

## Medidas de Simetría para Evaluar los Efectos de la Rehabilitación en Pacientes con Parálisis Facial

Irving R. Barrón-Martínez<sup>1</sup>, R.M. Aguilar-Ponce<sup>1</sup>, J.L. Tecpanecatí-Xihuitl<sup>1</sup>, Gabriela Mondragón-Flores<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí

<sup>2</sup>Laboratorio de Bioquímica Muscular, Instituto Nacional de Rehabilitación, México

**Resumen**— En recientes estudios sobre pacientes con parálisis facial se ha determinado que dos de los factores que afectan en gran medida la recuperación es la rapidez con la que se atiende al paciente y la realización de ejercicios de rehabilitación. Sin embargo, existe un vacío en cuestión de medir la progresión de los pacientes a través de la rehabilitación. El Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) ha propuesto una medida de simetría facial para determinar el grado de avance en los pacientes. A través del procesamiento digital de imágenes se han realizado las mediciones de simetría utilizando imágenes de 15 pacientes. Se presenta los resultados de las mediciones de simetría en reposo basal y su avance después de la rehabilitación. Se reporta las mediciones obtenidas a través del análisis de las imágenes y las mediciones manuales realizadas por los expertos. El análisis del error representa que el sistema reporta un error de por debajo del 0.8 para todas la imágenes.

**Palabras clave**— Simetría Facial, Rehabilitación, Parálisis Facial

### I. INTRODUCCIÓN

La parálisis facial periférica es la neuropatía craneal más frecuente de la cual no se tiene la certeza del factor o factores que la originan. El origen de la enfermedad se ha atribuido a una variante del virus del herpes, al igual que la combinación de clima frío con una deficiencia en el sistema inmunológico. El tratamiento para la enfermedad es muy variado e incluye corticosteroides para reducir la inflamación del nervio facial. Este tratamiento se utiliza en etapas tempranas para disminuir la inflamación y evitar la compresión del nervio con el canal facial [1].

Apoyando a la teoría de que una variante del virus del herpes simple es una etiología de la parálisis facial periférica, el uso de antivirales como tratamiento rápidamente ha recibido más atención por parte de la comunidad médica. El medicamento antiviral tiene como objetivo erradicar el agente infeccioso y posteriormente reducir la inflamación con un medicamento complementario [1]. Otro método que se usa para combatir la enfermedad es mediante la cirugía reconstructiva, en la cual un cirujano plástico trabaja altera ciertos músculos del rostro para que regresen a un estado básico. Debe tenerse en cuenta que de no ser realizado de manera apropiada este procedimiento, secuelas permanentes pueden ser generadas. [1]

La terapia física es un tipo de tratamiento usado para combatir la parálisis facial periférica, la cual puede ser mediante masajes, aplicación de compresas térmicas, electroterapias, y

ejercicios de mímica. En un estudio realizado en el INR en el 2011, se concluyó que dos de los factores más importantes en la recuperación de los pacientes son la atención dentro de las 72 horas posteriores a la aparición de los primeros síntomas y la terapia de rehabilitación [2].

La escala House-Brackmann se ha utilizado para caracterizar el grado de afectación en los pacientes. Sin embargo, esta escala se utiliza principalmente para diagnóstico [3]. Adicionalmente, esta escala agrupa a todos los pacientes en seis grados de afectación. Cuando los cambios en los pacientes no son suficientes para tener un avance de un grado a otro, se marcan como pacientes sin evolución.

La parálisis facial se caracteriza por afectar solo una hemicara. Por lo cual, los pacientes pierden la simetría facial. Existen varias técnicas que se han propuesto para medir la simetría facial basada en medidas antropométricas. La mayor parte de los métodos consideran los puntos marcados en la Fig. 1.

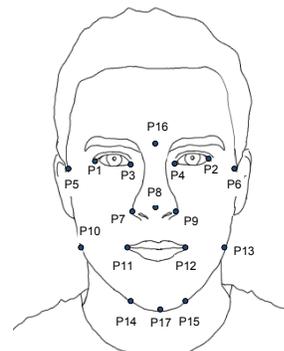


Fig. 1. Puntos salientes para determinar la simetría facial.

