

三次元顔認証スマホアプリによる表情筋トレーニング/ストレッチの客観的指標の導入と末梢性顔面神経麻痺後遺症予防リハビリへの応用

産業医科大学医学部耳鼻咽喉科・頭頸部外科

堀 龍 介

We developed an iPhone app, FacialPalsyZero, which can objectively and quantitatively evaluate facial motion using Apple's three-dimensional facial recognition system, Face ID. We released it on the App Store for free. FacialPalsyZero smoothly displays real-time scores indicating the ratio of the amount of change in five facial regions, including the eyebrow, eye, nose, cheek, and mouth, between maximum movement and the resting state. FacialPalsyZero is a revolutionary application for evaluating facial motor function that is simple, easy to use, and objective. In this study, we assessed the performance of FacialPalsyZero, further upgraded it by increasing the number of BlendShapeLocation items from 7 to 15, introduced Debug Mode, and created FacialPalsyZero+ with high-definition facial motion objective evaluation functions. The results of this study have been reported.

The findings of this study have facilitated the easy and objective evaluation of facial movements. It is anticipated that further enhancements to the accuracy of FacialPalsyZero+ will lead to the replacement of evaluation methods that have traditionally relied on subjective experience with a more objective and quantitative approach. The challenge for the future is to optimize treatment and rehabilitation for the sequelae of peripheral facial nerve palsy. This study would make a significant contribution to the field of cosmetology.

1. 緒 言

表情筋は顔面頸部の皮膚に付着しており、微妙な動きをして人の表情を作り出す。眼の開閉、口で食べる・しゃべるなどの運動にも関わっており、顔面神経の支配を受けている。人は表情筋で表情を作って自由に感情を表現するわけで、表情が豊かだと明るくはつらつとした印象を与えるため、健康な表情筋の維持は生活には欠かせない。一方、加齢や無表情など衰えた表情筋は顔のハリの低下やたるみの原因となり、表情が暗い印象になったり老けて見えたりする。末梢性顔面神経麻痺ではその程度によって表情筋が全く動かなくなり閉眼や食事などで困るのに加え、左右非対称の顔貌に精神的苦痛も感じる。また、末梢性顔面神経麻痺患者での病的共同運動などの後遺症予防リハビリで代表的なものとしてミラーフィードバック法がある。鏡越しに自分の顔を見ながら口唇を動かさずに閉眼したり、食事の時や話をする時などには口を動かす必要のある時にはなるべく意識して目を開くような運動訓練などを行う。しかし、ミラーフィードバック法にしても実際の強度や程度に対する判断は鏡越しに自分を見るだけの主観的判断に過ぎないため、患者は判断に困惑して効果も不十分となり、結

果としてリハビリが長続きしないことがしばしばみられる。従って、顔の運動や表情筋の動きを客観的に評価できるシステムの開発は Cosmetology において非常に重要なものであるといえる。

われわれは、Appleの三次元顔認証システムを利用して顔の運動を手軽に客観的かつ定量的に評価できる独自のアプリ「FacialPalsyZero」を開発し、AppStoreに無料公開している(図1)。眉・目・頬・鼻翼・口角の顔面5部位の最大運動時と安静時の変化量の比をタイムラグなく滑らかにスコア表示することができる。このアプリは顔面神経麻痺患者の顔面運動機能評価のために開発した。これまでの顔面運動機能評価は、簡便であるが主観的、もしくは客観的であるが非常に手間と時間がかかる、というように一長一短の評価法しかなかったが、FacialPalsyZeroは簡便で手間がかからず客観的という画期的な顔面運動機能評価アプリである。

本研究ではFacialPalsyZeroの性能の評価を行い、さらにFacialPalsyZeroの改良とDebug Modeの開発、そして高精細顔面運動客観的評価アプリFacialPalsyZero+の開発を行った。

Introduction of an objective index for facial muscle training/stretching using a three-dimensional face recognition iPhone App and its application to rehabilitation for prevention of sequelae of peripheral facial nerve paralysis

Ryusuke Hori

Department of Otolaryngology - Head and Neck Surgery, University of Occupational and Environmental Health, Japan



図1 FacialPalsyZero ?

