筋との対応

顔面運動を数値化するためには、顔面上に運動に伴って移動する点が必要となる。後述する画像処理に際し、これらの点のみを抽出しやすく、白いマークを顔面に貼り付けた。上記した顔面の各表情筋の動きを反映するように以下のように設定した。

- 1) 眉毛の最内側
- 2) 眉毛の最上点
- 3) 2) の上方 1.5 cm

写真1 頭部およびカメラ固定装置(被検者の頭部を固定した状態)

- 4) 眉毛の最外側
- 5) 左右内眼角結合線の中点
- 6) 外眼角点の外側 1.5 cm
- 7) 眼窩点
- 8) 鼻尖点
- 9) 鼻翼点
- 10) 左右鼻翼結合線と外眼角点から垂直に下ろした直線との交点
- 11) 上唇点
- 12) 口唇交点の外側 1.0 cm
- 13) 下唇点
- 14) 12)とオトガイ点を結んだ直線の中点

以上、左右、計24箇所にマークを貼り付けた(図4)。1) 2) 4) は M. orbicularis, M. corrugator supercilii, 3) は M. frontalis, 5) は M. procerus, 6) 7) は M. orbicularis, 9) は M. nasalis, M. levator labii superioris, 10) は M. zygomaticus minor et major, 11) は M. orbicularis oris, 12) は M. orbicularis oris, M. zygomatics major, M. levator anguli oris, M. risorius, M. depressor angulioris, 13) は M. orbicularis oris, M. mentalis, 14) は M. depressor labii inf, M. depressor anguli oris の動きを反映すると考えた。なお、マークは画像処理が容易にできるように、直径 6 mm のフェルト地を使用した。

図2 頭部およびカメラ固定装置

1. 頭部固定棒 2. ビデオカメラ 3. 撮影用ビデオライト

図3 顔面表情筋の解剖 (Pernkopf, Atlas of Topographical and Applied Human Anatomy. Fig. 137 から改編)

顔面表情筋の解剖学的配置を顔面内側からみた図。

写真2 1. 安静時から10. 最大運動時までを、解析対象となる画像として各動作あたり10フレームの選別を行った。

E. 画像(動画)の取込み

ビデオカメラで被検者の顔面をとらえ、モニター画面で被検者の顔面の動きを確認しながら

図4 顔面に貼り付けたマークの配置図

鼻尖点を中心とし、左右内眼角結合線の中点と鼻尖点を通る直線を顔面中心線として、以下に記した左右24箇所にマークを貼り付けた。1.2. 眉毛の最上点の上方1.5 cm, 3.4. 眉毛の最上点, 6.7. 眉毛の最内側, 5.8. 眉毛の最外側, 9.11. 外眼角点の外側1.5 cm, 10. 左右内眼角結合線の中点, 12.13. 眼窩点, 16. 鼻尖点, 15.17. 鼻翼点, 14. 18. 左右鼻翼結合線と外眼角点から垂直に下ろした直線との交点, 20. 上唇点, 19.21. 口唇交点の外側1.0 cm, 23. 下唇点, 22.24. 口唇交点の外側1.0 cm とオトガイ点を結んだ直線の中点。

パーソナルコンピュータのハードディスクに直接書き込んだ。検討した表情運動は、閉眼、額のしわよせ、口笛(口を尖らせる)、イーと歯をみせるの4種類の動作である。一連の動作を10フレーム/秒で連続的にコンピュータに入力した。入力されたこれらの動画をコンピュータモニター上に表示し、コマ落しを行った。静止時から最大運動時まで、解析対象となる顔面の動きを示す画像を各動作あたり10フレームの選別を行った(写真2)。

F. 画像の処理

今回行った画像処理の方法

a. 2値化の理論

コンピュータに取り込んだ画像は白を0, 黒を255とした256階調で表現される。そこで、顔面上のマークした白い点を0, 他のすべての部位を黒, すなわち1として0, 1の2階調の画面にすることによってマークした点だけを抽出できるのである。

b. 実際の方法(写真3)

選別された画像を汎用画像処理用ソフトウェア(NIH開発のImage)で画像の処理, つまり2値化することで, マークのみを残してラベリングを行った。実際には, まず白と黒を反転させ, さらに各種フィルターをかけることによってマークした点を黒点として強調させる。さらに2値化することによってマークした点以外を

写真3 顔面に貼り付けたマークが2値化され, ラベリングされる過程。コンピュータに取り込まれた画像は画像処理により, 矢印の順に2値化, ラベリングされる。

消去する。選別された10枚の画像すべてにこの処理を加えることでひとつの表情運動が24個の黒点の動きとして動画保存される。あらかじめ、顔面固定枠に取り付けてあったスケールからこの動きをピクセル表示から mm 表示に変換しておくことで数値化できるのである。

