コンピューターによる顔面神経麻痺の評価

川本 亮・磯野 道夫・村田 清高
斉藤 啓・宮下 仁良

Evaluation of Facial Nerve Paralysis Using
a Computer

Makoto Kawamoto, Michio Isono, Kiyotaka Murata,
Kei Saito and Hiroaki Miyashita

(Kinki University)

House and Brackmann's grading system, Fisch's grading system and Yanagihara's 40-points method are widely used for the testing of the severity of facial paralysis. These methods are very convenient and simple, requiring no sophisticated instruments. Since these evaluations depend on the subjective judgment of the examiners, objectivity and reproducibility have always been the problem with these methods.

To address this problem, the movement of markers attached to a subject's face was measured with a video camera and a personal computer suitable for daily clinical practice. This method was useful for evaluating facial nerve paralysis quantitatively and objectively.

A new analysis system using a computer with an infrared camera allowed more detailed numerical evaluation of the velocity of facial movement. In the improvement process of paralysis, the differences between the right and the left side disappeared first in the movement distance and then in the velocity. When comparing the improvement course of paralysis in the orbicularis oculi area and the oris area, the orbicularis oculi area showed gradual uniform improvement corresponding to improvement in the 40-points method, while the orbicularis oris area showed gradual initial improvement, followed by rapid improvement in many cases.

The infrared camera system shortens analysis time, but the cost is rather high. This method is useful for the evaluation of the reliability in scoring methods, objectively detailed evaluation of the mechanism of the movements of the facial expression muscles, and feedback of the analysis results for use in conventional scoring methods.

Key words : facial movements, objective evaluation method, facial nerve paralysis

緒 言

顔面神経麻痺患者における麻痺程度の判定は、世界的には House-Brackmann 法¹⁾の採用が普及しており、日本では顔面神経研究会提唱の 10 項目 40 点法²⁾が広く用いられている。これらの評価法は、特別な器具を必要とせず、誰にでも何処でも行える簡便な検査であり、患者に苦痛を与えないなどの利点から、広く利用されている。

しかし反面これらの評価法は、検者の主観に頼っているために、検者の経験による差や、検者によって評価が異なるなど、再現性等に疑問がもたれるようになった。そのため、他覚的な顔面神経麻痺の評価法が要求された。今まで色々な方法が報告されてきたが、広く臨床に応用されるには至っていない。そこで著者らは、動画を簡便に処理し得るコンピューターの機能に注目し、取り込ん

だ動画を分解して画像処理を加えることにより、顔面表情運動の数量化に成功した³⁾。そして田中⁴⁾は、この方法を用いて顔面の微細な運動を、顔面に貼り付けた24個のマーカーによってできる三角形の面積について検討を行うことで有意義な結果を報告した。

そこで、まずこの日常の臨床の場でも使用可能な安価な家庭用ビデオカメラとコンピューターを用いた方法を使用して、顔面上のマーカーの移動距離を測った結果、他覚的かつ定量的に優れた顔面神経麻痺の評価法であると考えられたのでこれを報告し、次にコンピューター解析を駆使した新しい解析システムでさらに詳細な評価を可能としたことで、今までに知り得なかった麻痺の改善経過の特徴について解明したのでここに報告する。

方 法

1. 家庭用ビデオカメラを用いたコンピューターによる解析

1) 実験方法

(1) 画像入力方法

測定に用いる顔面表情運動：40点法やFisch⁵⁾の評価法に含まれる強い閉眼運動、額のしわ寄せ運動、イーと歯をみせる運動および口笛運動を用いた。

測定点：解剖学的な筋の配置を考えた上で再現性のある点を選び、顔面上に24カ所の測定点を設けた。測定点

に貼り付けるマーカーは、直径6mmの白色フェルト地を利用した(図1)。

使用機器および測定方法：使用機器ならびに画像の取り込み方法は磯野ら³⁾、田中⁴⁾が報告した方法に準じた。顔面固定装置を作製し、これを用いて被験者の頭部を固定し、被験者に上記の4通りの顔面表情運動を行わせて、顔とスケールを同時に家庭用ビデオカメラ(Sony社製、CCD-TR55)で撮影する。このビデオ画像をコンピューター(アップル社製、Macintosh Quadra 840AV)に取り込む。

(2) 画像解析方法

取り込まれた画像は動画編集用ソフトウェア(Adobe社製 Premiere)上で安静時から最大運動時まで10コマの選別を行い不要な部分を削除した後、汎用画像解析用ソフトウェア(NIH Image)で読み込む。ここで画像の反転、2値化の過程を経て顔面上のマーカーのみが抽出される(図2)。そして、画像上の各マーカーを座標軸上の点に変換し、安静時の鼻尖部の点を座標軸(0, 0)とし、10段階の顔面の動きに伴うマーカー各点の動きからその軌跡を計測した(Microsoft社製 Excel)(図3)。次に、これらの差の絶対値を求めることにより移動距離を測定した。例えば、安静時のコマのある測定点が (x_1, y_1) であったとすると次の画像である2コマ目は (x_2, y_2) となっており、その移動距離は

マーカ-	1.2	眉毛最上点の上方1.5cm
マーカ-	3.4	眉毛最上点
マーカ-	5.8	眉毛最外側
マーカ-	6.7	眉毛最内側
マーカ-	9.11	外眼角点の外側1.5cm
マーカ-	10	左右内眼角結合線の中点
マーカ-	12.13	眼窩点
マーカ-	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の交点
マーカ-	15.17	鼻翼点
マーカ-	16	鼻尖点
マーカ-	19.21	口唇交点の外側1.0cm
マーカ-	20	上唇点
マーカ-	23	下唇点
マーカ-	22.24	口唇交点の外側1.0cmとオトガイ点を結んだ直線の中点

図1 測定点

顔面上に貼り付ける24個のマーカーの位置

図2 画像解析方法

ビデオ画像をコンピューターに取り込む (A), 顔面固定装置に取り付けたスケールを合わせ画像を反転させる (B), 顔面以外の必要のない範囲を削除する (C), 2 値化処理を行い (D), マーカー以外の部位を消去する (E), コンピューターに各マーカーのラベリングを行わせる (F). この時点で各マーカーの座標軸上の位置の評価が可能となる.

