

Férula con terapia de luz roja e infrarroja para el síndrome del túnel carpiano.

E. D. Camaras Cruz¹, A. Ziga Paulo², H. C. Ramos Lopez³, J. Jara Jimenez⁴

¹Estudiante Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, México.

²Estudiante Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, México.

³M.E.R. Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, México.

⁴P.T.C. Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, México.

173298@ib.upchiapas.edu.mx

171288@ib.upchiapas.edu.mx

jjara@ib.upchiapas.edu.mx

Resumen— El síndrome del túnel carpiano afecta a gran variedad de personas, en ellas se destacan mujeres entre los 40 y 60 años, impidiendo continuar con sus actividades de manera eficaz. El siguiente trabajo ha sido realizado para ayudar a las personas con dicho síndrome, haciendo uso de férulas impresas mediante impresión 3D y terapias de luz (LLLT) el uso del láser terapéutico de baja intensidad (Low-level-Laser Therapy) ha traído consigo la evolución de los tratamientos antiinflamatorios, analgésicos y prociatizantes, debido a la foto estimulación celular sobre la mitocondria; esto incrementa la generación de energía (ATP), que acelera la microcirculación sanguínea y produce cambios en la presión hidrostática del capilar, en este trabajo se describe como fue el proceso para la creación de la férula y los pasos a seguir para llegar a dar la terapia de luz roja e infrarroja.

Palabras clave—Férula, impresión 3D, LED, LLLT, terapia de luz, túnel carpiano.

I. INTRODUCCIÓN

El síndrome del túnel carpiano es una de las neuropatías más comunes del sistema nervioso periférico y de la extremidad superior. El dolor en este síndrome se debe a la inflamación junto con la presión en el interior del túnel formado por el carpo y el ligamento carpiano transversario en la muñeca. Esta neuropatía es más común en mujeres entre 40 y 60 años, cabe mencionar que un factor para desarrollar este síndrome es la ocupación laboral que ejerza la persona. El tratamiento convencional es la utilización de férulas, anti inflamatorios para aliviar el dolor si es que lo requiere. Si no se logra la mejora de los síntomas después del tratamiento, se requiere intervención quirúrgica convencional o endoscópica, se puede probar también con ultrasonido o técnicas láser [1].

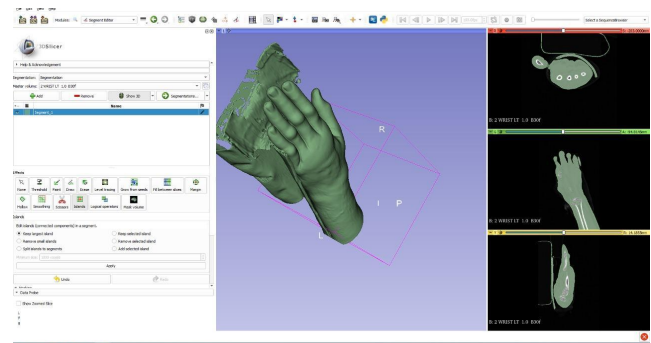


Fig. 1. Modelo de la tomografía analizada en 3D Slicer.

Esta enfermedad puede ir avanzando hasta llegar a convertirse en un problema de salud serio llegando a tener repercusiones físicas, psíquicas, sociales e incluso laborales, dependiendo que tan avanzado va el trastorno, el cual varía desde un trastorno menor hasta uno serio de la mano o las manos afectadas. La incapacidad de desarrollar actividades normales con la mano genera afectaciones psicológicas. Diagnosticar tempranamente este síndrome ayudará sin dudar a evitar daños psicológicos y evitar la evolución a estados más graves.

El láser terapéutico fue descubierto en 1967 por Endre Mester, en la Universidad de Medicina de Budapest (Hungría), en el intento de descubrir si este nuevo rayo inducía las células tumorales. El experimento consistió en rasurar la espalda de dos grupos de ratones, uno expuesto a la terapia de láser de baja frecuencia y otro control. Los resultados en el grupo expuesto no evidenciaron desarrollo de cáncer, sino una regeneración del folículo piloso más rápida que la del grupo control. El efecto del láser en los ratones fue descrito como un “láser bioestimulador”, y desde entonces las publicaciones científicas se han centrado en la interacción de este láser con los tejidos y los beneficios que produce.