2. 方法

2.1. FacialPalsyZeroと柳原法、ENoG、積分筋電図の相関関係の確認

すでに開発していたFacialPalsyZeroは、Appleが提供するBlendShapeLocationという顔面の動きを示す指標を利用して、検出された顔の表情を特定の顔の特徴の動きで表現し、BlendShapeLocationの各キーに対応する値は、その特徴のニュートラルな構成に対する現在の位置を示す浮動小数係数で、0.0(ニュートラル)から1.0(最大動作)の範囲で示される。この係数で動きを定量化したものがFacialPalsyZeroの概要である。FacialPalsyZeroでは顔面運動の主要部位の動きを代表する眉/目/頬/鼻翼/口角の5か所(左右10か所)に対する7つのBlendShapeLocation(眉: browOuterUp, browDown / 目: eyeblink, browDown / 頬: cheekSquint / 鼻翼: noseSneer / 口角; mouthDimple, mouthSmile)を評価対象とした(図2)。顔面神経麻痺の一般的な評価法である柳原法とFacialPalsyZeroの相関関係を調べるため、健常人5人を対象にスコアを評価した。次に顔面神経麻痺患者12人を対象として柳原法との比較を行った。さらにENoG、積分筋電図との相関関係を検討した。

2.2. 高精細評価のためのFacialPalsyZeroの改良とDebug Modeの開発

BlendShapeLocationには実際は全52の指標があり、より高精細に評価するため15か所(左右で30か所)を評価するシステムにバージョンアップした。顔面神経麻痺および後遺症の高精細部位診断と運動評価法の開発のためには、柳原法以外にも国際的にも認知されている顔面神経麻痺評価法や後遺症評価法であるHouse-Brackmann法、Sunnybrook法、May法との相関関係も十分に評価できるアプリのプログラム開発をする必要がある。そこでアプリプログラムでの30か所の浮動小数係数をリアルタイムに表示し、その数値が目まぐるしく変化する状態が一目でわかるDebug Modeの開発に取り組んだ。

2.3. 表情筋トレーニング/ストレッチ強度における客観的指標の導入

健常人3人を対象に、表情筋に対応したDebug Modeでの顔面部位を特定し、その部位に応じた自発的筋収縮、受動的筋伸張の客観的スコアを継続的に記録し、過不足のない最適な表情筋トレーニング/マッサージ強度を特定するとともに、最適な継続および間隔日数を特定することを検討した。表情筋は、おでこ-前額部(前頭筋、上眼瞼挙筋、眼輪筋、眉毛下制筋、皺眉筋)、眼周囲(眼輪筋)、ほうれい線-鼻唇溝(上唇挙筋、小頬骨筋、上唇鼻翼挙筋)、

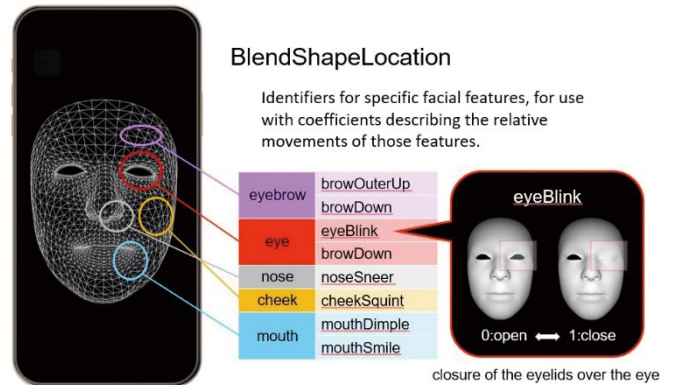


図2 FacialPalsyZero で用いる BlendShapeLocation 顔面運動の主要部位の動きを代表する5か所の部位に対する7つのBlendShapeLocationを評価対象とする