Simmons et al., 2004 determina la distancia media entre las posiciones P1 y P2, P3 y P4, P7 y P9, P5 y P6, P10 y P13, así como P14 y P15. Se calcula la línea sagital del rostro considerando el punto medio de la boca. La simetría se mide con la coincidencia de las líneas medias con la línea sagital [4]. Este método utiliza determinación manual de los puntos por un experto y la obtención manual de los puntos medios para su análisis. Por lo que, la determinación de la simetría depende de la experiencia del operador y consume mucho tiempo del personal.

Mejía et al., 2007 propone usar 6 características antropométricas relacionadas con los ojos y la boca. Se

determina la distancia interpupilar entre los puntos medios de los ojos denominada  $m_1$ . La apertura palpebral que es la distancia entre P1 y P3 denominada  $m_2$ . La distancia entre las comisuras internas y externas de los ojos llamadas  $m_3$  y  $m_4$  respectivamente. Finalmente se calcula la distancia  $m_5$  que determina el ancho de la boca en reposo entre los puntos P11 y P12. Estas medidas se comparan con una base de datos preestablecida y se determina la simetría facial. Este método depende de la formación de la base de datos, que debe realizarse para cada tipo de población. Lo cual implica un amplio trabajo estadístico para la obtención de valores típicos entre la población. No puede ser extrapolada a cualquier población sin antes obtener dicha base de datos [5].

El presente trabajo está basado en una propuesta realizada por Flores-Mondragon, et. al., 2015 donde la simetría facial se obtiene mediante una serie de razones de distancia entre puntos específicos. La Asimetría Proporcional Radial (AsPrR) es determinada por la proporción de los componentes derecho e izquierdo, superior e inferior del rostro. Se establece la línea sagital del rostro la cual divide al rostro justo a la mitad y debe coincidir con la glabella, punta de la nariz y gnation (P16, P8 y P17). Se calcula el Ancho Bipupilar (AP) que es la distancia de la línea sagital al punto medio del ojo. Afh es el ancho facial horizontal medido de la línea sagital a la línea infra orbitomeatal (P5 y P6). AN es el ancho nasal medido del final del surco nasal alar (P7 y P9) a la línea sagital. AC es el ancho bicomisural labial de la línea sagital a la comisura labial (P11 y P12). Finalmente Afv es el ancho facial vertical: desde la glabella (P16) hasta la subnasal y la subnasal hasta la gnation (P17).

Se divide cada una de las cinco distancias del lado derecho entre las del lado izquierdo [6]. Posteriormente se suman estas distancias como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\frac{AP_d}{AP_i} + \frac{Afh_d}{Afh_i} + \frac{AN_d}{AN_i} + \frac{AC_d}{AC_i} + \frac{Afv_d}{Afv_i}$$

Un rostro perfectamente simétrico obtendrá una calificación de 5. En los casos donde las medidas fueron iguales para ambos lados, el valor obtenido es de 1 para cada razón.

## II. METODOLOGÍA

La determinación de la simetría facial mediante la Asimetría Proporcional Radial (AsPrR) implica localizar una serie de puntos característicos del rostro entre los que se encuentra, las comisuras de los ojos y labios (P1, P2, P3, P4, P11 y P12). Adicionalmente es necesario encontrar el ancho del rostro (P5 y P6), la glabella, gnation y subnasal (P16 y P17) y finalmente el surco nasal alar (P7 y P9).

Para realizar la localización de los puntos primero restringimos el área de búsqueda a la zona del rostro mediante el algoritmo propuesto por Viola-Jones [7]. El mismo algoritmo puede ser entrenado para localizar el área de los ojos, boca y nariz.

En el área de los ojos se utilizó el algoritmo de detección de esquinas propuesto por Shi-Tomasi para localizar las comisuras de los ojos [8]. El detector de esquinas Shi-Tomasi es una mejora del detector Harris. Harris considera una ventana Gaussiana local en la imagen y determina el cambio promedio de intensidad que resulta de mover la ventana en un ángulo de  $45^\circ$  en diferentes direcciones, expresada de la siguiente manera:

$$S(x, y) \approx \sum_u \sum_v w(u, v) (I_x(u, v)x + I_y(u, v)y)^2$$

donde  $I_x$  es la imagen diferencial en  $x$ , mientras  $I_y$  es la imagen diferencial en  $y$ . La ecuación puede ser escrita en forma matricial de la siguiente manera:

$$S(x, y) \approx \begin{pmatrix} x & y \end{pmatrix} M \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