Los reportes de la literatura relacionan el uso del láser de baja intensidad con la regeneración de los tejidos blandos y duros, con una buena cicatrización y con un adecuado manejo del dolor, en especial en los casos de trismo. Su efecto se explica por la inducción de la mitosis en las células epiteliales, la estimulación de la formación de vasos capilares y la microcirculación, lo que permite el incremento de la síntesis de colágeno [2].

II. METODOLOGÍA

A. Adquisición del modelo de brazo a usarse.

Para el diseño de la férula se tiene que trabajar modelando el brazo de la persona que usará la férula, esto con la finalidad de poder ofrecerle al usuario una férula con características

mejores que las convencionales como lo son transpiración, durabilidad, sustentabilidad.

Se inició trabajando con la tomografía de una persona que se descargó desde un blog de ingeniería biomédica e impresión 3D Fig 1. Usando el programa 3D Slicer, este es un programa de software libre que sirve para el análisis de imágenes, tiene muchísimas aplicaciones, entre ellas destaca el uso para la aplicación médica. En este software se importa el archivo descargado de la tomografía y se empieza a trabajar con ella hasta tener el resultado deseado.

Después de estar trabajando con este brazo, surgió la problemática de ¿Cómo obtendremos el modelo del brazo de futuros pacientes?, después de investigar como poder hacer un escaneo 3D de cualquier parte del cuerpo, así como de cualquier objeto, encontramos el software KScan 3D. Con este software y la ayuda de un aparato Kinect, se puede obtener el escaneo del brazo para posteriormente trabajar en el diseño de la férula sin la necesidad de recurrir a una tomografía Fig. 2.

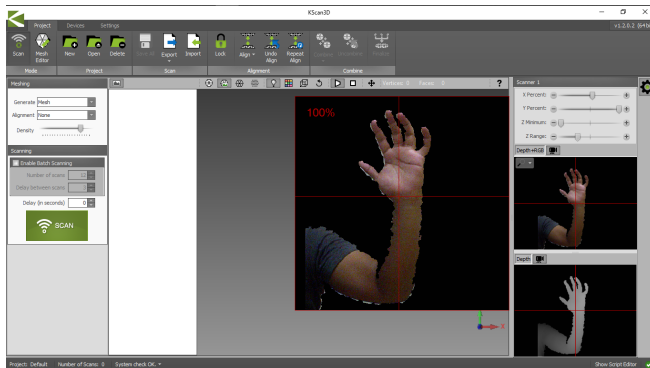


Fig. 2 Uso de KScan 3D para el scaneo de un brazo.

B. Diseño de la férula.

Una vez teniendo el modelo del brazo que se usará, se trabaja el diseño de la férula en el software Meshmixer, se hacen unos cortes en diferentes secciones del brazo previamente escaneado y modelado Fig. 3, posteriormente se realiza un offset de 5 mm, hacia afuera para que el grosor de la férula no genere presión en el brazo de la persona que lo usara. Terminado ese proceso, se procede a cambiar el patrón de enmallado que tiene el brazo, para así poder darle transpiración a la férula creando una forma de enmallado Fig 3.1. La férula está en constante evolución, por lo que aún faltan más detalles del diseño que agregar.

C. Selección del led a utilizarse en la terapia de luz.

La LLLT por sus siglas en inglés (*Low Level Laser Therapy*), es una terapia que aprovecha los efectos de LLLT tiene a nivel celular para poder ayudar a aliviar síntomas de dolor causados en este trabajo específicamente por el síndrome del túnel carpiano.

Los efectos de la aplicación del láser terapéutico en los tejidos pueden ser:

1. *Cicatrizantes*: el láser puede producir efectos en la regeneración celular, debido a una interacción de ondas electromagnéticas con dichas células, siendo este un bioestimulador para la reparación celular.
2. *Antiinflamatorios*: el LLLT está relacionado con el restablecimiento y la producción de vasos sanguíneos, con lo que genera una apertura constante de los esfínteres precapilares, lo cual facilita la reabsorción del exudado por el incremento del drenaje venoso y linfático.
3. *Analgésicos*: la aplicación de radiación de 830 nm genera un aumento en la producción de endorfinas, que produce un aumento de β -endorfinas y una disminución de la secreción de prostaglandinas g y e2.

