

Prototipo de rehabilitación electromecánica con una aleación nitinol para parálisis de Bell grado I a III

M. Valdez Abraján¹, Y. N. Abadía Hernández¹, J. O. Vázquez Buenos Aires^{2*}

¹Pasante de la carrera de Ingeniería Biomédica, Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, Chiapas, México

²Profesor de Tiempo Completo, Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, Chiapas, México.

*vazquez@ib.upchiapas.edu.mx

Abstract— La parálisis de Bell se caracteriza por la pérdida o disminución de las funciones sensoriales y motoras en los músculos del lado afectado, que ocasionan modificaciones en los movimientos faciales, secreción de saliva, lágrimas, y sentido del gusto. En 2014, cerca del 80% de las parálisis faciales reportadas por las unidades de rehabilitación en México corresponden a este tipo. Los movimientos de rehabilitación que realiza el fisioterapeuta se definen por el grado de lesión determinados con la escala de House-Brackmann. En este trabajo proponemos un prototipo electromecánico que utiliza una aleación inteligente de nitinol para generar 2 movimientos de rehabilitación básicos. Las primeras pruebas en 3 pacientes, muestran que el sistema tiene potencial para favorecer una rehabilitación sencilla, autónoma, de bajo costo y de uso doméstico.

Palabras clave—Aleación con memoria de forma, parálisis de Bell, rehabilitación, shape memory alloy.

I. INTRODUCCIÓN

La parálisis facial periférica del nervio par craneal VII se caracteriza por la pérdida o disminución de las funciones sensoriales y motoras en los músculos del lado afectado [1]. El total de personas con parálisis facial reportada por las unidades de rehabilitación en México es de 20 a 30 casos de 100 mil personas al año en el 2014 [2]. Esta puede ser unilateral, cuando la mitad del rostro es afectada, o bilateral cuando ocurre en toda la cara. Cualquiera de estas dos se clasifica como parcial si sólo afecta alguno de los músculos, o completa si abarca a todos ellos en el lado afectado. Las causas reales aún son desconocidas pero estas se clasifican en congénitas y adquiridas [3]. En las congénitas se encuentra la sindrómica (o síndrome de Möebius) [4] siendo de las causas menos frecuentes de parálisis. Sin embargo, las parálisis faciales más comunes son las adquiridas tales como: metabólicas, traumáticas, tumorales, infecciosas, tóxicas, iatrogénicas, neurológicas, vasculares e idiopáticas (mejor conocida como parálisis de Bell) y esta última es causante del 80% de los casos [5]. La sintomatología de la parálisis de Bell (pB) depende del lugar de la lesión del nervio: cuanto más periférica es la lesión, mayor pérdida de movimiento del lado afectado, y como consecuencia se observa, ya sea una ausencia de las expresiones faciales, o bien, una disminución de las mismas, con manifestaciones como caídas en los párpados inferiores, superiores, mejillas y comisuras de la boca. Actualmente la

clasificación de la pB más utilizada internacionalmente es la de House-Brackmann por la utilidad en el control de la evolución del paciente [3],[6] definiendo el grado de lesión del nervio facial de acuerdo a la escala I-VI. Estos criterios consideran el funcionamiento global de la cara haciendo hincapié en la boca y en la oclusión palpebral [6].

Los músculos de la mímica desempeñan un papel fundamental en la comunicación verbal y no verbal, son constrictores o dilatadores y están agrupados alrededor de los orificios de la cara, la mayoría está innervado por el nervio facial, a excepción del párpado superior el cual se conecta con el nervio motor ocular común [7],[8]. Los 10 principales músculos que participan en la mímica son: occipitofrontal, orbicular del ojo, cigomático, cigomático menor, canino, orbicular de la boca, risorio, buccinador, elevador del labio superior y dilatador de las ventanas nasales [7], [8].