G. 数値化の方法

1. 原理

2 値化された画像は 0 と 1 で表現される数値の 2 次元的集合となっており各コマ上の基準点は座標軸上の (x, y) で表現される数値へと変換できる。静止時のコマのある基準点が (x_1, y_1) であったとすると少し動いた画像である次のコマのその点は (x_2, y_2) となっている。したがって、最もよく動いた時の画像である 10 コマ目は (x_{10}, y_{10}) となっており、これらの差の絶対値を求めれば、移動距離がわかり、各基準点間を結ぶ多角形の面積の変化を求めれば顔面表情筋上の或る領域の動きによる変化が定量できる。なお、上記したように各表情筋運動につき 10 コマの画像を選び検討するが、10 コマのうち連続した 2 コマずつを平均し 5 コマとして計算を行わせた。これは、各顔面運動から解析対象となるべきコマを選ぶ際の誤差を少なくするための工夫である。

2. 方法

a. 面積の測定

2 値化された画像の各基準点を鼻尖点を原点 $(0, 0)$ とする座標軸上の値にまず変換する。次に、各基準点が構成する多角形の面積を求める。これらの多角形は基準点の構成する三角形の集合であり、解剖学的根拠に基づき、大きくは眼輪筋、口輪筋に分け、必要とあれば各三角形を最小とする領域に分けて検討することが可能である。面積の計算は $|1/2\{x_1 - x_3\}(y_2 - y_3) - (y_1 - y_3)(x_2 - x_3)|$ の式で座標点 (x_1, y_1) (x_2, y_2) (x_3, y_3) を頂点とする三角形の面積を計算し多角形の面積を求めた。

b. 面積比の測定

上記したように求めた各コマの面積はビデオ

撮影時に写し込んだスケールをもとに実測値として求めることができる。しかし、顔面の大きさの違いから個人差の大きな値となることと、顔面表情筋運動の動きそのものを表現しにくい、ため、本研究では静止時と各顔面表情筋運動の最終のコマ(例えば閉眼運動であれば最も目を閉じた状態)との面積比を測定することにより顔面の動きを表現した。つまり顔面の各部位の静止時面積/最大運動時面積の値を顔面運動の指標として採用した。

c. 実際の測定

1) 軌跡の測定

2 値化された画像において、静止時の鼻尖部にマークした点を座標軸の原点 $(0, 0)$ とし、被検者に上記した 4 動作を行わせ、静止時から最大運動時までの 10 段階の顔面の動きに伴うマークした各点の動きを測定し、その軌跡を座標軸上に表記した。

2) 面積比の測定

上記した方法で顔面にマークした各点を数値化することにより、各点間を結ぶ多角形の顔面運動に伴う面積の測定を行った。

大きな領域：

前頭筋の運動を反映する領域として三角形 1-5-6, 2-8-7 同様に眼輪筋については多角形 3-5-9-12-10-6, 4-8-11-13-10-7, 口輪筋については多角形 16-15-14-19-22-23-20, 16-17-18-21-24-23-20 の面積を測定した。

中間の領域：

口輪部を上口唇部、口唇部、下口唇部に分けて、上口唇部は多角形 14-19-20-16-15, 18-21-20-16-17, 口唇部は三角形 20-19-23, 20-21-23, 下口唇部は三角形 19-22-23, 21-24-23 の面積を測定した。

小さな領域：

各表情筋運動の詳細な検討を行うために、眼輪部は三角形 3-5-9, 9-12-10, 3-9-10, 3-6-10, 4-8-11, 11-13-10, 4-11-10, 4-7-10, 口輪部は三角形 15-16-20, 15-19-20, 15-14-19, 20-19-23, 19-22-23, 17-16-20, 17-21-20, 17-18-

21, 20-21-23, 21-24-23 の面積を測定した。

3. 自動計算化について

座標軸表示から面積比測定までの行程は非常に煩雑かつ同様の操作の繰返しとなり、将来的な全自動計測へむけての開発の第一歩として、今回この行程は自動計算できるようにした。これにより当初は1日に一人程度しかできなかった面積比の測定も、今回検討した全顔面運動の計算でおおよそ2分程度でできるようになった。

自動計算の方法

(1) 座標軸表示における並び換え

座標軸表示の際、今回使用した画像処理用ソフトウェア (NIH 開発の Image) では、各コマごとに Y 軸に沿って基準点をラベルして行くので顔面の動きに伴い変化する基準点の番号が Y 軸の変化に伴い各コマごとに変化してしまう。これを修正するために多くの時間が必要であったが、本研究では表計算ソフトウェア付属 (Microsoft 社の表計算ソフトウェア、Excel) の自動計算プログラム作成機能を用い、自動的に X 軸に沿って並べかえる計算を行わせた。

(2) 移動距離、面積の測定

上記した方法により得られた各コマのデータセットより同じく自動計算プログラム作成機能を用い、各基準点の移動距離、各基準点の作る多角形的面積比を自動計算用プログラムを作成した。