Los mecanismos de acción del láser terapéutico se describen a partir de su acción sobre la mitocondria [3], componente celular que se encarga de la generación de energía (ATP) a partir del metabolismo del oxígeno y del piruvato. La mitocondria también sintetiza el óxido nítrico (MTNO) en los tejidos isquémicos, logrando desplazar el oxígeno de la unión a citocromo c oxidasa (CCO; la enzima terminal en la cadena de transporte de electrones necesarios para la generación de energía). El LLLT actúa a través de las mitocondrias desplazando el óxido nítrico (NO) de la cadena respiratoria, y aumentando los niveles de trifosfato de adenosina (ATP) y de especies reactivas de oxígeno (ROS) [4]. Estos cambios actúan por intermediarios del monofosfato cíclico de adenosina (CAMP) y de la proteína quinasa D (PKD) para activar factores de transcripción AP-1 y NF-B, lo que resulta en cambios en la expresión génica y en la producción de mensajeros químicos implicados en los cambios celulares observados después de la exposición al LLLT.

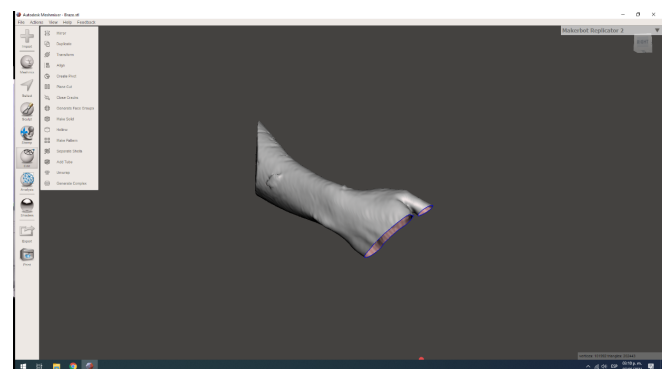


Fig. 3. Cortes transversales a través del brazo para reducir el tamaño de la férula lo más cerca posible a la muñeca.

Está comprobado que en la longitud de onda de 660 nm (luz roja) la absorción de melanina es predominantemente y

existe un pico de absorción secundario de citocromo c oxidasa [4]. En la longitud de onda entre 800 nm y 830 nm (infrarrojo cercano), el nivel de profundidad de penetración es mejor, llegando a tejidos que la luz roja no alcanza.

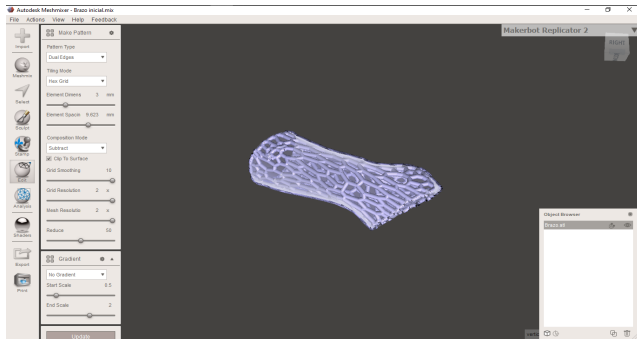


Fig. 3.1 Crear patrón de enmallado para la férula.

En la Fig. 4, se muestra como a diferentes longitudes de onda la absorción es diferente por parte de las sustancias y en base a eso escogimos las longitudes de onda con las que se trabajaran, la absorción de radiación por parte de diferentes sustancias en la piel es benéfica ya que produce una excitación en los electrones de las células de dichas sustancias lo que lleva a una creación de ATP y a su vez en una mayor recuperación. El LLLT acelera la microcirculación sanguínea y produce cambios en la presión hidrostática capilar, con reabsorción del edema y eliminación de catabolitos de desecho (ácido láctico y pirúvico), lo cual lleva al aumento de los niveles de adenosin trifosfato (ATP) por el incremento de la fosforilación oxidativa de 5 de 10 las mitocondrias, de manera que hace posible la reinervación nerviosa (angiogénesis), la disminución del proceso inflamatorio, la reducción del dolor.