La matriz  $M$  debe tener 2 eigenvalores para un punto de interés. Si ambos eigenvalores son 0 significa que el pixel no tiene puntos de interés; si uno de los eigenvalores es positivo, entonces el pixel es un pixel borde; si ambos eigenvalores son positivos el pixel representa una esquina.  $M$  está definida como:

$$M = \sum_u \sum_v w(u, v) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

El Detector Shi-Tomasi modifica la manera en la que obtiene los eigenvalores utilizando la siguiente aproximación:

$$\lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2 = \det(M) - k[\text{trace}(M)]^2$$

Donde  $k$  es un parámetro para la sensibilidad modificable en el rango de 0.04 a 0.15. Una esquina es detectada si el mínimo de los dos eigenvalores es mayor que un umbral predefinido, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\min(\lambda_1, \lambda_2) > \lambda$$

Se aplica el detector Shi-Tomasi para detectar los puntos P1, P2, P3 y P4 correspondientes a las comisuras de los ojos.

Las comisuras de los labios se determinaron mediante el uso de un detector de bordes. El operador Sobel se utilizó para determinar los bordes horizontales solo en la región de la boca. El borde que se localiza corresponde a la unión de los labios, por lo que el primer y último punto del borde corresponde a la comisura izquierda y derecha de la boca (P11 y P12).

El surco nasal alar y el subnasal se localizan mediante la determinación de los orificios nasales y la punta de la nariz. Para esto se utilizó un algoritmo de segmentación muy popular conocido como  $k$ -medias [10].

Las segmentación  $k$ -medias considera  $n$  puntos  $x_i, i = 1..n$  que tienen que ser particionados en  $k$  grupos, el objetivo es asignar cada punto a un grupo. El objetivo es minimizar la distancia de los puntos de cada grupo a la media del grupo como se expresa en la siguiente ecuación:

$$\arg \min_c \sum_{i=1}^k \sum_{x \in c_i} d(x, \mu_i) = \arg \min_c \sum_{i=1}^k \sum_{x \in c_i} \|x - \mu_i\|_2^2$$

Este algoritmo encuentra la solución de manera heurística y por lo general converge a un mínimo local.

La segmentación se utiliza para localizar las áreas más oscuras y brillantes de la zona de la nariz. La zona más oscura corresponde a las fosas nasales, mientras que la zona más brillante corresponde a la punta de la nariz. El punto medio de las fosas nasales que está debajo de la punta de la nariz es determinado como el subnasal. Mientras que el surco nasal alar se localiza a lado de las fosas nasales.

Los puntos que delimitan el ancho facial son localizados determinando el borde del rostro. Se realiza un pre-procesamiento sobre el área del rostro mejorando los bordes mediante el uso del operador Laplaciano. El operador Laplaciano destaca las altas frecuencias correspondientes a los detalles de la imagen. Sin embargo, tiene el efecto indeseable de destacar las imperfecciones del rostro, por lo que se utiliza la segmentación de *k-medias* para suavizar la imagen dejando los bordes resaltados.

El detector de bordes de *Canny* determina los bordes del rostro después del pre-procesamiento antes descrito. El detector de borde de *Canny* es considerado óptimo debido a tres características: tasa de error baja, buena localización de bordes y borde delgados. Una vez aplicado el detector *Canny*, se recorre la imagen iniciando en la punta de la nariz previamente localizada hacia la derecha. Al encontrar el primer punto marcado como borde se determina el ancho facial derecho y de la misma manera se localiza el ancho izquierdo.

La glabella se define como el punto más prominente de la frente y coincide con el punto medio entre las cejas. El área de las cejas es obtenida a partir del área de los ojos, ya que estas están situadas por encima de los ojos. Se aplica el algoritmo de *K-medias* para discernir entre lo que es considerado piel y la ceja. Se determina el punto medio entre ambas cejas.

El gnation corresponde al límite inferior de la cara. La antropometría facial indica que la distancia del punto subnasal a la glabella es igual a la distancia ente el punto subnasal y el gnation. Por lo que, utilizamos la distancia previamente determinada del punto subnasal a la glabella y esta constituye la posición aproximada del gnation.