結 果

1) 軌跡の表示

鼻尖部のマークを原点 (0, 0) とした座標軸上に、上記 4 種類の動きを示す (図 5)。このようにして、顔面にマークされた各点を数値化することができた。

2) 面積比

a) 閉眼運動について

大きな領域：

各領域での縮小率を示す (図 6)。男性女性ともに眼輪部で強い収縮を認めた。眼輪部での縮小率は、男性 0.78~0.54 (平均 0.68)、女性 0.84~0.61 (平均 0.74) で男性の方が縮小率が大きか

った。前頭部は、男性 1.16~0.73 (平均 0.92)、女性 1.06~0.84 (平均 0.93)、口輪部は男性 1.09~0.92 (平均 1.00)、女性 1.04~0.93 (平均 0.98) と、いずれもほとんど収縮を認めなかった。個々の例をみると、No. 6 男性では、眼輪部で縮小率 0.58 と強い収縮をみたが前頭部では逆に 1.16 と面積の拡大を認めた。左右差は男女ともに有意の差を認めなかった (図 7)。(t 検定、両側 5% 危険率で有意差なし)

中間の領域：

縮小率を示す (図 8)。上唇部は男性 1.12~0.93 (平均 0.99)、女性 1.03~0.92 (平均 0.97)、口唇部は男性 1.19~0.81 (平均 0.99)、女性 1.04~0.90 (平均 0.97)、下唇部は男性 1.12~0.89 (平均 1.02)、女性 1.09~0.91 (平均 1.00) と領域を細分化しても有意な変化を認めなかった。左右差は男女ともに有意の差を認めなかった。(t 検定、両側 5% 危険率で有意差なし)。しかし、個々の例をみると前述した前頭部の面積の拡大を認めた例では、上唇部でも右 1.19、左 1.16 と面積の拡大を認めた。この例は口輪部全体としては右 1.06、左 1.06 であったが、領域を細分化することによって変化が大きい部位を確認できたといえる。

小さな領域：

縮小率を示す (図 9)。右眼輪部は、領域 3-5-9, 9-12-10, 3-9-10, 3-6-10 に、左眼輪部は領域 4-8-11, 11-13-10, 4-11-10, 4-7-10 に細分化して検討した。縮小率は顔面右半分では、3-6-10, 3-9-10, 9-12-10, 3-5-9 の順に小さくなり、同様に右でも 4-7-10, 4-11-10, 11-13-10, 4-8-11 の順に小さくなっていることがわかった。また、領域 3-6-10, 4-7-10 は殆どの例で眼輪部のなかでもっとも縮小率が大きかった。口輪部は領域 15-16-20, 17-16-20 が他の領域に比較して縮小率が大きいことがわかった。

b) 額のしわよせ運動について

大きな領域：

各領域での縮小率を示す (図 10)。男女ともに眼輪部での面積の拡大および前頭部でのわずか

な面積の縮小を認めた。眼輪部での面積の拡大は、男性1.35～1.07(平均1.17), 女性1.17～1.02(平均1.09)で男性の方が拡大率が大きかった。前頭部は、男性1.07～0.81(平均0.96), 女性1.06～0.88(平均0.97)とわずかな収縮を認めた。口輪部は男性1.04～0.99(平均1.01), 女性

1.04～0.97(平均1.01)でありほとんど変化を認めなかった。左右差は男女ともに有意の差を認めなかった(図11)。(t検定, 両側5%危険率で有意差なし)

中間の領域:

縮小率を示す(図12)。上口唇部は男性1.05～

閉眼運動

額のしわ寄せ運動

イーと歯をみせる運動

口笛運動

図5 各動作における軌跡の測定

静止時の鼻尖部にマークした点(矢印大)を座標軸の原点(0, 0)とし, 静止時から最大運動時までの10段階の顔面の動きに伴うマークした各点の動きを測定し, その軌跡を座標軸上に示した。矢印細は時間の流れに沿った点の流れを示している。

0.99(平均1.02), 女性1.04~0.98(平均1.02), 口唇部は男性1.08~0.97(平均1.02), 女性1.04~0.95(平均1.01), 下口唇部は男性1.10~0.90(平均1.00), 女性1.06~0.94(平均1.00)と領域を細分化しても有意な変化を認めなかった. しかし, 個々の例をみると眼輪部で右1.31, 左1.35ととっても大きな面積の拡大をみた男性No. 1では, 下口唇部が右0.92, 左0.94と面積の縮小を認めた. この例は口輪部全体としては右1.00, 左1.02であったので領域を細分化することによって変化が大きい領域を確認できたといえる. 左右差は男女ともに有意の差を認めなかった. (t検定, 両側5%危険率で有意差な

し)

小さな領域:

縮小率を示す(図13). 眼輪部は顔面右半分では領域3-6-10, 3-9-10, 9-12-10, 3-5-9の順に面積の拡大を認めた. 同様に顔面左半分では領域4-7-10, 4-11-10, 11-13-10, 4-8-11の順に面積の拡大を認めた. また, 領域3-6-10, 4-7-10はほとんどの例で眼輪部のなかでももっとも面積の拡大が大きかった. 口輪部のなかでは領域15-16-20, 17-16-20が他の領域に比較して面積の拡大があることがわかった.