Cellular Targets in Red and Near Infrared (NIR) Wavelengths

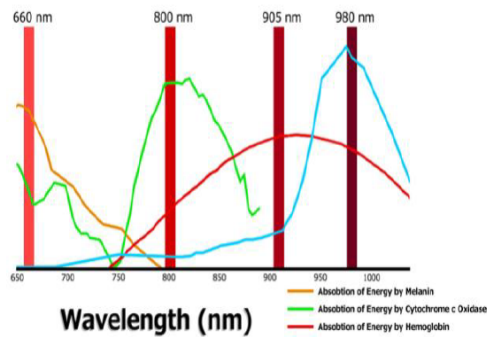


Fig. 4. Absorción de cromóforos en función de la longitud de onda. [5]

Una vez teniendo estos valores, se procedió a definir los leds que se usarían, en este caso es un led rojo con longitud de

onda de 660 nm y un led infrarrojo de 830 nm de longitud de onda. El circuito electrónico para la terapia de luz infrarroja y roja, se compondrá de 2 LEDs rojos y 2 leds infrarrojos, situados a una distancia de 1 cm aproximadamente de la muñeca del paciente centrado el nervio mediano. La terapia no debe sobrepasar 1 W de potencia en el tratamiento, en base a la Tabla 1, que muestra dosis experimentales en mejora de la actuación.

Debido a esto, los LEDs que se compraron, los infrarrojos, tienen una potencia de 3W, esto sobrepasa la dosis necesaria, debido a esto, los LEDs infrarrojos se modulan con PWM (*Pulse with modulation*) para reducir su potencia a 500 mW y así usar 2 LEDs infrarrojos para poder abarcar el área necesaria para la terapia, los LEDs rojos, trabajan a una potencia de 500 mW por lo tanto, usando 2 de estos igual estaríamos igualando la potencia requerida para el tratamiento.

D. Microcontrolador a utilizar.

Para el control del tiempo de encendido del led y la potencia que estos tendrán al momento de aplicar la terapia, se eligió un Arduino nano debido a su facilidad de programación y portabilidad, la cantidad de led que este controlador maneja son 4, así que con la cantidad de pines que nos ofrece podremos satisfacer nuestras necesidades.

E. Impresión 3D.

Una vez teniendo el diseño de la férula, se contacta a una empresa en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, capital de dicho estado, la empresa a la que se contrata para el servicio de impresión es LiRC, esta empresa lleva años trabajando con impresión 3D, nos recomendaron imprimir la férula en un filamento llamado PLA.

λ (n°fuentes) (nm)	P (mW)	T (s)	E (J)	Área (cm ²)	I (W/cm ²)	F (J/cm ²)
810(5)	200	30	6	0.0364	5.495	164.85
810(5)	200	30	6	0.029	6.89	206.89
810(5)	200	30	6	0.0364	5.495	164.85
810	100	30	3	-	-	-
810(5)	200	50	10	0.0364	5.495	274.73
810	100	30	3	0.028	3.57	107.14
808	100	40	4	0.83	0.12	4.77
808	100	70	7	0.028	3.57	250
808(6)	60	10	0.6	0.0028	21.42	214.28
808	30	47	1.41	0.00785	3.82	179.61
808(6)	60	10	0.6	0.0028	21.42	214.28
808	100	70	7	0.00785	12.7	892
808	100	40	4	0.0028	35.71	1428
808	-	-	-	-	-	-
808	100	40	4	0.0314	3.18	127.39
808	10	70	7	-	-	-
830	100	50	5	0.0028	35.71	1785
830	800	-	-	-	-	50
830	50	60	3	0.028	1.78	107.14
830	50	100	5	0.0028	17.85	1785
850(50)	100	15	1.5	0.2	0.5	7.5
850(3)	100	1.05	0.105	0.012	8.33	8.75
850(7)	100	20	2	0.05	2	40
850(35)/660(34)	30/10	30	0.9/03	0.2	0.15/0.05	4.5/1.5

Tabla 1. Dosis experimentales en mejoras de la actuación muscular. [5]

III. RESULTADOS

La férula está en constante evolución, lo que se tiene hasta el momento se puede apreciar en la Figura 5, básicamente lo que falta es poder añadirle a la férula ese sistema de sujeción o ensamble. Una vez teniendo el circuito y la férula, se encapsula el circuito, para poder montarlo sobre la férula y así poder usar la férula y recibir este tratamiento de luz de baja intensidad mientras uno mantiene puesta la férula.

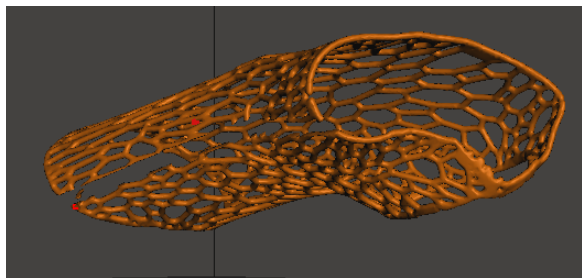


Fig. 5 Férula que se tiene al día de hoy.