$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ となる. このようにして 10 コマすべての移動距離を求めてその和を求めることで, 安静時から最大運動時までの軌跡の距離が計測できる.

2) 実際の測定

(1) 対象

対象は顔面神経麻痺の既往のない健常成人 46 例 (男性 22 例, 女性 24 例) と, 顔面神経麻痺患者 12 例 (ベル麻痺 9 例, ハント症候群 3 例) である. なお, 顔面神経麻痺患者はいずれも発症後 2 週以内に近畿大学医学部付属病院耳鼻咽喉科外来を受診し, その経過を 3 週以上観察できた症例である. 被験者には, 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.

(2) 検討項目

① 正常者に対して

顔面上に貼り付けた 24 個のマーカーが顔面表情運動の際に描く軌跡の距離を計算し, 次の項目について検討し

た.

a) 移動距離の検討

a-1) 各顔面表情運動の際に顔面正中部の 4 個のマーカー (マーカー 10, 16, 20, 23) のなかで移動距離が最も小さいのはどのマーカーか (図 1).

a-2) 顔面左右各 10 個のマーカー (マーカー 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 24) のなかで各顔面表情運動において最も移動距離が大きなマーカーはどれか (図 1).

b) 再現性の検討

b-1) 努力の違いによる検討: 男女 20 例の被験者において同じ動作を連続して 5 回行わせ, 被験者の顔への力の入れ具合の変化を検討し, その差を検討した.

b-2) 検査日の違いによる検討: 同一被験者において少なくとも 1 日以上間隔をあけて, 検査日の違いによる差を検討した.

図 3 健康人における 24 個のマーカーの動き

②顔面神経麻痺患者に対して

顔面左右各 10 個のマーカー [上記 2) (2) ① a-2)] を検討の対象とし、各顔面表情運動時における正常側のマーカーの移動距離の総和と麻痺側のマーカーの移動距離の総和の比 (Σ 麻痺側/正常側) を求めた。本研究ではこの比を顔面神経麻痺のデジタルスコア (以下、デジタルスコアと略す) と呼び、これを用いて以下の検討を行った。

- a) 顔面神経麻痺改善過程の評価
- b) 40 点法との比較

40 点法については、各検査日におけるスコアの点数を 40 で割って、デジタルスコアと同様に比で表現した。

2. 赤外線カメラを用いたコンピューターによる解析

1) 実験方法

(1) 画像入力方法

使用機器：マーカー；半球型 4 mm 赤外線反射マーカー (Qualisys 社製)

カメラ；赤外線 CCD デジタル 60 Hz NP カメラ (Qualisys 社製)

ビデオプロセッサ (Qualisys 社製)

画像取り込みソフトウェア；MacReflex 3D ソフトウェア (Qualisys 社製)

解析ソフトウェア；Wingz ベース解析ソフトウェア (Investment Intelligence 社製)

コンピューター；Macintosh Quadra 840AV

測定方法：原理的には家庭用ビデオカメラを用いた方法と変わらない。まず、顔面上に赤外線反射マーカーを貼り付け、被験者に顔面表情運動を行わせる。これを今までの家庭用ビデオカメラの代わりに赤外線 CCD デジタル 60 Hz NP カメラで撮影し、ビデオプロセッサで赤外

線反射マーカ―を抽出する。このデータはコンピューターに送られ、動画解析ソフトウェアで赤外線反射マーカ―の位置と移動に関する情報が数量化される。このデータはWingz ベース解析ソフトウェア上でマーカ―は時間軸に沿った座標軸上のデータとして表現され、マーカ―の移動距離や移動速度などが測定される⁶⁾。この方法では、測定開始から9分6秒(毎秒60個の座標データが得られるため計32760個)までの移動距離および移動速度を解析することが可能となった。本研究での測定時間は10秒間(つまり600個の座標データが得られる)とし、この間に5回顔面表情運動を行わせて検討した。

(2) 画像解析方法

マーカ―の移動距離および移動速度の測定方法の1例を示した。(図4A～D)。

移動距離；A・Bのグラフは閉眼運動を10秒間に5回行わせた時の眉毛最上点のY座標の位置を示したものである。縦軸に眉毛最上点のY座標の位置を示し横軸に時間を示す。各々の波は閉眼から安静時に戻るまでの1回の動きを示し、その振幅がY軸方向の移動距離である。眉毛最上点のX座標の位置についても各時間におけるデータが得られるので(x_1, y_1)から(x_{600}, y_{600})までの600個のデータが得られる。この10秒間の総移動距離の左右比を求め評価を行った。5回の運動のなかで被験者

の努力の差によって多少振幅のばらつき、つまり移動距離のばらつきが生じているのがわかる。しかし、正常側の距離が大きい時は麻痺側の距離も大きいため、左右比で評価する場合は問題はない。また麻痺時(A)には、正常側に比べ麻痺側の振幅が小さい、すなわち移動距離が小さく、これに比べ麻痺改善時(B)には、ほとんど左右の移動距離に差が認められないことがわかる。