図6 大きな領域における閉眼時の最大運動時/安静時の面積比を測定し, これを縮小率として縦軸に, 各領域を横軸にして図に示した.

図7 大きな領域における閉眼時の縮小率の左右をそれぞれ縦軸, 横軸にして図に示した. なお, 図中に各々の領域別に回帰直線を示した.

c) イーと歯をみせる運動について

大きな領域：

各領域での縮小率を示す(図14)．男女ともに口輪部で面積の拡大を認めた．口輪部での面積の拡大は男性1.37～1.08(平均1.19)，女性1.40～1.06(平均1.15)であった．眼輪部は男性1.04～0.64(平均0.89)，女性1.01～0.60(平均0.91)であり，男女ともに収縮を認めた．前頭部は，男性1.09～0.92(平均1.00)，女性1.05～0.91(平均1.00)とほとんど変化を認めなかった．左右差は男女ともに有意の差を認めなかった(図15)．(t検定，5%危険率で有意差なし)

閉眼運動 男性

中間の領域

閉眼運動 女性

中間の領域

図8 中間の領域における閉眼時の最大運動時/安静時の面積比を測定し，これを縮小率として縦軸に，各領域を横軸にして図に示した．

中間の領域：

縮小率を示す(図16)．上口唇部は男性1.15～0.84(平均1.02)，女性1.10～0.89(平均1.01)，口唇部は男性1.83～1.14(平均1.46)，女性2.01～1.08(平均1.35)，下口唇部は男性1.93～1.10(平均1.39)，女性1.73～1.13(平均1.32)であり，口唇部，下口唇部は明らかに面積の拡大をみたが，上口唇部はほとんど変化を認めなかった．領域を細分化することで拡大している領域が明確になったといえる．左右差は男女ともに有意の差を認めなかった．(t検定，両側5%危険率で有意差なし)個々の例をみると眼輪部の面積の縮小を強く認めた例で口唇部，下口唇部で

閉眼運動 男性

小さな領域

閉眼運動 女性

小さな領域

図9 小さな領域における閉眼時の最大運動時/安静時の面積比を測定し，これを縮小率として縦軸に，各領域を横軸にして図に示した．

強い拡大を認めるということとはなかった。

小さな領域：

縮小率を示す(図17)．眼輪部を細分化してみると，男女ともに領域 9-12-10，11-13-10 が他の領域に比較して縮小率が大きかった．上口唇部はほとんど変化を認めなかったが，さらに細分化してみると，男女ともに領域 15-16-20，17-16-20 は縮小し，領域 15-19-20，17-21-20 は拡大し，領域 15-19-14，17-21-18 はほとんど変化がないことがわかった．

d) 口笛(口を尖らせる)運動について

大きな領域：

各領域での縮小率を示す(図18)．男女ともに

図10 大きな領域における額のしわよせ時の最大運動時/安静時の面積比を測定し，これを縮小率として縦軸に，各領域を横軸にして図に示した．

口輪部で強い縮小を認めた．口輪部での縮小率は，男性0.75～0.99(平均0.89)，女性0.81～1.04(平均0.90)であった．眼輪部は男性1.04～0.79(平均0.99)，女性1.02～0.93(平均1.00)，前頭部は男性1.05～0.89(平均1.00)，女性1.03～0.96(平均1.00)といずれもほとんど変化を認めなかった．左右差は男女ともに有意の差を認めなかった(図19)．(t検定，両側5%危険率で有意差なし)

中間の領域：

縮小率を示す(図20)．上口唇部は男性0.96～0.71(平均0.84)，女性0.99～0.77(平均0.88)，口唇部は男性1.17～0.79(平均1.00)，女性1.14

図11 大きな領域における額のしわよせ時の縮小率の左右をそれぞれ縦軸，横軸にして図に示した．なお，図中に各々の領域別に回帰直線を示した．

～0.84(平均0.97), 下口唇部は男性1.10～0.63(平均0.89)女性1.07～0.68(平均0.90)であった。このことから上口唇部, 下口唇部は収縮しているが, 口唇部はほとんど収縮していないことがわかった。左右差は男女ともに有意の差を認めなかった。(t検定, 両側5%の危険率)

小さな領域:

縮小率を示す(図21)。上口唇部を細分化してみると, 領域15-16-20, 17-16-20および領域15-19-20, 17-21-20の縮小率が大きく, 領域15-19-14, 17-21-18の縮小はほとんど認めなかった。さらにこのように細分化することによって上口唇部の領域15-16-20, 17-16-20および