Se espera que, con esta férula, la persona que sufra del síndrome del túnel carpiano en primera etapa, reduzca los síntomas de dolor en la muñeca, no obstante, la persona aún deberá asistir con su médico y/o especialista para el monitoreo de la evolución de este síndrome, este es un método alternativo para no usar las férulas convencionales y abrir camino a una nueva tecnología que puede aportar en muchos otros campos de la medicina, en especial en la traumatología.

IV. DISCUSIÓN

Con la terapia de luz infrarroja y roja, tratamos de aliviar los malestares causados por el síndrome del túnel carpiano en su primera etapa, cuando la intervención quirúrgica aún no es necesaria, gracias a las propiedades que la luz roja e infrarroja aportan al tejido y a las células, se espera una reducción en el dolor y mayor movilidad en el nervio medio del paciente. A su vez, se espera poder empezar a producir más férulas, esto con el fin de abrir una oportunidad en el mercado de la traumatología en especial, al poder usar estas férulas en diferentes lesiones, así como sustituto del yeso, en diversas fracturas.

V. CONCLUSIONES

Al proyecto aún le hacen falta definir ciertos aspectos, en el transcurso de lo que se sigue desarrollando, iremos definiendo esos aspectos. Sinceramente veo una oportunidad grande en el mercado de las férulas, estás férulas con mucho más cómodas que las convencionales, también como sustituto del yeso, puede ser una gran opción, ya que permite la transpiración de la piel y no es tan pesado como el material de yeso, a parte que esta férula es resistente

al agua, lo que brinda características mucho mejores que las de otros materiales, se seguirá investigando y desarrollando este proyecto mucho más a fondo para encontrar mejores resultados.

RECONOCIMIENTO

El autor E. D. agradece al Maestro en energías renovables Hugo Cesar Ramos Lopez por su ayuda incondicional en el desarrollo de este proyecto.

El autor E. D. agradece al Ing. Jorge Jara Jiménez, docente de la Universidad Politécnica de Chiapas, por su constante motivación a desarrollar proyectos y cada día superarse más.

El autor E. D. agradece a su familia por el constante apoyo en las noches de desvelo y en el transcurso del tiempo para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Parra, F. E., Parra, L. H., Tisiotti, P. V., & Wille Bille, J. M. (2007). Síndrome del túnel carpiano. Revista de Posgrado de la VIa Cátedra de Medicina, 173, 10–13. https://med.unne.edu.ar/revistas/revista173/4_173.pdf
- [2] Espitia Nieto SM, Gómez Romero MA, Vargas Pérez JA. Láser de diodo; opción terapéutica para liquen plano erosivo resistente a corticoterapia: reporte de caso. Rev Duazary. 2016;13(1):47-51. doi: <http://dx.doi.org/10.21676/2389783X.1587>.
- [3] Junior, E. C. L., de Godoi, V., Mancalossi, J. L., Rossi, R. P., De Marchi, T., Parente, M.,... & Tomazoni, S. S. (2011). Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in athletes—preliminary results. Lasers in medical science, 26(4), 493-501.
- [4] Leal Junior, E. C. P., Lopes-Martins, R. A. B., Baroni, B. M., De Marchi, T., Rossi, R. P., Grosselli, D., & Bjordal, J. M. (2009). Comparison between single-diode low-level laser therapy (LLLT) and LED multi-diode (cluster) therapy (LEDT) applications before high-intensity exercise. Photomedicine and laser surgery, 27(4), 617-623.
- [5] Palacios, V., (2019). *Sistemas fotónicos para la mejora de las prestaciones musculares en el deporte mediante terapias de luz de baja intensidad*. [Para acceder al título de Graduado en ingeniería de tecnologías de telecomunicación]. Universidad de Cantabria.
- [6] Carroll JD, Milward MR, Cooper PR, Hadis M, Palin W. Developments in low-level light therapy (lllt) for dentistry. Dent Mater. 2014;30(5):465-75. doi: [Developments in low level light therapy \(LLLT\) for dentistry](https://doi.org/10.1016/j.dmat.2014.05.001).