口周囲(口輪筋、口角挙筋、大頬骨筋、口角下制筋、笑筋)、首回り(オトガイ筋肉、広頸筋)を想定する。

2.4. FacialPalsyZero+の開発

Debug Modeの開発を基に柳原法、House-Brackmann法、Sunnybrook法、May法に準じた12の表情を設定し、この12の顔面運動シーンを撮影しその動きを解析するアプリ「FacialPalsyZero+」を開発した。顔面運動の設定された12のシーンごとに安静時からの顔面運動変化を2秒間、1秒当たり60フレーム(60fps)で記録する。それぞれ個別の評価項目を用いて、複数の医師で評価した柳原法の値と比較した。健常例5例、麻痺例30例での検討を行った。

3. 結果

3.1. FacialPalsyZeroと柳原法、ENoG、積分筋電図の相関関係の確認

健常人5人のスコア評価では、全員正常値が検出された(90%以上を正常とする)。顔面神経麻痺患者12人を対象とした柳原法との比較では、5か所の評価部位すべてにFacialPalsyZeroと柳原法のスコアに相関関係がみられた。ENoG、積分筋電図との相関関係の検討では、いずれもFacialPalsyZeroのスコアとの相関関係がみられた(図3)。

3.2. 高精細評価のためのFacialPalsyZeroの改良とDebug Modeの開発

15のBlendShapeLocation(左右で30)は、browOuterUp, browDown, eyeblink, CheekSquint, noseSneer, mouthSmile, mouthDimple, eyeWide, eyeSquint, mouthLowerDown, mouthUpperUp, mouthPress, mouthStretch, mouth, mouthFrownを使用した。これらと実際の顔の動きを図4に示す。Debug Modeを図5に示す。Debug Modeでは顔面の素早い動きを1秒当たり60フレーム(60fps)で浮動小数係数をリアルタイムに表示することができる。