Las recomendaciones claves del tratamiento del adulto con pB requieren de: una evaluación clínica, una exploración física cuidadosa para iniciar con la rehabilitación y que la recuperación sea lo más rápido y completo [1],[9]. El tratamiento básico para los grados I, II, III, inician con la protección corneal y preservación de la vista, educación al paciente, tratamiento farmacológico junto con el tratamiento no farmacológico a pacientes que requieren rehabilitación en casa [10]. Las técnicas habituales de rehabilitación constan de las etapas siguientes: estabilizar al paciente, diagnosticar el grado de parálisis de acuerdo a los criterios de la escala de House-Brackmann, realizar los movimientos típicos para la reeducación facial en una terapia y finalmente del seguimiento continuo y semanal del paciente. Los ejercicios de rehabilitación deben realizarse diariamente 10 veces cada uno de ellos o las veces que lo necesite [1],[11], con un intervalo de 30 segundos entre cada ejercicio con la cara muy relajada. Los beneficios de realizar estos movimientos es lograr la simetría de la sonrisa, la apertura y lateralización mandibular normal [11]. Actualmente las rehabilitaciones para pB son asistidas por un fisioterapeuta utilizando técnicas con electroestimuladores, calor, masajes, acupuntura y movimientos fisioterapéuticos [12]. De acuerdo a las recomendaciones de la Guía Práctica Clínica (GPC) del IMSS [6] se revisaron 9 movimientos para el ejercicio terapéutico de los músculos y además 7 adicionales son recomendaciones por un fisioterapeuta, en la **Error! Reference source not found.** se describe estos y los

músculos que intervienen en la reeducación facial para el paciente.

TABLA I
MÚSCULOS INERVADOS POR EL NERVIOS PAR CRANEAL VII QUE SE ENCUENTRAN EN CADA MOVIMIENTO DE LA MÍMICA PARA LA REEDUCACIÓN FACIAL [6].

Movimiento	Músculos que intervienen
1. Contracción de labios como si se fuera a dar un beso.	Orbicular de los labios, compresor.
2. Imitar el gesto de dolor mostrando todos los dientes.	Elevador del labio superior, dilatador de la nariz.
3. Elevación de la ceja.	Occipitofrontal.
4. Descenso y unión entre las cejas.	Superciliar.
5. Unir las cejas al medio.	Ciliar.
6. Cerrar los ojos con fuerza.	Orbicular de los párpados.
7. Oler feo.	Piramidal.
8. Inspirar profundo por la nariz.	Elevador y dilatador de las alas de la nariz.
9. Estrechar la abertura nasal.	Mirtiforme
10. Gesto de perro enojado, mostrando colmillos.	Canino.
11. Risa de todos los tipos, primero horizontal, después elevando comisuras.	Risorio.
12. Risa mostrando todos los dientes de manera exagerada.	Cigomático mayor y menor.
13. Tomar líquidos con sorbete.	Orbicular de los labios.
14. Beso, piquito, fruncir labios.	Orbicular de los labios y compresor.
15. Gesto de afeitarse.	Burla del mentón.
16. Puchero	Cuadrado del mentón.

Estos son activos-asistidos porque requieren de un fisioterapeuta para poder realizarlos [13] y este coloca su dedo índice y medio sobre el músculo a trabajar en dirección al movimiento deseado, sosteniéndolos por unos segundos en la hemicara afectada del paciente [13], como se observa en la Fig. 1.



Fig. 1. Posición de los dedos en la cara del paciente para realizar los movimientos correspondientes

Con el propósito de brindar una nueva herramienta para la reeducación facial se planteó la construcción de un prototipo electromecánico semiautónomo, que realice 2 movimientos activos-asistidos usando actuadores termocontraíbles conocidos como aleación con memoria de forma o SMA (por sus siglas en inglés *Shape Memory Alloy*). El prototipo debe ser portátil, de fácil montaje, que sea higiénico para evitar enfermedades en los pacientes en etapas tempranas de rehabilitación ya que estos están más vulnerables, con suficiente energía para uso prolongado que permita que el paciente pase largas horas usándolo y obtenga beneficio en su tratamiento.

II. METODOLOGÍA

El prototipo consta de una fuente de corriente y un sistema de sujeción de alambres musculares que se fijan al rostro del paciente para realizar dos movimientos de rehabilitación.