移動速度；C・Dのグラフは撮影開始から10秒間における眉毛最上点のY軸方向の移動速度を示したもので、グラフの縦軸が眉毛最上点のY軸方向の移動速度であり、横軸に時間を示している。図のマイナスの部分が入向きの速度つまり閉眼時の速度で、プラス部分が上向きの速度つまり閉眼から安静時に戻すときの速度を示している。マイナス部分の振幅の最大値が閉眼時の最大移動速度でありこれの左右比を求め評価を行った。移動距離の場合と同じく被験者の努力の差によって多少振幅のばらつき、つまり最大移動速度のばらつきが生じているのがわかるが、左右比で評価する場合は問題はない。また麻痺時(C)には、正常側に比べ麻痺側では最大移動速度が遅く、麻痺改善時(D)には、ほとんど左右差を認めなくなっていることがわかる。

2) 実際の測定

(1) 正常者に対して

図4 赤外線マーカ―法における移動距離および移動速度の測定

①移動距離の左右比

対象は顔面神経麻痺の既往のない健常成人 40 例(男性 20 例, 女性 20 例)である。顔面上の左右のマーカーの移動距離を求めてその左右比を調べた。また左右の有意差について t 検定(危険率 5%)を用いて検討した。測定するマーカーは、眼輪部ではマーカー 3, 4(眉毛最上点)とマーカー 6, 7(眉毛最内側点)を用い、口輪部ではマーカー 19, 21(口唇交点の外側 1.0 cm の点)とマーカー 22, 24(口唇交点の外側 1.0 cm の点とオトガイ点を結んだ直線の中点)を用いた。

②移動速度の左右比

対象は顔面神経麻痺の既往のない健常成人 63 例(男性 33 例, 女性 30 例)について顔面上のマーカーの最大移動速度を求めて左右比を調べた。測定するマーカーは眼輪部ではマーカー 3, 4(眉毛最上点)を口輪部では、マーカー 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)を用いた。

(2) 顔面神経麻痺患者に対して

対象はベル麻痺 8 例とハント症候群 4 例の計 12 例である。検討した顔面表情運動は眼輪部は強い閉眼運動と額のしわ寄せ運動を、口輪部はイーと歯をみせる運動を用い、各週ごとに各マーカーの移動距離の左右比と最大移動速度の左右比を求めて次の 2 つの項目について検討した。

①顔面神経麻痺の改善経過について

②部位別な改善の検討(眼輪部と口輪部)

実験結果

1. 家庭用ビデオカメラを用いたコンピューターによる解析

1) 正常者の測定結果

(1) 移動距離

①各々の顔面表情運動における移動距離の小さな(動きの小さい)マーカーについて

図 5 各顔面表情運動における顔面正中部の 4 個のマーカーの移動距離

図6 各顔面表情運動における右顔面の各マーカーの移動距離

健常成人46例の各顔面表情運動における顔面正中部の4個のマーカーの移動距離を検討した。移動距離が最も小さいのは、閉眼運動ではマーカー16（鼻尖点）であり、額のしわ寄せ運動ではマーカー23（下唇点）であった。イーと歯をみせる運動と口笛運動においてはマーカー10（左右内眼角結合線の中点）であった（図5）。

②各々の顔面表情運動における移動距離の大きな（動きの大きい）マーカーについて

健常成人46例の各顔面表情運動における右顔面の各マーカーの移動距離を検討した。閉眼運動と額のしわ寄せ運動においては、マーカー3（眉毛最上点）とマーカー6（眉毛最内側点）の移動距離が大きかった。イーと歯をみせる運動と口笛運動では、マーカー19（口唇交点の外側1.0 cmの点）の移動距離が大きかった（図6）。

(2) 再現性の検討結果

①努力の違いによる検討：被験者に閉眼運動を連続し

て5回行わせ、各回の眉毛最上点の左右比（マーカー3/マーカー4）を検討した。閉眼運動では3回以上の平均を取れば、ほとんど差を認めなかった（図7）。

②検査日の違いによる検討：閉眼運動において移動距離が大きかった眉毛最上点について検討した結果、検査日によっては多少のバラツキがあるが、右側の動きの良い日は左側の動きも良く、左右比ではその差はほとんどないことがわかった。他の顔面表情運動においても同様であった（図8）。

2) 顔面神経麻痺患者の検討結果

(1) 顔面神経麻痺改善過程の評価

麻痺患者の1週ごとの改善過程を検討した。ほぼ全例においてデジタルスコアが1に近づくまでの麻痺の改善傾向が数量的に評価できた（図9）。

(2) 40点法との比較

麻痺患者のデジタルスコアと40点法の改善経過を比較

図7 努力の違いによる再現性の検討 (閉眼運動)

横軸に各回の平均値を (例えば2回平均とは、1回目の左右比と2回目の左右比の合計を2で割った値である.), 縦軸に20人の平均値と ± 1 標準偏差を示す. 3回平均以上で標準偏差が0.1以下となった.

図8 検査日の違いによる検討 (眉毛最上点)

した (図10). 12例中10例において高い相関が得られた ($r = 0.91 \sim 1.00$).

2. 赤外線カメラを用いたコンピューターによる解析

1) 正常者の測定結果

(1) 移動距離

各顔面表情運動における移動距離の左右比を図11に示す.

閉眼運動において、マーカー3と4の左右比は 0.91 ± 0.07 ($r = 0.97$), マーカー6と7は 0.93 ± 0.06 ($r = 0.98$), さらに眼輪部全体 (マーカー3 + 6とマーカー4 + 7の比) でもその左右比は 0.95 ± 0.05 ($r = 0.99$) で, 有意な差を認めなかった.