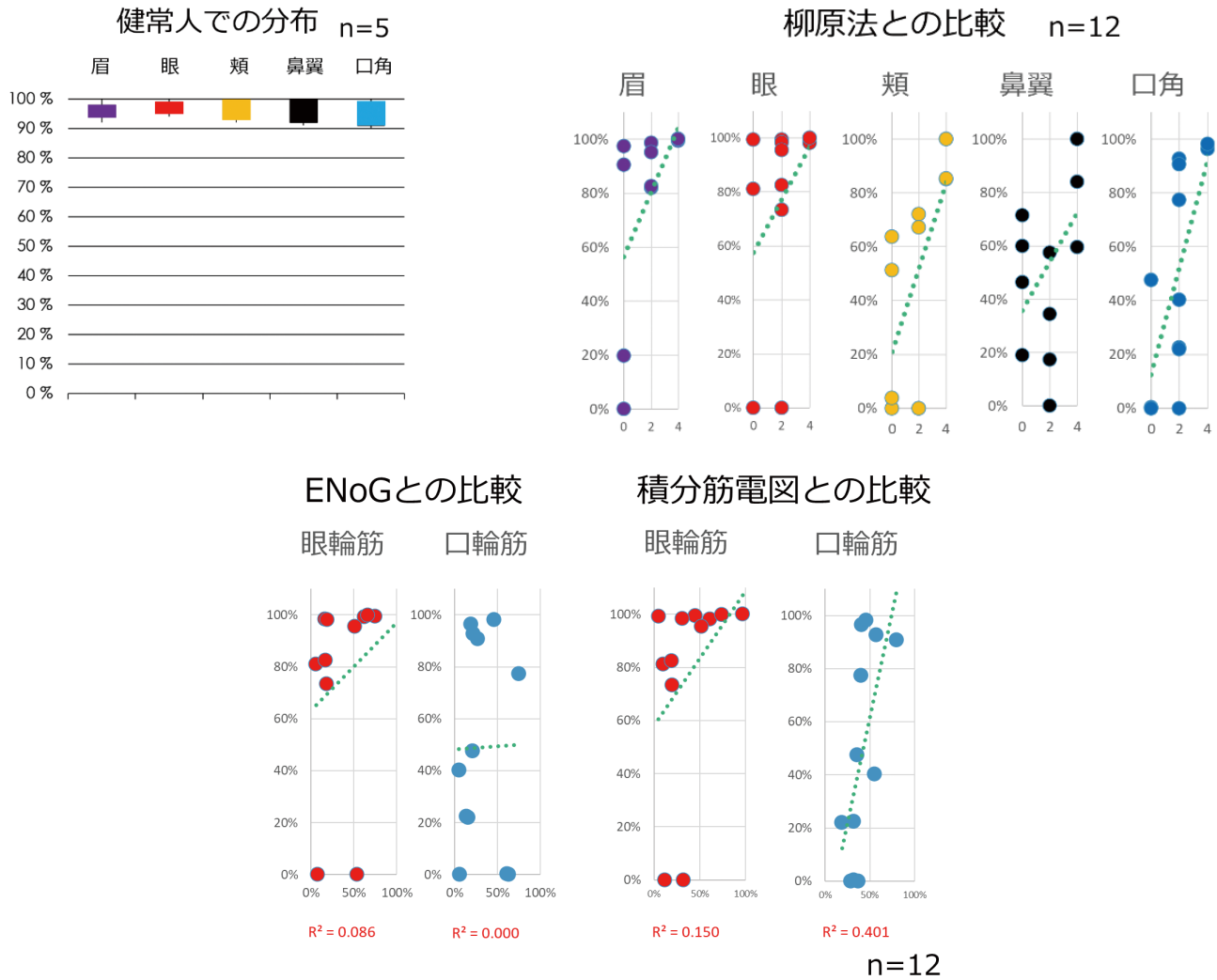


図3 健常人5人での分布、顔面神経麻痺患者12人を対象とした柳原法との比較、ENoG、積分筋電図との相関関係

15 BlendShapeLocation 実際の顔の動き

eyebrow	browOuterUp	眉毛の外側の上方への動き
	browDown	眉毛の外側の下向きの動き
eye	eyeBlink	上下眼瞼の閉鎖
	eyeWide	目を中心としたまぶたの広がり
	eyeSquint	目の周りの顔の収縮
nose	noseSneer	鼻の穴の周りの盛り上がり
cheek	cheekSquint	頬の周りと目の下の上向きの動き
mouth	mouthLowerDown	下唇の下方向の動き
	mouthUpperUp	上唇の上方向の動き
	mouthDimple	口角の後方への動き
	mouthPress	下唇の上方への圧縮
	mouthStretch	口角の外方向への動き
	mouth	上下唇を合わせた外方向への動き
	mouthSmile	口角の上方への動き
	mouthFrown	口角の下向きの動き

図4 15のBlendShapeLocation 実際の顔の動き

3.3. 表情筋トレーニング/ストレッチ強度における客観的指標の導入

Debug Modeで表示されるリアルタイムの浮動小数係数は1秒60フレームであり、すなわち浮動小数係数は1/60秒ごとにめぐるましく表示が動く。従って、表情筋の部位に応じた自発的的最大筋収縮、受動的的最大筋伸張の客観的スコアを継続的に記録することは困難であったため、表情筋トレーニング/マッサージ強度を特定することはできなかった。

3.4. FacialPalsyZero+の開発

柳原法、House-Brackmann法、May法に準じた12の表情の設定内容を図5に示す。12の表情は、Facial rest (安静時)、brow elevation (前額作皺)、blinking eyes (瞬