A. Determinación de movimientos idóneos

Los músculos faciales cuentan con una gran variedad de formas, tamaños y funciones [7],[8],[14]. Cada movimiento indicado en la Tabla I se relaciona con, al menos, un músculo facial y se toma en cuenta el lugar donde se encuentra cada músculo. Puesto que los daños del paciente son más notorios en la parte ocular y uno de los puntos del tratamiento básico es la preservación de la vista [10], en este trabajo se ha elegido dos de los movimientos que se listan en la **Error! Reference source not found.** (movimientos 8 y 12) debido a que estos: facilitan la implementación de los movimientos del masaje a nivel piel de manera equivalente al realizado por un fisioterapeuta, las áreas circundantes cuentan con suficiente espacio para montar un sistema de movimiento sin tocar órganos delicados en la cara y el beneficio para el paciente es que se mejora el proceso de rehabilitación de los músculos que intervienen en las funciones faciales como: el sonreír, la masticación, el habla y evitar derrames salivales. De esta forma, los dos movimientos se generan de manera correcta realizando las mímicas siguientes: **Mímica A.** Imitar el gesto de dolor mostrando todos los dientes para ejercitar los músculos faciales que intervienen en este movimiento (Fig. 2).

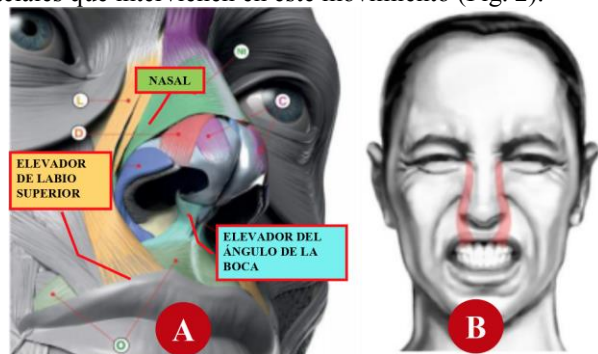


Fig. 2 **Mímica A:** A) Sobre la nariz se encuentra una línea verde que representa el músculo nasal, las líneas naranjas constituye el músculo elevador del labio superior y debajo de la nariz se encuentra una línea

celeste que simboliza el músculo elevador del ángulo de la boca [15] **B**) gesto facial asociado.

Mímica B. Reír mostrando todos los dientes de manera exagerada de acuerdo a la Fig. 3.

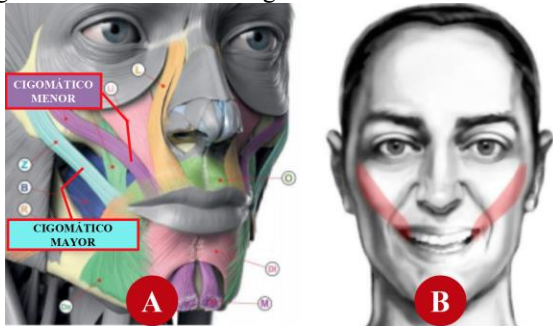


Fig. 3 **Mímica B:** A) la línea morada ubica al músculo cigomático menor y la línea celeste al cigomático mayor [15] **B**) gesto facial asociado.

B. Material SMA y mecanismo de sujeción

Acorde a las dos mímicas definidas, en el caso de A se realizaron mediciones para determinar una longitud total del músculo indicado en la Fig. 2, dando como resultado 40 mm, mientras que, para B, la longitud aproximada del músculo de la Fig. 3B fue 60 mm, las cuales coinciden con las medidas de la base de datos antropométricas de [16]. La distancia total definida para implementar un masaje en estos músculos fue de 70 mm (L_T en Fig. 4A) debido a que se requiere el diseño de dos piezas de sujeción que permitan montarse en el área disponible de la cara lateral del paciente. Esta pieza se compone de un par de mecanismos que realizan movimientos antagónicos mediante tres puntos de sujeción (PS_1 , PS_2 y PS_3) y dos piezas flexoras/extensoras implementadas con un resorte y un alambre SMA entre cada par de puntos de sujeción, tal como se ilustra en la Fig. 4A.

