

DISEÑO DE UN EQUIPO DE ELECTROTERAPIA PARA TRATAMIENTO DE GONARTROSIS CONTROLADO DESDE UN SMARTPHONE

J.P. Moreno Ortiz* y A. Torres Ruiz*

* Universidad Manuela Beltrán/Programa de Ingeniería Biomédica, Grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica GIIB UMB, Semillero de Investigación SIB, Bogotá, Colombia.
e-mail: andrea.torres@umb.edu.co

Resumen: En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un prototipo portátil de estimulación eléctrica neuromuscular con iontoforesis, que ofrece una terapia de rehabilitación en pacientes con artrosis de rodilla, una enfermedad que afecta a la población adulta en todo el mundo e interfiere en la calidad de vida de las personas. La terapia pretende actuar sobre las fibras del dolor y producir analgesia y bienestar; asimismo, pretende estimular los tejidos implicados en la movilidad y la biomecánica de la rodilla para prevenir el deterioro de los elementos articulares, la atrofia y aumentar el metabolismo de los tejidos, con el fin de retardar el deterioro del cartílago articular y por lo tanto la enfermedad. El *hardware* se basó en una aplicación *Android* que se conecta al ordenador a través de una comunicación *bluetooth*; la aplicación puede almacenar información relacionada con el paciente y configurar y registrar terapias desde un teléfono inteligente (*smartphone*). El sistema de estimulación se acopló a una ortosis de rodilla que permite adaptar los electrodos de forma superficial tanto para la pierna derecha o izquierda. El prototipo fue diseñado bajo los estándares técnicos de seguridad eléctrica de equipos médicos activos y específicamente el estándar para el diseño y construcción de equipos de electroestimulación muscular y nerviosa. (NTC 60601-2-10).

Palabras-clave: Android, Artrosis de rodilla, Electroestimulación, Rehabilitación, Órtesis.

Abstract: *In this paper presents the design and development of a portable prototype of a neuromuscular electrical stimulation and iontophoresis offering a rehabilitation therapy in patients with knee osteoarthritis, a disease that affects the largest adult population worldwide and interferes in quality of life for people who have it. The implemented therapy aims to act on pain fibers and produce analgesia and welfare; likewise stimulate the tissues involved in the mobility and biomechanics to the knee for preventing deterioration of the elements and articular atrophy, increasing tissues metabolism, in order to retard articular cartilage deterioration and thus disease. The hardware is based on an Android application that connects to the computer through the bluetooth communication; the application can store information related to the patient and configure and register therapies from Smartphone. The pacing system was coupled to a knee orthosis that allows placing electrodes for superficial treatment, this orthosis is*

suitable for both right and left limb. The prototype was designed under the technical standards related to the electrical safety of assets medical equipment and specifically the standard for design and construction of nerve and muscle electrostimulation equipment (NTC 60601-2-10).

Keywords: *Android, Knee Osteoarthritis, Electrostimulation, Rehabilitation, Bracing.*

Introducción

La artrosis de rodilla (gonartrosis) representa una considerable fuente de discapacidad, debido a su naturaleza degenerativa, afecta al paciente en los niveles físico funcional, psicológico y económico.

El principal problema de los pacientes que la padecen se relaciona con el dolor articular, esta condición se complica cuando la degeneración del cartílago empieza a limitar la movilidad articular [1,2]. Se estima en Colombia, que el 60% de los hombres y el 70% de las mujeres mayores de 65 años ya padecen de artrosis, siendo la articulación de la rodilla la que se afecta con mayor frecuencia.

En la investigación se presenta el desarrollo de un dispositivo portátil de electroestimulación nerviosa y muscular, que usa la corriente TENS para disminuir el dolor en la articulación [3]; la corriente EMS para ejercitar y fortalecer los músculos de la pierna y disminuir la rigidez [4]; la corriente con iontoforesis para apoyar el tratamiento farmacológico.

Se implementó una aplicación Android para el control del hardware generador de las corrientes terapéuticas, que se conecta con el equipo a través de la comunicación bluetooth. La aplicación permite almacenar la información relacionada con el paciente, configurar las terapias y registrar la aplicación de las terapias desde un Smartphone.

Materiales y métodos

Módulo hardware – A partir de los requerimientos definidos para el equipo se identifican los módulos o componentes con los que debe contar el dispositivo generador de las corrientes terapéuticas. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del hardware.

a) Módulo de control: es el centro de control del equipo de electroterapia, en el cual se hace uso de: conversor digital a análogo (DAC); conversor análogo

digital (ADC); la comunicación serial a través del módulo UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter); la generación de onda cuadrada con el modulador de ancho de pulso (PWM).