15-19-20, 17-21-20の縮小率の方が, 下口唇部領域19-23-22, 21-23-24の縮小率より大きいことがわかった。また, 眼輪部については細分化しても有意な変化を認めなかった。

考 察

1. 顔面運動の他覚的定量的検討の必要性

我々は, 人間の微妙な表情の変化を認識する優れた能力を持っている。また, 人間の顔面の対称性についても感覚的, 体験的に認識している。しかし, それを客観的定量的に表わす手段には乏しい。評点法は検者の主観が入り客観性を失いやすく, モアレ法は機器も解析法も簡単ではない。もし, 比較的簡単に顔面表情筋の動

図12 中間の領域における額のしわよせ時の最大運動時/安静時の面積比を測定し, これを縮小率として縦軸に, 各領域を横軸にして図に示した。

図13 小さな領域における額のしわよせ時の最大運動時/安静時の面積比を測定し, これを縮小率として縦軸に, 各領域を横軸にして図に示した。

きを客観的定量的に評価できれば、顔面神経麻痺の程度の変化を厳密に追跡できる。それによって、現在行われている種々の検査法や治療法の評価が客観的に行える。つまり、顔面表情筋の動きとどの程度関連しているのかを評価しなおすることができる。現在行われている種々の電気生理学的検査も、測定部位に極めて限局した反応を捕捉しているにすぎない。顔面運動の表情運動を他覚的定量的に全体として評価する必要があるわけである。このような視点にたった研究は多くはない。

佐久間¹³⁾は、800名について、顔面に基準点

を設け、基準点間を直線で結んで多角形を作りその角度を測定している。立体計測法のひとつであるモアレトポグラフィ法を用いて、北條¹⁴⁾、渡辺¹⁵⁾は顔面の断面線に関し、顔面の対称性を検討している。高橋¹⁶⁾は、同じモアレ法を用いて顔面の表面積、体積の対称性を検討し、また、橋本²⁾、井口ら³⁾は、顔面の表情運動の動的観察を検討している。さらに、井口ら^{4)~6)}、前田ら⁷⁾、川上ら⁸⁾は同法で顔面麻痺患者についても検討を加えている。確かに、モアレ法では顔面の部位別の面積および体積の比較分析が可能であるが、種々の特別な機器が必

図14 大きな領域におけるイーと歯をみせる運動時の最大運動時/安静時の面積比を測定し、これを縮小率として縦軸に、各領域を横軸にして図に示した。

図15 大きな領域におけるイーと歯をみせる運動時の縮小率の左右をそれぞれ縦軸、横軸にして図に示した。なお、図中に各々の領域別に回帰直線を示した。

要であり、分析にかなり専門知識を必要とするために一般臨床の場では普及していない。Nee-ly⁹⁾、内藤¹⁰⁾、高北¹¹⁾は、コンピューターに画像を取り込み、画像処理を加えて顔面の動きのある部分とない部分をコンピューターに識別させて、動いた部分の面積を検討している。この方法は顔面全体の変化をとらえることは可能であるが、特定の部位の変化を別々に検討することは困難である。また、画像処理の2値化の段階で多くの症例で条件を統一するのは難しいと考える。小澤¹²⁾は、顔面に発光ダイオードを貼り付けて表情運動に伴う軌跡の撮影を行っているが、定量化にいたっていない。

イーと歯をみせる運動 男性
中間の領域

イーと歯をみせる運動 女性
中間の領域

図16 中間の領域におけるイーと歯をみせる運動時の最大運動時/安静時の面積比を測定し、これを縮小率として縦軸に、各領域を横軸にして図に示した。

筆者らは、近年普及している画像処理を応用し、顔面表情運動を全体として定量的に評価することができた¹⁷⁾¹⁸⁾。

2. 今回の方法に関する考察

1) 顔面計測基準点の選定

前述したように顔面表情筋は多くの筋線維から構成されている。今回検討した4種類の表情運動においても、複数の筋が共同して収縮していると思われる。したがって個々の筋の収縮を検討しようとするれば、顔面上のマークをできるだけ多くとって検討する必要がある。今回、検査時間、マークした点の再現性、表情筋の走行を考慮して上記した24点とした。つぎに、顔面

イーと歯をみせる運動 男性
小さな領域

イーと歯をみせる運動 女性
小さな領域

図17 小さな領域におけるイーと歯をみせる運動時の最大運動時/安静時の面積比を測定し、これを縮小率として縦軸に、各領域を横軸にして図に示した。

正中線の設定は解剖学上の計測基準線の設定として重要である．正確に顔面正中線を定めたものとして，鈴木ら¹⁹⁾は，左右内眼角結合線の中点と，鼻下点を結んだ直線とし，腰原²⁰⁾は，左右内眼角結合線の中点を通り眼耳平面に垂直な直線，阿佐美²¹⁾は，鼻尖と上唇赤唇のV形切痕の最深点を結んだ直線を，それぞれ規定している．また，北條¹⁴⁾はモアレ縞による顔面対称性に関する研究で，左右内眼角結合線の中点と上唇点を結んだ直線および，左右内眼角結合線の中点と鼻下点を結んだ直線が，モアレ縞による正中計測点に近い傾向があると述べている．今回の我々の検討では鼻下点および，上唇