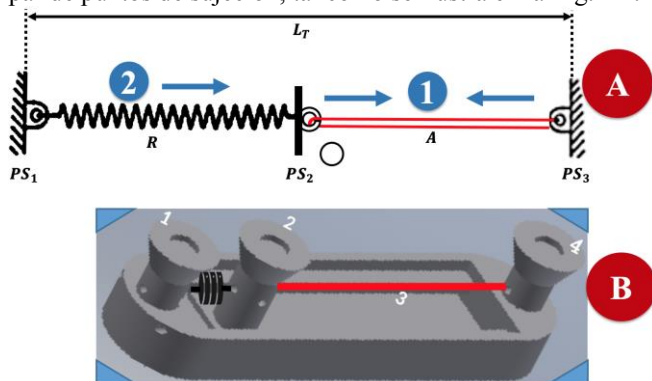


Fig. 4 **A.** Esquema del mecanismo, con longitud total 40 mm (L_T) implementado con 3 puntos de sujeción (PS) para montar un resorte (R) y un alambre SMA (A) **B.** Diseño 3D del sujetador final impreso en PLA donde se ilustra el resorte en color negro (entre pieza 1 y 2) y el alambre en rojo (entre pieza 2 y 4). El alambre se contrae aproximadamente 1.4 mm sobre el riel (etiquetado con 3).

De esta manera, para generar una contracción (número 1 en azul) se suministra corriente al alambre A provocando la extensión (número 2 en azul) sobre el resorte R mientras que una relajación se obtiene cuando se enfría A restituyéndose

la fuerza de R . El alambre A tiene una longitud de 92 mm (doble alambre de 46 mm), lo que permite un alargamiento de 3.68 mm provocando una fuerza de alargamiento de 143 g por lo que la fuerza que ejerce es de 1.4 N y el resorte tiene una longitud sin deformación de 10 mm, tal y como se ilustra en la Fig. 4B, el resorte se monta entre el soporte 1 y 2 mientras que el alambre SMA se monta de 2 a 4 permitiendo que la pieza 2 se desplace a lo largo del riel (indicado con el número 3). De esta forma, se implementaron dos mecanismos de sujeción para colocarlos en los dos músculos correspondientes a las mímicas A y B (Fig. 2 y Fig. 3B). El alambre muscular termocontráctil (o SMA) utilizado en este proyecto es Flexinol® marca Dynalloy, Inc. de 0.004" de diámetro con un valor de resistencia aproximada de $126 \Omega/m$ a un consumo aproximado de 200 mA para obtener un alargamiento del 4% de su dimensión. La aleación del alambre es nitinol, 50% níquel (Ni) – 50% titanio (Ti), que al calentarse (por el paso de una corriente) se contrae y este regresa a su longitud inicial al enfriarse debido al efecto de memoria de forma [17]. La resistencia a 35 mm es de aproximadamente 11.6Ω , por lo que se implementó una alimentación a 5V con capacidad de suministrar al menos una corriente de 0.431 A.

C. Elaboración del circuito

Los dispositivos electrónicos que se utilizan para la construcción del circuito, constan de un microcontrolador PIC16F8877A, que posee una memoria interna que almacena las instrucciones programadas. El microcontrolador requiere de una conexión como se ve en la Fig. 5, para que funcione adecuadamente. En esta conexión se requiere de un botón de reset y una resistencia de $10 k\Omega$ conectados al pin 1, un cristal de 20 MHz conectados a través de dos condensadores de 22pF. Este circuito está alimentado por una fuente de voltaje de 5 volts con 0.7 A. Para que ocurra la programación del microcontrolador PIC16F877A, se necesita un programador PICkit 3 y el software MPLAB ID para poder desarrollar el código. El código del circuito genera un pulso cuadrado a 5 V en 2 puertos que se necesitan para alimentar los dos mecanismos que se han implementado para cada mímica A y B. La frecuencia de los ciclos es de 0.5 Hz asegurando que la contracción dure 1 segundo y 1 segundo apagado. Los alambres SMA se alimentaron con una etapa de potencia (ver Fig. 5B) usando un transistor BC548 y un MOSFET IR640N permitiendo una salida de 5V a 1.85 A.