Una vez determinados estos puntos, se utiliza la glabella, y el gnation para establecer la línea sagital del rostro. Se mide la distancia en pixeles de los puntos localizados a la línea sagital y se obtienen las razones de las distancias izquierdas y derechas del rostro para determinar la simetría facial como se describe en la sección anterior.

### III. RESULTADOS

Se realizaron las mediciones de simetría en 15 pacientes del INR distribuidos de la siguiente manera: 12 mujeres y 3 hombres de entre 12 a 67 años. 6 pacientes con hemicara izquierda afectada, mientras que 9 tenían la hemicara derecha afectada. Se realizó una toma de fotografía al inicio del tratamiento y se calculo la simetría basal reportada en la tabla

1. Se inició tratamiento aplicando desinflamatorios, antiviral y complejo B. Tres pacientes no recibieron tratamiento. Al término del tratamiento se tomó una segunda sesión fotográfica.

Para determinar la efectividad de la medida de simetría facial se utilizaron 15 rostros de personas sanas, tomadas de la base de imágenes de rostros de FEI para medir la AsPrR [10]. La base de imágenes de rostros consiste en imágenes de color tomadas con un fondo blanco homogéneo en una posición frontal vertical con una rotación de perfil de hasta aproximadamente 180°. La escala puede variar aproximadamente el 10% y el tamaño original de cada imagen es de 640X480 pixeles. Los sujetos en las imágenes corresponden a personas de entre 19 y 40 años.

Se seleccionaron 15 imágenes de personas sanas como control. La Tabla 1 muestra la AsPrR de los pacientes y las personas de control. La AsPrR media en personas sanas es 4.555 de manera automática, mientras que la manual es de 4.7449 con desviaciones estándar de 0.19 y de 0.045 respectivamente. Mientras que los pacientes tuvieron una simetría facial media de 4.48 con desviación estándar de 0.2356 en medición basal. La simetría mejora después del tratamiento con una simetría facial media de 4.59 y desviación estándar de 0.17. Teniendo una mejora de 0.11 en la AsPrR en reposo.

### IV. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el sistema basado en procesamiento de imágenes tiene un error promedio para ambas medidas de 0.5, con referencia a las mediciones manuales realizadas por los expertos del INR. Solo los pacientes 8 y 12 tienen un error mayor debido a que el grado de parálisis que sufrían al inicio del tratamiento era tan grande que fue imposible localizar adecuadamente las comisuras de los labios. La mayor fuente de error en el sistema automático se debe a la manera en las que las imágenes fueron tomadas dado que las condiciones de iluminación son muy variantes. Estas variaciones provocan un error en la localización de los puntos salientes del rostro. Adicionalmente algunos pacientes muestran un deterioro notorio de sus rasgos faciales complicando la detección de los puntos. La medida de simetría AsPrR logra mostrar la evolución de los pacientes sirviendo como una herramienta para la valoración de la efectividad del tratamiento prescrito.

El presente trabajo ofrece la automatización de dicha medición para lograr el seguimiento de la evolución sin que represente una inversión de tiempo adicional para los expertos del INR. Debido a la confidencialidad de los pacientes no se puede incluir fotografías mostrando los rostros y los resultados alcanzados en ellos. Por lo cual solo se incluyen fotografías de las personas sanas. La Fig. 2 muestra la localización de los puntos que nos permiten establecer la simetría AsPrR.

Utilizando las imágenes de la base de datos FEI se

midieron los errores de localización de los puntos salientes. La media del error es de 2.8 píxeles. El punto que tiene un error por encima de la media es el gnation debido a que solo se está usando como referencia la distancia del subnasal a la glabella para su localización. El error promedio de 0.5 con referencia a la medición manual se disminuye a través de proveer una interfaz gráfica que permite la reubicación de los puntos detectados erróneamente. La interfaz gráfica permite mover cualquiera de los puntos incorrectamente localizados y recalcular la AsPrR y disminuir el error de la localización automática.

TABLA I  
AsPrR Basal, al término del tratamiento y de control.