額のしわ寄せ運動においてはマーカー3と4の左右比は 0.93 ± 0.04 ($r = 0.97$). マーカー6と7の左右比は

0.94 ± 0.05 ($r = 0.98$), さらに眼輪部全体としての左右比でも 0.95 ± 0.03 ($r = 0.99$) で, 左右に有意な差を認めなかった.

イーと歯をみせる運動においてはマーカー19と21の左右比は 0.92 ± 0.06 ($r = 0.98$), マーカー22と24の左右比は 0.93 ± 0.05 ($r = 0.97$), さらに口輪部全体 (マーカー19 + 22とマーカー21 + 24の比) としての左右比は 0.95 ± 0.03 ($r = 0.99$) で, 左右に有意な差を認めなかった.

口笛運動においてはマーカー19と21の左右比は 0.92 ± 0.07 ($r = 0.96$), マーカー22と24の左右比は 0.93 ± 0.05 ($r = 0.97$), さらに口輪部全体でもその左右比は 0.95 ± 0.04 ($r = 0.99$) で, 左右に有意な差を認めなかった.

図9 顔面神経麻痺改善過程

顔面神経麻痺患者12例の1週ごとの改善過程を示す。グラフの縦軸にデジタルスコア、横軸に時間経過を示す。ほぼ全例において麻痺の経過に伴ってデジタルスコアが1に近づき、麻痺の改善傾向が数量的に評価できた。また2週目においてデジタルスコアの低下を認める症例が数例認められた。

(2) 移動速度

各顔面表情運動における最大移動速度の左右比を図12に示す。

閉眼運動においてはマーカー3と4の左右比は 0.89 ± 0.08 ($r = 0.96$)であった。

額のしわ寄せ運動においてはマーカー3と4の左右比は 0.86 ± 0.10 ($r = 0.94$)であった。

イーと歯をみせる運動においてはマーカー22と24の左右比は 0.88 ± 0.10 ($r = 0.94$)であった。

口笛運動においてはマーカー22と24の左右比は 0.88 ± 0.09 ($r = 0.96$)であった。

いずれの運動においても左右の強い相関があることがわかった (Spearman および Kendall の順位相関係数, $p < 0.01$)。

2) 顔面神経麻痺患者の測定結果

(1) 麻痺改善経過について

顔面神経麻痺患者における眼輪部の移動距離および最大移動速度の改善経過を図13に示す。麻痺の改善経過を理解しやすくするため、40点法も加えた (縦軸をスコア/40にして表した)。全症例において麻痺の改善とともに移動距離および最大移動速度の左右比が1に近づく、つまり左右差がなくなる傾向を示した。12症例中 case 1,

2, 5～11の9症例においては移動距離の左右差が最大移動速度の左右差よりも先に改善する傾向を示し、case 3, 4, 12の3症例は移動距離と最大移動速度がほぼ同時に改善傾向を示した。

(2) 部位別な改善の検討 (眼輪部と口輪部)

移動距離の左右比を用いた全症例の麻痺の改善経過を図14に示す。眼輪部は、40点スコアと対応して経過とともに徐々に均等に改善する傾向が強いことがわかる。これに対して、口輪部は、麻痺の当初は緩慢な改善を示し、改善し始めると急速に改善する傾向を示した。

移動速度の左右比を用いた全症例の麻痺の改善経過を図15に示す。移動距離の場合と同様に眼輪部は、徐々に均等に改善する傾向が強く、口輪部は、麻痺の当初は緩慢な改善を示し、改善し始めると急速に改善する症例が多かった。

考 察

1. 家庭用ビデオカメラを用いたコンピューターによる解析

1) 正常者について

顔面表情筋は非常に多くの筋線維から構成されており、それらが協調して働き表情を作っているため、個々の筋の働きを探ることは困難である。しかし、顔面の表情はこれらの筋線維に加え皮下組織そして皮膚が緊密に共同し合うある一定の大きさの領域の動きによって形作られている。したがって、この領域を代表する点を選び、それらの点の動きを捕らえれば、顔面表情運動のアウトラインを掴むことが可能となる。これらの点は解剖学的な筋の配置を考えた上で再現性のある点を選択する必要がある。ここでは、上記の事実をふまえた上で顔面上に24カ所の測定点を採用した (図1)。この測定点は Isono⁷⁾ や田中⁴⁾ の報告で用いられたものと同じである。画像の入力、2値化およびマーカーの位置情報の数値化の過程はパーソナルコンピューターで動画が扱えるようになって以来、今では一般化した方法である。この手法を顔面表情運動に応用したのは、本邦では磯野ら³⁾⁸⁾ が最初である。本研究においてもこれらの報告と同様の方法を用いた。これらの報告で解決されていなかったのは、顔面表情運動の基準となる点をどこにするかということであった。顔面表情運動を定量的に評価する際、表情運動の大小あるいは、動きの違いに左右されない、全く動かないか最も動きの小さい点を求め、その点を顔面表情運

図 10 デジタルスコアと 40 点法の比較

40 点法と比較するために、縦軸に 40 点スコアを 40 で割った値を示し、横軸にデジタルスコアを示す。

動の基準（安静点、補正点）とする必要性があった。しかし、それを検討した結果は、すべての顔面表情運動において、動きが非常に小さい点はいくつかあるものの、全く動かない点はなかった。また、それらは各々の顔面表情運動でそれぞれ異なっていた。各々の顔面表情運動のなかで最も動きの小さいのは、閉眼運動ではマーカー 16（鼻尖点）、額のしわ寄せ運動ではマーカー 23（下唇点）、イーと歯をみせる運動と口笛運動においてはマーカー 10（左右内眼角結合線の中点）であった。これらのなかで、どの点を顔面表情運動の基準（安静点、補正点）とするのがよいか考えてみると、閉眼運動においては鼻尖点、また、額のしわ寄せ運動では下唇点の動きが最も小さく、これらの点で補正すれば良いと考えられたが、病的共同運動が出現すると、眼輪部の運動の際には口唇も動いてしまうために下唇点を補正に用いるのは好ましくない。結局、閉眼運動、額のしわ寄せ運動ともに鼻尖