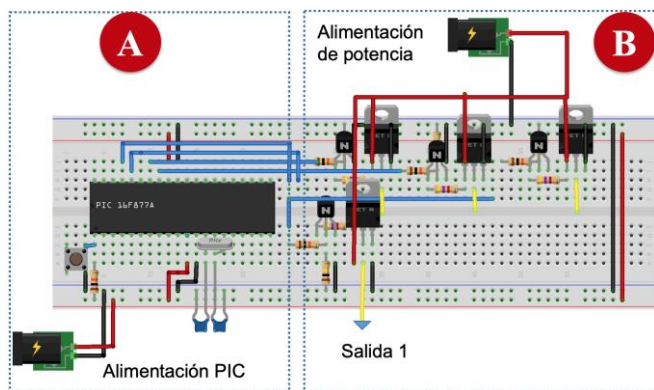


Fig. 5 A) Diagrama de conexiones del microcontrolador PIC16F887A B) Etapa unitaria de potencia del circuito usando un MOSFET IR640N y un transistor BC548 cuya salida está indicada con la línea amarilla y flecha azul. El prototipo se implementó en una tarjeta perforada de 10.7x14 cm donde se colocó el microcontrolador con dos circuitos de potencia para montaje en una caja de madera con dimensiones de 23x14x10 cm. El montaje de los mecanismos sujetadores se realizó utilizando parches adhesivos para ECG de 24 mm de diámetro y la salida de cada circuito de potencia se conectó con ayuda de conectores tipo caiman. El prototipo resultante de este trabajo se muestra en la Fig. 6.

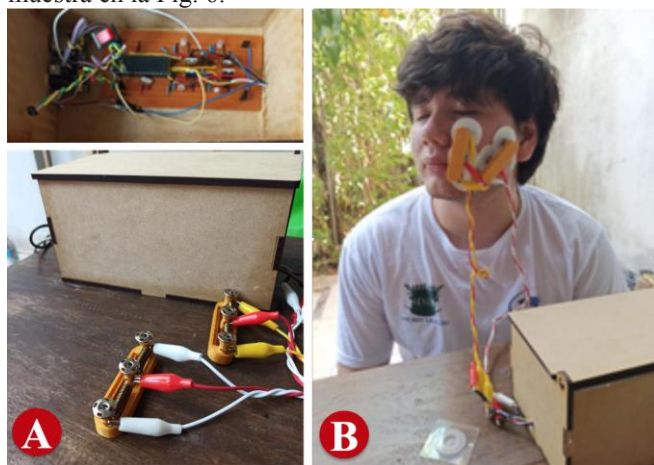


Fig. 6 A) Fotografía del circuito colocado en una caja, así como los mecanismos de sujeción conectados al circuito mediante caimanes. B) Montaje del sistema en una de las pruebas de funcionalidad montado en los músculos involucrados en las mímicas A y B.

IV. DISCUSIÓN

La primera prueba de funcionalidad que se ha realizado con 3 personas usando el sistema completo consta de 5 ciclos de movimiento de 10 minutos con tiempos de descanso de 2 minutos para un total de 58 minutos con cada uno. De esta forma, en cada ciclo de 10 minutos se activaron 300 movimientos de contracción. Ninguno de los pacientes reportó daño por quemadura al calentarse el cable por la corriente de alimentación. Sin embargo, los pacientes, al final de la hora de la prueba, manifestaron cansancio por el peso de cada mecanismo de sujeción pegado al músculo de

la cara. El dispositivo tiene un costo aproximado de \$4,000 MXN de donde el valor más importante (50% aproximadamente) fue la compra de los alambres SMA debido a que se utilizó un kit demostrativo, pero este puede reducirse en la compra de material en mayores cantidades.

V. CONCLUSIONES

En el estado actual, el sistema no permite un movimiento mayor a 4 mm, lo cual reduce la calidad del masaje, por lo que se contemplan mejoras en el diseño del mecanismo de sujeción para aumentar la longitud del alambre. Adicionalmente se contempla reducir el diámetro de los parches a 1.5 mm para generar un desplazamiento mayor del soporte móvil. Las pruebas preliminares de electroestimulación con nuestro prototipo demuestran que el sistema tiene potencial para uso simultáneo en ambos lados del rostro del paciente al mismo tiempo que permite una rehabilitación sencilla, autónoma, de bajo costo y de uso doméstico.