Paciente	INR		Algoritmo		Control	
	Basal	Final	Basal	Final	Interfaz Gráfica	Auto.
1	4.0376	4.4976	4.27625	4.58809	4.75	4.74206
2	3.9872	4.3909	3.67239	4.58125	4.71207	4.27753
3	4.48	4.4971	4.43898	4.23517	4.70807	4.55452
4	4.6267	4.6395	4.68820	4.62151	4.73512	4.3625
5	4.6698	4.804	4.41334	4.23288	4.7158	4.57598
6	4.6504	4.6835	4.15047	4.25552	4.72286	4.50159
7	4.1979	4.5525	4.53942	4.31535	4.75322	4.73916
8	4.4449	4.5055	2.63037	4.33145	4.79583	4.64522
9	4.4875	4.679	3.90109	4.08526	4.70336	4.61259
10	4.5668	4.5515	4.44394	4.37938	4.70244	4.22168
11	4.4089	4.2065	4.36245	4.54893	4.73362	4.72507
12	4.7837	4.911	2.07230	4.24409	4.60189	4.40222
13	4.5928	4.7225	4.55624	3.76633	4.6948	4.43179
14	4.3923	4.487	4.12090	3.90415	4.69718	4.46264
15	4.6926	4.7258	4.12833	3.24217	4.65814	4.48776

## V. CONCLUSIÓN

El algoritmo de detección de puntos salientes logró un error medio de menos de 3 píxeles en la localización de los puntos salientes. Los resultados muestran que el error entre las mediciones manuales realizadas por los expertos y las mediciones automáticas es menor de 0.5. Para disminuir este error se implementó una interfaz gráfica, la cual es capaz de corregir los puntos que no fueran correctamente localizados. La corrección manual de los puntos nos permite disminuir el error a 0.25. Es necesario considerar que las mediciones de los expertos del INR se realizaron usando CorelDraw Suite 12.0 realizando una rotación de los rostros de los pacientes hasta conseguir que la línea sagital del rostro se encuentre completamente vertical. Por lo que el software debe realizar una interpolación de la imagen para conseguir la rotación indicada. Por lo que errores de interpolación están incluidos en el error reportado en este trabajo. Como trabajo futuro se incorporará las mediciones de más de un experto para medir

la variabilidad entre expertos y lograr una valoración del error reportado.

## RECONOCIMIENTOS

Irving Ricardo Barrón Martínez agradece el apoyo para la realización de este proyecto a CONACyT.



Fig. 2. Determinación de los puntos salientes en imágenes de la base de datos FEI [10].

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. E. Marsk. "Bell's palsy – study design, prognosis and quality-of-life." Ph.D. thesis, Karolinska Institutet, Sweden, 2012
- [2]. Sánchez Chapul L, Reyes Cadena S, Andrade, Cabrera JL, Carrillo Soto A, León Hernández SR, Paniagua Pérez R, y col. Bells palsy: a prospective, longitudinal, descriptive and observational analysis of prognosis factors for recovery in mexican patients. *Rev Invest Clinica*, Vol 63, No. 4, pp. 361-369, 2011
- [3]. J. W. House, and D. E. Brackmann, "Facial nerve grading System," *Otolaryngol. Head Neck Surg.*, pp. 146, 1993.
- [4]. L. W. Simmons, G. Rhodes, M. Peters y N. Koehler. "Are human preferences for facial symmetry focused on signals of developmental instability?," *Behavioral Ecology*, vol. 15, 2004, pp. 864-871
- [5]. I. Mejía Gómez, F. Prieto, C. Quintero, "Caracterización Automática de Imágenes Faciales." *Ingeniería*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia Vol. 12, No. 1, 2007.
- [6]. G Flores-Mondragón, MA Paredes-Espinoza, NA Hernández-Campos, L Sánchez-Chapul, R Paniagua-Pérez, C Martínez-Canseco, S Renán-León, VM Araujo-Monsalvo, JM Perea-Paz, A Flores-Jacinto, "Facial anthropometry: a tool for quantitative evaluation in patients with peripheral facial paralysis." *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 6, No. 5, pp. 1657-1660, 2015.
- [7]. P. Viola, M.J. Jones, "Robust Real-Time Detection," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 57, No. 2, May 2004, pp. 137-154
- [8]. J. Shi and C. Tomasi "Good Features to Track". 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1994, pp. 8.
- [9]. T. Kanugo, D.M. Mount, N.S. Netanyahu, C.D. Piatko, R. Silverman and A.Y. Wu, "An Efficient k-Means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 7, 2002, pp. 881-892.
- [10]. FEI Face Dataset. <http://fei.edu.br/~cet/facedatabase.html>. Agosto 2014.