点が望ましいと考えられた。一方、口輪部の運動においては病的共同運動にて眼瞼部は動くが鼻根部は動かないために動きの一番小さかった左右内眼角結合線の中点が望ましいと思われた。よって本研究のすべての検討において眼輪部の運動においては鼻尖点を、口輪部の運動においては左右内眼角結合線の中点を用いて補正を行うことにした。各々の顔面表情運動において全く動かない部位がなかったという事実に関しては、正常 42 例の顔面表情運動を三次元的に検討し全く動かない顔面部位は存在せず、眼の動きについては口唇下部 3 cm の部、口の動きについては左右内眼角結合点であったという Coulson⁹⁾の報告がある。この報告と本研究での結果（特に閉眼運動時の結果）には相違点がある。この理由は、著者らの検討が二次元的であることに起因し、微細な部分で異なるのは無理もないからである。いずれにせよこの報告は顔面表情運動において全く動かない顔面部位はなく、し

図 11 各表情運動における左右の移動距離の比較

グラフ縦軸に 10 秒間における左側マーカーの総移動距離を横軸に右側マーカーの総移動距離を示す。すべての表情運動において左右に強い相関関係を認める。

かも顔面表情運動ごとに基準点を設ける必要があることを示唆するものであった。各顔面表情運動においてよく動くマーカーは、閉眼運動・額のしわ寄せ運動のような眼輪部の運動では眉毛最上点と眉毛最内側点、イーと歯をみせる運動・口笛運動のような口輪部の運動ではいずれも口唇交点の外側 1.0 cm の点であった。顔面表情運動を評価する際には、これらの部位が重要な鍵をにぎると考えられる。つまり、これらのマーカーが顔面表情運動のダイナミックな動きを解析する際、非常に重要な役割を果たす部位を代表する点であり、これらの点を用いて顔面の動きを表現することにより、顔面表情運動のアウトラインを把握することが可能となる。ちなみにこれらの点が代表する領域は、たとえコンピューターによる

解析が簡単には行えない実地臨床の場での肉眼による評点法の際にも、顔面表情運動を把握する上で非常に重要な領域であることはいうまでもない。

これまで再現性については検者間の評価のばらつきについての報告¹⁰⁾¹¹⁾はあった。しかし、正常の顔面表情運動について被験者の努力の差による差異や検査日の違いによる差異などの報告はなかったので、本研究ではこの再現性にかかわる問題の解明に、最大の注意を払った。正常者に関して、1 回だけ検者の主観が入らない詳細な検討ができたとしても、別の日に検査をして同じ結果が得られないのであればその検査法の意義は大きく薄れる。そこで検査日によっては顔のむくみなどにより「顔の動きの悪い日が出てくるのではないか？」また「マー

図 12 各表情運動における左右の最大移動速度の比較

グラフ縦軸に左側マーカーの最大移動速度を横軸に右側マーカーの最大移動速度を示す。すべての表情運動において左右に強い相関関係を認める。

カーを付ける部位が変わるのではないかと考え、これらについて検討を行った。その結果は、被験者に最大限の努力で顔面表情運動を行わせると、多少はその動きにばらつきがあった。そこで、真の値に近づくにはできるだけ少ない回数で、何回同じ運動をさせて平均を取ればよいのかを検討した。その結果、3 回程度同じ運動をさせて平均を取ればその再現性に関して問題がないことがわかった。検査日によっては顔の動きが良い日と悪い日があったが、左右比を考慮する限りにおいて再現性に問題はないことが示唆された。

以上の正常者の検討により著者らの評価法において再現性と客観性において問題がないことが示唆され、本法が顔面表情運動の他覚的評価に適用できることがわかつ

た。

2) 顔面神経麻痺患者について

麻痺患者に関しては、症例によりさまざまな経過を示す麻痺の改善過程が、数量的かつ客観的に評価することができた。また検討した 12 症例のなかに、2 週目に本法の結果においてスコアの低下を認める症例が数例認められた。これは麻痺の発症初期においてみられる麻痺の増悪を示唆していると考えられ興味深い。この初期の麻痺の増悪はスコア法ではなかなか表現されにくく、本法のような客観的評価法でなければ表現できないことであり、この事実は本研究の重要な成果であるといえる。また、麻痺の改善経過について、本法と 40 点法を同時に行い比較した。40 点法は各運動に対して 4 点、2 点、0 点

図 13 眼輪部の移動距離および移動速度の麻痺改善経過

眼輪部の値とは、額のしわ寄せ運動の左右比と閉眼運動の左右比の平均値である。グラフの縦軸に移動距離および最大移動速度の左右比（麻痺側/正常側）を、横軸に時間経過を示した。40点法については、縦軸を各週のスコア/40 にして表した。

の3段階スケールであり顔面の微妙な変化を判定するにはスケールが粗すぎる場合もあると考えられるが、耳鼻咽喉科実地診療における標準的な評価法であり、この40点法との異同は重要な意味を持つ。その結果、本法は40点法と高い相関関係にあり、顔面神経麻痺の評価が他覚的かつ定量的に行え、顔面神経麻痺のデジタルスコアとして臨床応用が可能であることがわかった。なお、40点法と相関関係が得られなかった2例（case 5 と case 10）は、麻痺の経過とともにデジタルスコアは改善しているにもかかわらず40点法において麻痺スコアが増減した症例であった。