REFERENCIAS

- [1] M. D. Rodríguez-Ortiz, S. Mangas-Martínez, M. G. Ortiz-Reyes, H. S. Rosete-Gil, O. Vales-Hidalgo, and R. Hinojosa-González, "Parálisis facial periférica. Tratamientos y consideraciones," *Arch. Neurociencias*, vol. 16, no. 3, pp. 148–155, 2011.
- [2] J. C. Rendon and M. C. Salomón, "Parálisis facial periférica o de Bell," *Rev. Papeña de Medicina Familiar*, vol. 5, no. 8, pp. 126–134, 2008.
- [3] Z. R. Fattah A, Borschel GH, Manktelow RT, Bezuhyly M, "Facial Palsy and Reconstruction," *Plastic & Reconstructive surgery*, vol. 129, no. 2, pp. 340–352, 2012. DOI: 10.1097/PRS.0b013e31823aedd9.
- [4] A. Martín Zurro, M. C. Rinón Aguilar, and F. Sánchez Franco, "Möbius syndrome," *Arch. Neurobiol. (Madr.)*, vol. 36, no. 4, pp. 273–282, 1973.
- [5] A. Ma. Garrido Calvo, E. González Espallargas, P.J. Pinós Laborda, I. Gil Romea, Una parálisis facial periférica, *Medicina Integral*, vol. 36, no. 8, pp. 285–293, 2000.
- [6] "Diagnóstico y Tratamiento del adulto con parálisis de Bell en el primer y segundo nivel de atención," Instituto Mexicano del Seguro Social, Ciudad de México, 16/03/2017. [Online]. Available: <http://imss.gob.mx/profesionales-salud/gpc>.
- [7] K.S. Saladin, "El encéfalo y los pares craneales", *Anatomía y fisiología, la unidad entre forma y función*, 6a. ed., China, 2013.
- [8] G.J. Tortora, B. Derrickson, "El encéfalo y los nervios craneales" *Principios de Anatomía y Fisiología*, 11a. ed, México, 2011.
- [9] M. E. León-Arcila, D. Benzur-Alalus y J. Álvarez-Jaramillo, "Parálisis de Bell, reporte de un caso," *Rev. Esp. Cir. Oral y Maxilofac.*, vol. 35, no. 4, pp. 162–166, 2013, DOI: 10.1016/j.maxilo.2011.10.009.
- [10] E. Pérez-Chávez, C. Gámez-Martínez, J.M. Guzmán-González, D. Escobar-Rodríguez, V.M. López-Roldán, R. David-Montes-de-Oca, M.G. Mora-Carrillo, J. Ramírez-Corchado, "Guía clínica para la rehabilitación del paciente con parálisis facial periférica," *Rev. Med. IMSS*, vol. 42, no. 5, pp. 425–436, 2004.
- [11] I.Y. Paez-Pidiache, N. B. Lozada-Castillo, A. Luviano-Juárez, "Caracterización de las SMAs y sus aplicaciones: Una revisión," *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 8, no. 16, pp. 1–10, 2020.
- [12] L. I. Paredes Rojas, "Tratamiento fisioterapéutico en parálisis facial periférica," Tesis Profesional, Dept. Terap. Fis. y Rehab., *Univ. Inca Garcilaso De la Vega*, Lima, Perú, 2018. [Online]. Available: <http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/2238/TRAB.SUF.PROF.Paredes%20Rojas%2c%20Lesly%20Indira.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- [13] Y.Y. Nolasco, Y.M. Pineda-Parada, J.S. Rosales-Romero, "Efectividad en la combinación de fisioterapia y la técnica de reflexología facial, en pacientes con diagnóstico de parálisis facial periférica, atendidos en el

centro de rehabilitación integral de oriente y hospital nacional san francisco gotera, año 2015,” Tesis Licenciatura, Dept. Medicina, *Univ. de el Salvador*, San Miguel, El Salvador, 2015.

- [14] Laboratorio de Anatomía II: “Músculos de la cara,” Y. Rojas and E. Gómez, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, México, 2019.
- [15] U. Zarins, “Anatomy of Facial Expression,” 1a. ed., USA, Exonicus, Inc., 2017.
- [16] L. M. Galantucci, R. Deli, A. Laino, E. Di Gioia, R. D’Alessio, F. Lavecchia, G. Percoco y C. Savastano, «Three-Dimensional Anthropometric Database of Attractive Caucasian Women: Standards and Comparisons,» *The Journal of Craniofacial Surgery*, vol. 27, n° 7, pp. 1884-1895, Octubre 2016.
- [17] G.E. Ubillus-Carrasco, A. Sánchez-Vélez, “Fisioterapia en la parálisis facial,” *Rev. cuerpo médico HNAAA*, vol. 11, no. 4, pp. 258-267, 2018.