点は口唇部の運動に伴い動きが大きかったり，画像上不鮮明になることがあるため，鼻尖点を(x, y)=(0, 0)とし，鼻尖点を通り左右内眼角結合線の中点を結んだ直線をY軸，顔面正中線とした．

2) 顔面表情筋と顔面皮膚との関係

顔面上につけたマークは表情筋上に直接接しているのではなく皮膚を介しているので表情筋と皮膚との関係が問題となる．柳原²²⁾は，表情筋は真皮下にある薄い筋で，筋表層の筋膜が真皮下の結合織に付着する．収縮により付着部の皮膚を一定方向に引っ張る役割をはたす．眼と口の動きに加えて顔面の皮膚が短縮したり引

図18 大きな領域における口笛運動時の最大運動時/安静時の面積比を測定し、これを縮小率として縦軸に、各領域を横軸にして図に示した。

図19 大きな領域における口笛運動時の縮小率の左右をそれぞれ縦軸、横軸にして図に示した。なお、図中に各々の領域別に回帰直線を示した。

き伸ばされたりして複雑な表情が形成される。したがって、表情を認識する手掛かりは、眼のうごき、口の動きと皮膚の溝とシワの動きによってえられる。シワは顔面筋の収縮の方向と直角の方向に形成される。若い人の皮膚は弾性線維が伸縮性に富み、表情運動により形成されたシワは筋収縮の弛緩と共に素早く消失すると述べている。本研究の検討対象は20歳代の若い人であり、表情筋の収縮がかなり直接的な形で皮膚上に反映されているものと考ええる。加齢が進むと皮膚と皮下組織のたるみが起こり、皮膚上のマークの動きが悪くなる可能性があるが、今後の展望のひとつとして加齢による表情の変化

を同様の手法で定量化できるのではないかと考えている。

3) 自動化したことの意義

本研究はコンピューター本体の性能に依存するところが大きい。今回、座標軸表示から面積比測定までの非常に煩雑かつ時間のかかる行程の自動計算化に成功した。実際の臨床の場で実用化するにあたり、さらに今回の検討結果をもとに各表情運動においてあまり面積変化のない領域の計算を省略することも考えている。いずれにせよ、自動化により約2分の短時間で面積比まで得られるので、臨床の場において顔面表情筋の動きの変化を客観的にとらえられるよ

図20 中間の領域における口笛運動時の最大運動時/安静時の面積比を測定し、これを縮小率として縦軸に、各領域を横軸にして図に示した。

図21 小さな領域における口笛運動時の最大運動時/安静時の面積比を測定し、これを縮小率として縦軸に、各領域を横軸にして図に示した。

うになった。

3. 結果について

1) 軌跡の表示について

各々の運動における代表的な軌跡のパターンを図5に示したが、これをみると、表情運動の違いによる各基準点の動きを、全体的に視覚的なパターンとしてとらえることができる。さらに必要であれば、ひとつの基準点の移動距離、角度も算出できる。

2) 面積比(縮小率)について

(1) 閉眼運動について

眼輪部全体をみると縮小率の平均値は男性の方が高かった。この理由として、男女間の筋力の違い、皮下結合織の厚さの違い、また、女性特有の恥じらいなど精神的要因があったとも考えられる。小さな領域に分解してみると、領域3-6-10, 4-7-10の縮小率が非常に大きいことがわかったが、この領域には、解剖学的見地からみるとM. orbicularisだけでなく、M. procerus, M. corrugator supercilii, M. lacrimalisがあり、これらの共同運動の結果が現われたものとする。また領域15-16-20, 17-16-20が口輪部の中で縮小率が高くでたことで、眼輪部以外でも共同して収縮している筋があることがわかった。

(2) 額のしわ寄せ運動について

前頭部領域の面積変化より眼輪部の面積拡大が大きかった。この運動においても拡大率の平均値は男性の方が高かった。この理由としては閉眼運動について述べた同じ理由が考えられる。小さな領域に分解してみると、閉眼運動で収縮率の非常に高かった領域3-6-10, 4-7-10の拡大率が非常に大きいことがわかったが、閉眼運動で述べた同じ筋の共同運動があるものとする。また、やはり、閉眼運動で収縮を認めた口輪部の領域15-16-20, 17-16-20が逆に拡大していることがわかった。さらに、閉眼時に眼輪部で縮小率の高かった順に額のしわ寄せ運動では拡大率が高いという結果がでた。これらのことから、閉眼運動と額のしわ寄せ運動、眼輪部