以上のことから家庭用ビデオカメラによる方法は安価であり、顔面表情運動の評価を40点法よりも詳細に他覚的かつ定量的に評価することが可能であることが示唆された。

2. 赤外線カメラを用いたコンピューターによる解析

家庭用ビデオカメラによる方法は経済的であり、評点法と比べると顔面表情運動を他覚的かつ定量的に評価することが可能であったが、以下のような欠点があった。

画像取り込みコマ数/毎秒に限界があり、画像処理の過程が煩雑であったので、顔面表情運動の解析が量的に限定された。これらを改善するため、赤外線 CCD カメラの導入を行った。その結果、画像処理が簡略化され、かつ毎秒60コマで画像の取り込みができるようになり、時間軸に沿った顔面表情運動の解析、つまりマーカの移動距離の解析に加え、移動速度の解析も可能となった。本法の目的は赤外線 CCD カメラを用いたシステムを使用し、これまでに不可能であったような詳細な表情運動を解析することにある。

1) 正常者について

一般に正常人の顔の左右差は約1割程度といわれており、40点法において36点以上で後遺障害の認めない症例を完全治癒としている報告が多い。田中⁴⁾の家庭用ビデオカメラを用いたコンピューターによる解析法では、左右差は6%以内であると報告している。井口¹²⁾はモアレ・トポグラフィ法（モアレ法）で顔面表情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。赤外線カメラを用

図 14 部位別な改善の検討 (移動距離)

グラフの縦軸に移動距離の左右比 (麻痺側 / 正常側) を, 横軸に時間経過を示した. 麻痺の改善過程を理解しやすくするため 40 点法も加え, 縦軸に各週のスコア / 40 の値として示した. 麻痺が強い時の口輪部における正常側へのひきつれはマイナスとして表される. 麻痺の改善とともに眼輪部, 口輪部の左右差がなくなる, つまり 1 に近づくことがわかる.

いた方法で移動距離の左右比を調べたところ閉眼運動, 額のしわ寄せ運動では眼輪部全体としての左右比はいずれも 0.95 であり, イーと歯をみせる運動, 口笛運動においても口輪部全体としての左右比はいずれも 0.95 であった. つまり 5% の非対称率を示した. 顔面表情運動の客観的評価法にはこれまでにいくつかの報告があるが, 顔面表情運動の移動速度についての報告例は著者らが渉猟し得た限りにおいては認められなかった. それは, 顔面表情運動そのものが瞬時に行われるために, 経時的評価が困難であったためであると推測される. 著者らの方法においてはこれが可能であったため移動速度についても顔面表情運動の評価が可能であるかまず健常者において検討した. 検討に用いたマーカーの位置については, 眼輪部においては左右の眉毛最内側点がかかなり近い症例が存在し正常側の影響を受けることが懸念されたため, 移動距離が大きく正常側の影響を受けないマーカー 3, 4 (眉毛最上点) を用いた. 口輪部の評価では眼輪部と違い口輪筋という左右にまたがる筋が存在するために, 麻痺患者においては麻痺が強い時には麻痺側が正常側に引き

寄せられるという問題が生じる. 実際にイーと歯をみせる運動においては, マーカー 19, 21 (口唇交点の外側 1.0 cm) が移動距離の大きなマーカーであったが, この位置の主な動きは Y 軸方向であったため麻痺側は正常側と同一ベクトル方向に動き, その結果, 麻痺が強い時においても正常側の影響を受け大きな移動速度になる. したがって麻痺患者において移動速度の検討を行うためにはこの正常側への引きつれを評価する必要がある. 口輪部の評価においては X 軸方向の動きが大きいマーカー 22, 24 を用いた. 健常者における上記マーカーの最大移動速度の測定の結果, いずれの顔面表情運動においても顔面の左右の相関係数は 0.94 以上と非常に高い相関関係を示し, 移動速度においても数量的な評価が可能であり, 麻痺の評価法の一手法として有用であると考えられたので, 次に顔面神経麻痺患者において検討することにした.

2) 顔面神経麻痺患者について

麻痺改善経過については, 移動距離, 移動速度の順に左右差がなくなる傾向を示した. つまり麻痺の改善は, まず最大運動時の表情の差がなくなり, 次に最大運動ま

図 15 部位別な改善の検討 (移動速度)

グラフの縦軸に移動速度の左右比を横軸に時間経過を示し、40点法については、縦軸を各週のスコア/40にして表した。移動距離の場合と同様に、眼輪部の方が口輪部に比し先に改善傾向を示す症例が多かった。

での速度が改善する傾向を示した。外来診療においては、40点法で評点する際に40点満点を付けているにもかかわらず、検者が肉眼的に最大運動時までの速度に差を認めることや、患者が麻痺側の力が入りにくい等の違和感を訴えることを経験したことがある。今回の結果で、40点スコアが40点満点になっているにもかかわらず、まだ移動速度は完全には改善していない症例が多かった。つまり患者が麻痺側の違和感や力が入りにくいといった訴えの背景には顔面表情運動における速度の改善の遅延が関係あることが示唆された。したがって顔面神経麻痺の改善を評価をする際には、顔面の左右の最大移動距離の差がなくなった時点が麻痺の完全治癒ではなく、最大移動速度の左右差がなくなった時点が麻痺の完全治癒とするべきであると考えられた。このような結果は、顔面表情運動速度の他覚的評価が可能となって初めて得られたものであり、移動速度の評価は十分に意義があると考えられた。