目)、mild eye closure (軽閉眼)、strong eye closure (強閉眼)、eye closure (right) (右眼閉眼)、eye closure (left) (左眼閉眼)、nose wrinkling (鼻作皺)、grin (歯の露出)、whistling (口笛)、blowout cheek (頬を膨らます)、lower lip depression (下口唇下動)とした。sceneはこの順に撮影した。顔面の主な動きとして、前額の動きがbrow elevation、目の動きがblinking eyes/mild eye closure/strong eye closure/eye closure (right)/eye closure (left)、鼻の動きが nose wrinkling、口の動きがgrin/whistling、頬部の動きがblowout cheekに対応する。柳原法、House-Brackmann法、May法における対象となる表情設定は図6のとおりである。

FacialPalsyZero+においてscene 4の軽閉眼ではeyeblink

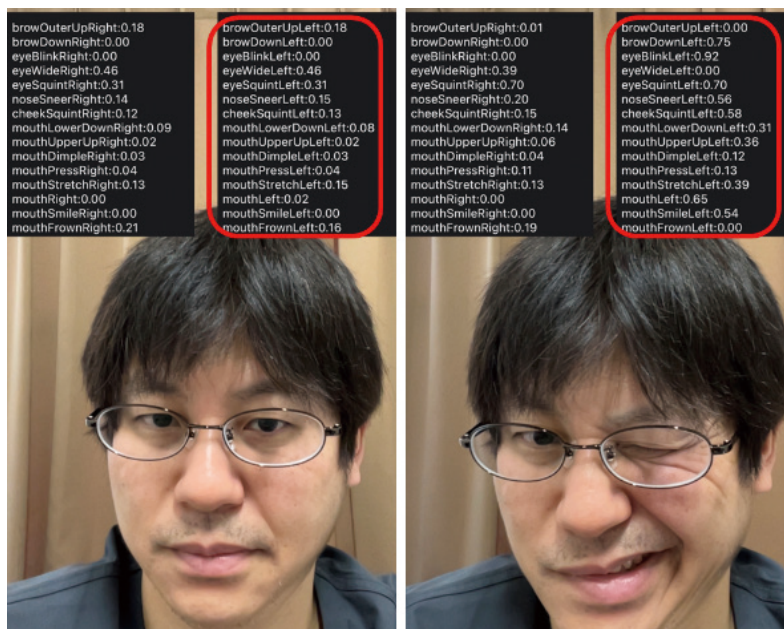


図5 Debug Mode

30か所の浮動小数係数をリアルタイムに表示し、その数値が目まぐるしく変化する状態が一目でわかる。

	Scene	FacialPalsyZero+	Yanagihara 40-point	House-Brackmann	May
1	Facial rest		0, 2, 4	I-VI	○
2	brow elevation	Forehead %	0, 2, 4	I, II, III, VI	○
3	blinking eyes				○
4	mild eye closure		0, 2, 4		X
5	strong eye closure	Eye %	0, 2, 4	I-VI	○
6	eye closure (right)				X
7	eye closure (left)		0, 2, 4		○
8	nose wrinkling	Nose %	0, 2, 4		○
9	grin		0, 2, 4	I-VI	○
10	whistling	Mouth %	0, 2, 4		○
11	blowout cheek	Cheek %	0, 2, 4		○
12	lower lip depression		0, 2, 4		○
		Total 100%	40/40	Grade I-VI	Total 100

図6 柳原法、House-Brackmann法、May法に準じた12の表情の設定内容

において2秒間の合計値を評価指標として左右の比率を検討したところ、カットオフ値を99.5%以上が柳原法における4点、99.5%から90%が2点、90%未満が0点と設定することで正診率は88%を示した。Scene 9の歯の露出ではmouthsmile・mouth・cheeksquintを組み合わせて評価し、カットオフ値を適切に設定することで正診率は78%を示した。動きがないscene 1の安静時や、適切な評価指標がないscene 2の額の前額作皺では評価が難しかった(図7)。一方で本アプリは動的な評価が可能であり、例えば軽閉眼では左右の動きの微妙な差の時間的な変化を客観的データとして示すことが可能であった。また瞬間的な動的变化として麻痺症例での瞬目の左右の違いを示すことも可能であり、顔面全ての座標変化を同時に測定可能であることから眼輪筋が動いた際の口輪筋の動き左右差も記録することが可能であった(図8)。