と口輪部においては全く逆のパターンで表情運動が行われているということができ非常に興味深い結果といえる。

(3) イーと歯をみせる運動について

口輪部の動きをくわしくみると、口唇部の領域20-19-23, 20-21-23は口が開くこともあり面積が拡大することは頷けるが、下口唇部の領域19-22-23, 21-24-23の面積の拡大をみた。これは、M. zygomaticus major, M. levator anguli orisの収縮によってマーク19, 21が上方へ引き上げられると同時にM. depressor labii infが収縮してマーク22, 24が下方に引き下げられた結果によるものと考えた。上口唇部もくわしくみると、領域15-16-20, 17-16-20が縮小しているが、これはM. orbicularis orisの収縮を反映していると考えた。また、領域15-19-20, 17-21-20の拡大はM. orbicularis orisの収縮に、M. levator labii superioris, M. zygomatics minorの収縮が加わっているからではないかと考えた。また、頬部が引き上げられることによって眼輪部の下方の領域9-12-10, 11-13-10の縮小を確認できた。

(4) 口笛(口を尖らせる)運動について

口笛運動においては、前頭部、眼輪部は領域を細分化してもほとんど面積の変化を認めなかった。口唇部の領域20-19-23, 20-21-23はマーク19, 21が内方に引き寄せられるにつれて、マーク20が上方に、マーク23が下方に引っ張られるために全体として面積にはほとんど変化を認めなかったのではないかと考えた。また、口笛運動については、M. orbicularis orisの収縮が強く、口輪部のその他の筋の収縮があまりないためにマーク19, 21, 20, 23の移動に伴って、マーク15, 17, 22, 24の移動があまりないために、結果として上口唇部、下口唇部の面積の縮小をみたのではないかと考えた。

(5) 左右差について

今回検討した4種類の表情運動すべてを通じて男女ともに、面積の縮小、拡大率の左右差は6%以内であった。しかし、同一運動の同一領域

域でも個人差は大きく、たとえば、閉眼運動を示す眼輪部をみると、男性で78%~54%とかなり大きい。したがって麻痺例を検討するには左右差をみるのが適当と考える。従来感覚的、経験的にとらえられてきた顔面の対称性について北條¹⁴⁾は、モアレ縞による定量的観察において、顔面全体としてみた場合、顔面の下部は上部に比べて比較的対称性が低く、特にオトガイ部の対称性が低いと述べている。また、井口³⁾は、モアレ法で顔面運動時の非対称性の分析を行った結果、総合の平均では、 $3.2 \pm 0.5\%$ の非対称率を示したとしている。ただし、これは顔面正中線と基準点を結んだ直線の距離に関する検討であった。今後、顔面麻痺患者を本法で評価する際、今回の解析結果を考慮にいれて検討する必要がある。

(6) スコア法との関連について

閉眼運動、額のしわよせ運動においてももっとも面積の縮小率の大きかったのは領域3-6-10、4-7-10であった。今後、顔面麻痺患者を本法で評価する際に注目すべき領域と考える。従来行われてきたスコア法においても、この領域の動きが大きいことに注目することは意義があると考えられる。

(7) 異常共同運動について

今回、閉眼時に口輪部の領域15-16-20、17-16-20の面積縮小、額のしわよせ時に同領域の拡大を定量的に確認できた。これは生理的共同運動ともいえる運動を確認できたことになる。同様に異常共同運動や顔面けいれんも本法で検討可能であることがわかり、後遺症の評価にも本法は威力を発揮することが期待される。

以上、今回正常成人から得られた結果をみると、男女差、左右差、共同運動などを客観的に評価できていることがわかる。今後、今回の研究結果を考慮して顔面麻痺患者の検討を行う予定である。その他、将来はスコア法との比較、異常共同運動の検討、加齢による表情運動の変化など多くの研究に役立つはずである。

結 論

20歳代の健常成人、男性22名、女性24名を対象にコンピューターを利用した顔面表情運動の定量的検討を行った。

1) 顔面表情運動を、動画入力ソフトウェアテクスチャーを利用してコンピューターに取り込み、顔面表情運動をデジタル化し、画像処理(2値化)により顔面に貼り付けたマークのみを抽出し数値化を行い比較検討した。

2) 顔面上の各点の顔面の動きに伴う軌跡を数値化することができた。

3) 閉眼、額のしわよせ、イーと歯をみせる、口笛の4種類の表情運動それぞれについて、顔面に貼り付けたマークを結んでできる多角形の面積を求め、安静時と最大運動時の面積比を計算した。その結果、すべての運動を通じて男女ともに左右差は6%以内であった。

4) 多角形の面積を細分化することによって表情運動の微細な変化をとらえることができた。閉眼運動では、領域3-6-10、4-7-10の縮小率が高かった。額のしわよせ運動では、領域3-6-10、4-7-10の拡大率が高かった。