顔面神経麻痺の部位別な検討について任¹³⁾は眼輪筋と口輪筋について筋電図、誘発筋電図、強さ-時間曲線を用いて検討を行った結果、口輪筋正中側の両側性支配の

ために眼輪筋の方が口輪筋よりも受傷性が高く、眼輪筋の麻痺回復能が口輪筋のそれに比較して遅延すると報告している。しかし実際の臨床経験においては眼輪部に続いて口輪部が改善傾向を示すことが多いように思われる。そこで著者らの方法を用いて検討した結果では、移動距離と移動速度のどちらにおいても眼輪部は40点スコアと対応して経過とともに徐々に均等に改善する傾向が強く、口輪部は麻痺の当初は緩慢な改善で、改善し始めると急速に改善する症例が多かった。このことは、顔面神経麻痺患者の改善経過において眼輪部が先に改善傾向を示し、続いて口輪部の改善を認めるという著者らの臨床経験に符合するものであった。任¹³⁾の報告と反対の結果になった理由としては、筋電図の振幅が眼輪筋よりも口輪筋で早期に記録されていても、著者らの方法は筋電図等と異なり筋肉以外に顔面の皮膚や皮下組織などを含めた顔面そのものの動きのすべてを評価しているために正常側への引きつれが生じる結果、表情的には麻痺が強く感じられるためではないかと考えられる。

また、すべての症例で口唇下部のマーカーが麻痺側に動くようになった時点の40点スコアは20点以上であり、

その後は急速に麻痺が改善する傾向が強かった。これは、正常側の影響がなければ本来なら麻痺側へわずかに動いている場合でも、実際には正常側の力が強いために正常側に引きつられるのでグラフ上では負となり、正常側のひっぱりに対抗し麻痺側へと動くようになった時点ではかなりの力が入っているため、スコアが20点以上に改善していると考えられる。このように引きつれのなくなる時期（負から正に逆転する点）で麻痺の予後のある程度予測できることがわかった。

今回の報告のように顔面上の各部位における詳細な数値的検討を可能としたことで、単純に眼輪部と口輪部のどちらが早く改善する傾向が強いかだけでなく、各部位の麻痺の改善の特徴や麻痺改善の予測までも明らかとなり、興味深い結果であった。

3. 他覚的評価法について

顔面神経麻痺は耳鼻咽喉科医にとって決して珍しい病気ではなく、麻痺を詳細に評価することの意義は大きいと思われる。顔面神経麻痺の程度を評価する方法としては、検者の肉眼による評点法とコンピューター解析を用いる他覚的評価法に大別される。評点法は、われわれ人間の微妙な表情の変化を認識する能力を用いることで誰にでも何処でも容易に行える結果、世界的に広く利用されている評価法である。しかし人間の感覚に頼るところが多いために、ある程度経験のある顔面神経の専門医が評価した場合はその客観性は保たれるが、そうでない場合は、どうしても検者の主観が入り客観的評価ではなくなってしまう危険性がある。したがって、検者の主観が全く入らない他覚的評価法も必要となってくる。これまで、モアレ法^{12)14)~19)}やサブトラクション法^{20)~23)}、顔面表情筋トポグラフィー法²⁴⁾、積分筋電図²⁵⁾²⁶⁾、最近ではオプティカルフローを用いた方法²⁷⁾も考えられておりさまざまな機器を用いた検者の主観が入らない方法が試みられている。しかし、評点法に取って代わるような簡便な方法はいまだ開発されていないように思われる。なぜなら、これらの他覚的評価法はいずれも、何らかの機材を用いなければならず、その過程は複雑になり評点法のように簡単にはいかない。他覚的評価法がただ顔面神経麻痺の経過を追うだけのものであればその存在価値は低く、評点法で得られる結果に何らかの成果が上乗せされなければその存在意義はないものといわなければならない。したがって、現在の他覚的評価法の研究の方向はふたつに分けられると考えられる。ひとつは、日常の臨床

に用いることが可能な安価で簡便に利用できるコンピューターによる解析法の開発で、もうひとつは特殊な機械やコンピューター解析を駆使することで評点法では解析できなかった顔面表情運動の詳細な検討を行うという研究である。そこで著者らは、まず安価な家庭用のビデオカメラとコンピューターを用いることでの他覚的評価を可能とした。さらに多少高価になるが赤外線カメラを用いて顔面表情運動および麻痺経過の詳細な検討を行った。その結果、評点法ではわからなかったが著者らの方法で初めてわかったことがいくつかあった。例えば正常者においては、顔面表情運動の際によく動く点と動きの少ない点があったり、麻痺患者においては移動距離に比べて移動速度の改善が遅れるなどの顔面神経麻痺の改善経過の特徴があった。本法によれば、人間の目だけでは見落としがちな細かい部分的な動きをとらえ数値化することができ、さまざまな有意義な検討結果が得られた。ただ家庭用ビデオカメラの方法は安価ではあるが解析に時間を要し、赤外線カメラ法は短時間に評価が可能であるが多少費用がかかるため何処の施設でも臨床の場で用いるという訳にはいかない。したがって実地臨床の場において評点法に取って変わるものではないが、評点法の信頼性を検討したり、評点法ではわからなかったような顔面表情運動のメカニズムを客観的に詳細に検討すること、さらにはその結果を逆に評点法へフィードバックすることなどには貢献しうるものと考ええる。このように著者らの方法は評点法による評価を他覚的に検討することにより別の観点からサポートし、評点法で不足する点を補足して行く立場にあると考えている。