4. 考 察

顔面神経麻痺の程度を正確に客観的に評価することは、治療方針の決定ひいては予後にかかわるために非常に重要である。従来の顔面神経麻痺評価法には主観的評価法と客観的評価法があり、それぞれ利点と欠点がある。主観的評価法として柳原法、House-Brackmann法、May法などがあるが、これは検者が自身で見て判断するため、非常に簡便で費用もかからず普及している。しかし、主観的であるがために検者間での差が大きく、柳原法では検者が変わるとスコアが一致しないことが多いとされている。例えば、柳原法40点満点中30点とつける検者もいれば6点とつける検者もある¹⁾。客観的検査法には顔面筋誘発筋電図や積分筋電図などがあるが、定量的評価が可能であるものの手間や費用がかかり、検査できない施設も多いのに加え検査

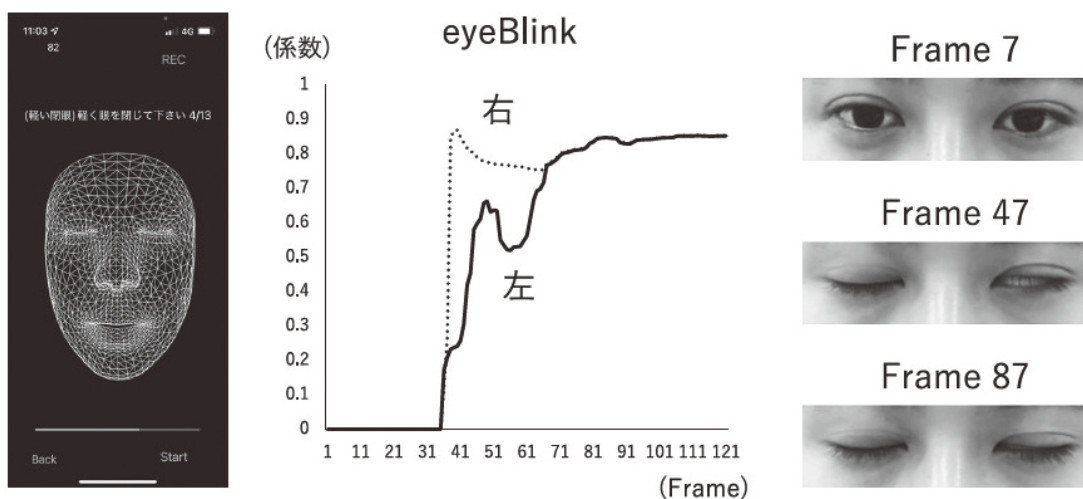


図7 「FacialPalsyZero+」軽い閉眼での測定例(左麻痺例)

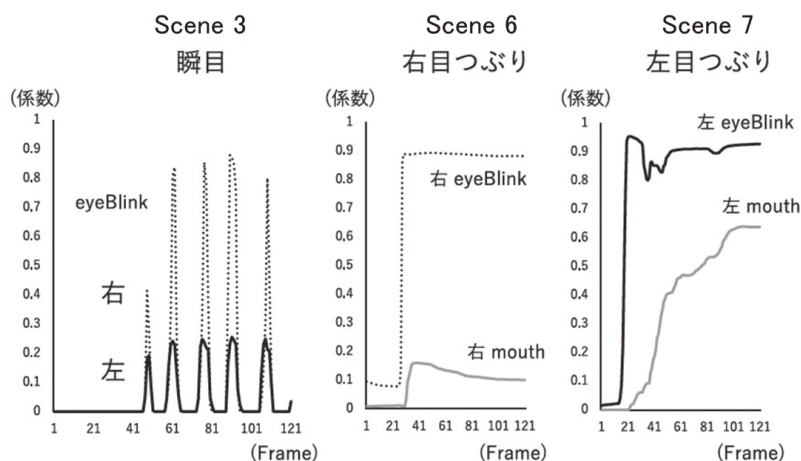


図8 「FacialPalsyZero+」指標の動的变化(左麻痺例)