5) 閉眼時に領域15-16-20、17-16-20の縮小、額のしわよせ時に同領域の拡大を定量的に証明できた。このことは、正常者における共同運動を客観的に説明し定量化できたといえる。

6) 座標軸表示から面積比測定までの非常に煩雑かつ時間のかかる行程の自動化により大幅なデータ処理時間の短縮が可能となった。

謝 辞

稿を終わるに臨み、ご指導ご校閲を賜りました村田清高教授に深甚なる謝意を捧げます。また、本研究の完成まで終始直接ご指導頂きました磯野道夫博士に深く感謝申し上げます。本研究に際しご協力頂きました本教室医局員各位および被検者の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) House JW and Brackmann DE : Facial nerve grading system. Otolaryngology Head and

- Neck Surgery **93** : 146~147, 1985.
- 2) 橋本 淳 : モアレ縞応用による顔面の動的観察 —表情運動の変化について—. 歯科学報 **73** : 1507~1560, 1973.
- 3) 井口郁雄, 川上晋一郎, 前田 学, 他 : モアレ法による顔面運動時の非対称性の分析. Facial Nerv Res **10** : 165~168, 1990.
- 4) 井口郁雄 : モアレ法による顔面神経麻痺の程度評価法の開発. 日耳鼻 **95** : 715~725, 1992.
- 5) 井口郁雄, 前田 学, 川上晋一郎, 他 : モアレ法による乳幼児顔面神経麻痺の評価. Facial Nerv Res **11** : 203~206, 1991.
- 6) 井口郁雄, 結縁晃治, 前田 学, 他 : 顔面神経麻痺程度評価へのモアレ法の応用. Facial Nerv Res **12** : 85~90, 1992.
- 7) 前田 学, 井口郁雄, 川上晋一郎, 他 : モアレ縞パターンによる顔面神経麻痺の評価. Facial Nerv Res **11** : 199~202, 1991.
- 8) 川上晋一郎, 井口郁雄, 前田 学, 他 : モアレ法による顔面神経麻痺の程度評価法. Facial Nerv Res **10** : 169~172, 1990.
- 9) Neely JG, Cheung JY, Wood MW, et al : Computerized Quantitative Dynamic Analysis of Facial Motion in the Paralyzed and Synkinetic Face. Am J Otol **13** : 97~107, 1992.
- 10) 内藤 泰, 庄司和彦, 中村 一, 他 : ビデオ画像のデジタル処理による顔面神経麻痺程度の判定. Facial Nerv Res **9** : 83~86, 1989.
- 11) 高北晋一, 藤田修司, 内藤恵理, 他 : 画像解析による客観的顔面神経麻痺程度判定 —サブトラクション法について—. 耳鼻臨床 **86** : 61~66, 1993.
- 12) 小澤哲夫, 杉田俊明, 中村光士郎, 他 : 軌跡撮影による顔面表情筋の客観的評価法. Facial Nerv Res **11** : 195~198, 1991.
- 13) 佐久間太郎 : 日本人顔部形態の計測学的研究 —特にその年齢的变化について—. 人類学, 人類遺伝学, 体質学論文集 **28** : 1~35, 1958.
- 14) 北條健三 : モアレ縞による顔面の対称性に関する研究. 歯科学報 **81** : 1203~1237, 1981.
- 15) 渡辺一民 : 顔の対称性に関する研究 —いわゆる正中線の設定に関する検討—日大歯学 **53** : 1037~1047, 1979.
- 16) 高橋 健 : 顔の対称性に関する研究 —表面積および体積について—. 日大歯学 **54** : 461~474, 1980.
- 17) 磯野道夫, 村田清高, 田中久哉, 他 : コンピューター画像処理を利用した顔面神経麻痺の他覚的評価法. 日耳鼻 **97** : 393~400, 1994.
- 18) 磯野道夫, 村田清高, 箕山 学, 他 : 顔面表情運動の計量診断の試み. Facial Nerv Res **13** : 173~177, 1993.
- 19) 鈴木勝志, 若月英三, 野村 淳, 他 : 歯列正中線の位置に関する研究 —(1)個体別にみた歯列正中線上下唇小帯, 顔面正中線的一致状況—. 口腔解剖研 **32** : 28~36, 1973.
- 20) 腰原 好 : 顔面ならびに顎における形態と機能との相関性に関する研究. 歯科学報 **68** : 329~355, 1968.
- 21) 阿佐美和夫 : 顔面規格写真による前面からみた日本人顔面の解剖学的研究その1 —閉口時の顔面—. 歯科学報 **78** : 835~878, 1978.
- 22) 柳原尚明 : 老人と表情. ライブライフ **26** : 30~34, 1993.

(原稿受付 : 平成 6 年 3 月 3 日
原稿採択 : 平成 6 年 3 月 23 日
別刷請求先 : 田中久哉
〒580 狭山市大野東377-2
近畿大学医学部耳鼻咽喉科学教室)