今回の赤外線カメラ法を用いた麻痺患者の検討において、口笛運動は検討に加えなかった。それは口笛運動は立体的な要素が強く、麻痺時も麻痺改善時も同一ベクトル方向に動き正常側の影響を受けるために二次元的な評価では困難であったからである。著者らの赤外線カメラ法では赤外線カメラを2台にすることで三次元の評価も可能であり²⁸⁾、さらに加速度の検討も容易でこれらについては今後の研究課題としたい。

結 語

安価な家庭用ビデオカメラとコンピューターを用いる方法と赤外線カメラを用いる新しいシステムを用いて顔面表情運動の他覚的評価を行った。その結果、以下の結論を得た。

1. 顔面表情運動を評価する際には眼輪部の運動については眉毛最上点, 口輪部の運動においては口唇交点の外側1.0cmの点を注目すると容易であった。

2. 他覚的評価を行うには眼輪部の運動においては鼻尖点, 口輪部の運動においては左右内眼角結合線の中点を用いて補正する必要があった。

3. 再現性について検討した結果, 顔面表情運動の評価を行うには数回の平均を取る必要があった。

4. 正常者で最大移動速度について検討を行った結果, すべての顔面表情運動において左右の最大移動速度は高い相関関係を示し, 数量的な評価が可能であることが示唆された。

5. 麻痺の改善に伴って, 移動距離, 移動速度の順に左右差がなくなる傾向を示した。

6. 改善経過を部位別に検討したところ, 眼輪部は40点スコアと対応して経過とともに徐々に均等に改善する傾向が強く, 口輪部は麻痺の当初は緩慢な改善で, 改善し始めると急速に改善する症例が多かった。

7. 著者らの方法ではさまざまな経過を示す麻痺の改善過程を40点法よりも詳細に数量的かつ客観的に評価することが可能で, 顔面神経麻痺の評価に臨床応用が可能であることがわかった。

謝 辞

稿を終わるに臨み, 終始懇切なる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験者の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- House JW and Brackmann DE : Facial nerve grading system. *Otolaryngol Head Neck Surg* 93 : 146 ~ 147, 1985.
- 柳原尚明, 西村宏子, 陌 啓芳, 他 : 顔面神経麻痺程度の判定基準に関する研究. *日耳鼻* 80 : 799 ~ 805, 1977.
- 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 N Res Jpn* 13 : 173 ~ 177, 1993.
- 田中久哉 : 顔面表情運動の定量的検討. *耳鼻臨床 補* 71 : 1 ~ 20, 1994.
- Fisch U : Surgery for Bell's palsy. *Arch Otolaryngol* 107 : 1 ~ 11, 1981.
- 磯野道夫, 村田清高, 宮下仁良, 他 : 赤外線カメラを用いた顔面表情筋運動の検討. *Facial N Res Jpn* 17 : 119 ~ 121, 1997.
- Isono M, Murata K, Tanaka H, et al. : An objective evaluation method for facial mimic motion. *Otolaryngol Head Neck Surg* 114 : 27 ~ 31, 1996.
- 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.
- Coulson SE, Croxson GR and Gilleard WL : Three-dimensional quantification of "still" points during normal facial movement. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 108 : 265 ~ 268, 1999.
- 佐藤靖夫, 大内利昭, 吉原重光, 他 : 40 点法と House-Brackmann 法の互換表一検者間のばらつきからみた検討一. *Facial N Res Jpn* 14 : 163 ~ 166, 1994.
- 佐藤靖夫, 大内利昭, 吉原重光, 他 : 顔面神経機能評価における評価基準ビデオ作成の試み. *Facial N Res Jpn* 15 : 101 ~ 105, 1995.
- 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 N Res Jpn* 10 : 165 ~ 168, 1990.
- 任 重 : 側頭骨内顔面神経麻痺における眼輪筋と口輪筋の受傷性に関する臨床的および実験的研究. *耳鼻臨床* 78 : 249 ~ 268, 1985.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 結縁晃治, 前田 学, 井口郁雄, 他 : 総合モアレ指数と40点評価法との比較. *Facial Nerv Res* 15 : 91 ~ 94, 1995.
- 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 N Res Jpn* 9 : 83 ~ 86, 1989.
- Neely JG, Cheung JY, Wood M, et al. : Computerized quantitative dynamic analysis of facial motion in the paralyzed and synkinetic face. *Am J Otol* 13 : 97 ~ 107, 1992.
- 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.
- Scriba H, Stoeckli SJ, Veraguth D, et al. : Objective evaluation of normal facial function. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 108 : 641 ~ 644, 1999.

- 24) 小幡悦朗：表情筋トポグラフィーの開発と臨床応用. 耳鼻臨床 81：815～832, 1988.
- 25) 佐藤由宇, 浜田昌史, 中谷宏章, 他：顔面神経麻痺程度の定量的評価法—積分筋電図と表情運動スコアの比較—. Facial N Res Jpn 15：95～100, 1995.
- 26) 中谷宏章, 浜田昌史, 竹田泰三, 他：積分筋電図による表情運動の他覚的評価. Facial N Res Jpn 20：8～10, 2000.
- 27) 田村友洋, 國弘幸伸, 南谷晴之, 他：オブティカルフローを用いた顔面神経麻痺の客観的評価の試み. Facial N Res

Jpn 19：64～66, 1999.

- 28) 齊藤 啓, 磯野道夫, 川本 亮, 他：顔面表情運動の三次元的解析. Facial N Res Jpn 20：74～76, 2000.

原稿受付：平成14年 9 月13日

原稿採択：平成14年11月 5 日

別刷請求先：川本 亮

〒589-0014 大阪狭山市大野東377-2

近畿大学医学部耳鼻咽喉科学教室