できる施設でも頻回に検査をするのは患者負担的にも保険的にも現実的ではない。簡便で手間がかからず、定量的で検者間で差が出ない評価法が理想的であるが、これまでそのような検査法は存在しなかった。また、顔面神経麻痺評価としてこれらの方法が長らく使用されてきたのは、主観的評価法や客観的評価法の利点も評価されてきたからではあるが、別の要素として機械やコンピューターによる評価が困難な分野であったということも大きい。しかし近年、機器や人工知能 (AI) の発展により画像認識の分野においては人間の知覚を超える高い識別性能を示すこともできる時代となってきている。我々の研究グループでは、iPhoneの三次元顔認証システムを使用することで麻痺を手軽に客観的かつ定量的に評価できると考え、Appleの3次元顔認証システム (Face ID) を利用し独自のアプリ「FacialPalsyZero」を開発しAppStoreに公開している²⁾。FacialPalsyZeroはiPhoneから照射される赤外線により、顔表面の1220個のポイントの3次元空間での座標情報や顔の動きを定量化できる。その情報をリアルタイムで取得し、素早い動きにも対応可能である。主観的な要素は全くなく、客観的に定量化できる。しかも、簡便でかつ直感的であるので医療従事者だけではなく患者からも好評のアプリである。本研究助成により、このアプリのバージョンアップ、Debug modeの開発、そしてさらに高精細評価ができるFacialPalsyZero+の開発に取り組んだ。

FacialPalsyZeroのバージョンアップとして、対象とするBlendShapeLocationを7から15に増やした。BlendShapeLocationは全52あるが、これらはApple社が決めた指標である。バージョンアップアプリでは顔面の主な動きとして、前額、目、鼻、口、頬の動きを評価できる15のBlendShapeLocationを選択した。Debug Modeでは1秒当たり60フレーム (60fps) で浮動小数係数をリアルタイムに表示することができる。すなわち1/60秒という非常に短い間隔で顔面の素早い動きを数値化して表示することができる。これら技術基盤はFacialPalsyZero+の開発に応用されていくのであるが、逆にこのような素早い動きがめぐるましく表示されるため、表情筋の部位に応じた自発的的最大筋収縮、受動的 maximum 筋伸張の客観的スコアを継続的に記録することは困難であった。このことが表情筋トレーニング/ストレッチ強度における客観的指標の導入を困難にさせた原因である。この解決方法としてはDebug Modeで表示される浮動小数係数をすべてアプリに保存するように仕様を変更することが挙げられるが、アプリに保存した場合そのデータを見るために一度リアルタイムの画面を切ってから保存を呼び戻さなくてははいけない。従って、これではリアルタイムで表情筋トレーニング/マッサージ強度を特定することは困難となる。さらなるプログラム開発が必要であると考えられる。

FacialPalsyZero+では安静時、前額作皺、瞬目、軽閉眼、強閉眼、右眼閉眼、左眼閉眼、鼻作皺、歯の露出、口笛、頬を膨らます、下口唇下動の12の表情を設定し、これにより国内外の広く普及している柳原法、House-Brackmann法、May法の各評価にも対応できるようにして、FacialPalsyZero+を世界でも普及させる戦略とした。また、記録は安静時からの12の表情 (顔面運動変化) を各2秒間、1秒当たり60フレーム (60fps) で記録した。つまり各表情を2秒間で120フレーム記録することとなる。この結果、120もの座標データをもとに高精細に評価できるようになるだけでなく、連続する座標データの時間的な変化を客観的データとして示すことにより顔面の動的な評価ができる。すなわち、これら連続する座標データの傾きが顔面の動きの速度、そして連続する速度データの傾きが加速度となるわけである。このような時間的な変化を手軽に評価できる機器は今までにないものであり、新たな知見につながる可能性を秘めている。またスマートデバイスを用いることで医療従事者だけでなく麻痺患者自身でさえも客観的な評価をいつでも行うことが可能になるので、早期診断・正確な診断に基づく予後予測・治療方針の決定に役立つかもしれない²⁾。顔面神経麻痺の早期予後診断として、我々はアブミ骨筋反射の内視鏡下観察と筋電図閾値についての検討も行っている³⁾。顔面神経麻痺患者に対するFacialPalsyZero+のデータ集積とアブミ骨筋反射の内視鏡下観察の結果をまとめ合わせることで、より正確な顔面神経麻痺の早期予後診断ができることも期待される。

FacialPalsyZero+の研究結果では、図6のように軽閉眼では左右の動きの微妙な差の時間的な変化を客観的データとして示したり、図7のように瞬間的な動的変化として麻痺症例での瞬目の左右の違いを示したりすることも可能であった。また、図7のごとく、顔面全ての座標変化を同時に測定可能であることから眼輪筋が動いた際の口輪筋の動きや左右差も記録することが可能であった²⁾。これまで顔面の複数部位の動きを同時に評価するのは検者の主観的判断しかなく、客観的評価法は存在しなかった。FacialPalsyZero+の顔面全ての座標変化を同時に測定できる機能を用いることにより、顔面神経麻痺の重要な後遺症である病的共同運動を、精細にかつその動きの動的指標まで客観的に評価することができる。病的共同運動は麻痺発症2週間後のENoG値が40%未満の場合に、発症4か月後以降に起こるとされている⁴⁾。病的共同運動の治療もミラーフィードバック法などの主観的なりハビリテーションが主体であった。今後FacialPalsyZero+のさらなる応用により、病的共同運動発症が予測される患者/病的共同運動発症患者を対象として、ミラーフィードバック療法を改良した客観的な三次元顔認証スマホアプリフィードバック療法の開発が期待される。例えば、病的共同運動が起

こっている各部位の筋収縮客観的スコアをアプリで計測し、このスコアを目安にスマホアプリフィードバック療法を行うなどが考えられる。また、三次元顔認証スマホアプリを見ながらこれに客観的スコア表示機能を搭載させることにより、アプリ使用者のリハビリに対する理解が深まり、飽きて脱落することなく継続することができるようになることも期待できる。

5. 総括

本研究の成果により、顔面の動きが簡便に客観的に評価することができるようになった。FacialPalsyZero+の精度を高めることで、今まで経験に左右されることが多かった評価が客観的かつ定量的な評価方法に置き換わることが期待される。今後は顔面神経麻痺後遺症における治療およびリハビリの最適化に取り組んでいくことが課題となりえる。何より本アプリで顔面表情を観察すると、人の豊かで

明るい表情を客観的に評価することができ、その結果、気持ちも前向きになって男女問わず美容と健康の増進につながると考えられる。本研究は、コスメトロジーに大きく貢献するものと思われる。

(引用文献)

- 1) 松代直樹：麻痺スコア（40点法）の検者による差異
顔面神経麻痺の専門家9人と全国の一般耳鼻咽喉科勤務
医47人での検討. Facial N Res Jpn 2010; 29: 63-65.
- 2) 児嶋剛：3次元顔認証システムによるリアルタイム顔
面神経麻痺評価. Facial N Res Jpn 2021; 41: 10-12.
- 3) 堀龍介：アブミ骨筋反射の内視鏡下観察と筋電図閾値
について. Facial N Res Jpn 2022; 42: 139-141.
- 4) 村上健：顔面神経麻痺のリハビリテーション. MB
ENT2016; 198: 1-67.