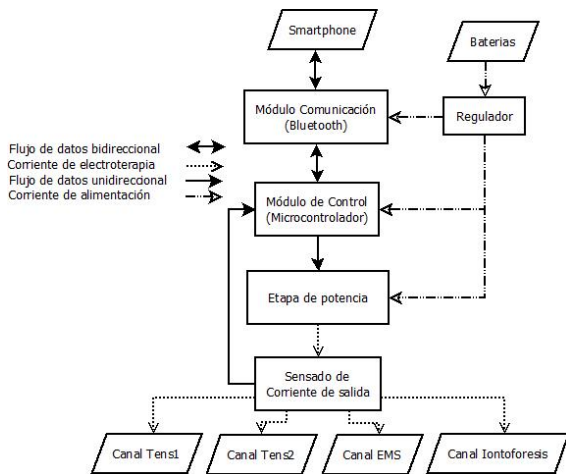


Figura 1: Diagrama de bloques del hardware

b) Módulo Bluetooth: componente que sirve de puente inalámbrico para comunicar la información entre el microcontrolador y el Smartphone.

c) Etapa de potencia: la etapa de potencia es de vital importancia dentro del equipo para que las señales generadas por el microcontrolador cumplan con su labor terapéutica, ya que la intensidad y la fase con la que pueden salir del microcontrolador no son suficientes para generar una corriente de electroterapia. En la Figura 2 se muestra el paso que debe hacer la señal desde el microcontrolador hasta los electrodos donde hará contacto con el paciente.

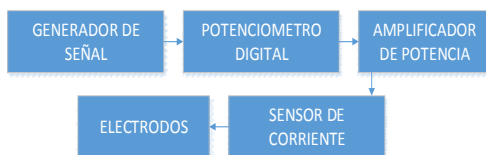


Figura 2: Diagrama de generación de señal

En el circuito simulado en la Figura 3, se observa uno de los canales del equipo, el cual inicia desde la señal proveniente del generador, esta señal toma dos caminos de acuerdo a la fase de la señal que se va a aplicar, luego llega a un divisor de voltaje donde se encuentra con el potenciómetro digital de 20kΩ que define la fase a aplicar, la fase positiva se da cuando el potenciómetro R3 se encuentra al 100% y el potenciómetro R1 está al 0%; la fase negativa se da cuando el patrón de activación es inverso.

Para la corriente continua se tiene una corriente máxima de 80mA, a partir del voltaje máximo y la impedancia de prueba definida por la normativa, gracias a la configuración de los circuitos se alcanza una corriente máxima de 60mA, lo cual afirma que la

corriente de salida no superará los valores máximos permitidos [5].

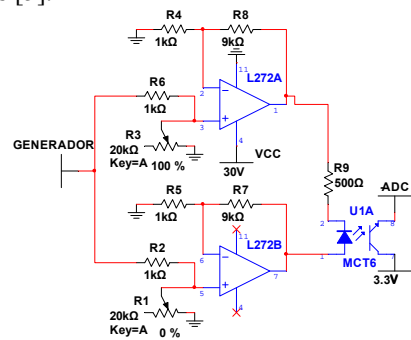


Figura 3: Circuito etapa de potencia

Dentro del esquemático de la Fig.4, se muestra el canal EMS, este circuito se repite para los canales TENS1 y 2 así como para el canal de iontoforesis, el circuito inicia con la señal DAC que es controlada en su paso a los amplificadores por el potenciómetro digital que la conecta a tierra, según sea el requerimiento de fase, luego llega al amplificador L272 que soporta tensiones altas, finalmente llega al electrodo y a un optoacoplador que permite el flujo de la corriente en ambas direcciones para permitir el censado de la corriente.

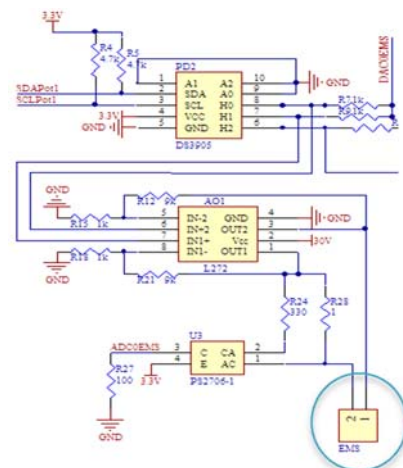


Figura 4: Esquemático etapa de potencia

El canal TENS a diferencia del EMS y el de iontoforesis es interferencial, por lo cual se tienen dos puntos de salida de corriente.

d) Censado de corriente y aislamiento: para el censado de la corriente se cuenta con un optoacoplador que permite el flujo de corriente alterna, este ofrece aislamiento del módulo de control con respecto a la salida de la fase de potencia [6].

e) Alimentación: se usó una fuente de alimentación interna, con una batería de alta capacidad y tamaño reducido que aporta la autonomía de carga para que sea portátil. Se usaron dos valores principales de alimentación para los componentes: 28V para el amplificador y etapa de potencia y 3.3V para los componentes digitales. Para lograr estos valores se usaron reguladores y convertidores DC-DC para elevar el voltaje de la fuente interna [7].

Módulo software de interfaz – Se implementaron los siguientes casos de uso:

- a) Para el smartphone/generador: conexión Bluetooth, configuración de la terapia y aplicación de la terapia.
- b) Para el generador/paciente: aplicar terapia y detener aplicación.

Módulo software embebido – Desde el diseño del software embebido se monitorea el sistema, se generan las corrientes y se establece la comunicación con la interfaz de usuario. Los casos de uso del software embebido son: configuración de terapia, aplicar terapia y detener aplicación.

Software de interfaz de usuario – El control del equipo de electroestimulación se realiza por medio de este software en un Smartphone con sistema operativo Android, el cual es el encargado de registrar la información del paciente, configurar los parámetros de las terapias y realizar el registro de la aplicación de estas. Por razones de facilidad, el desarrollo se realiza en una pantalla en 4.7". Para la interfaz es necesario definir las diferentes ventanas que componen el software, como se observa en la Figura 5.

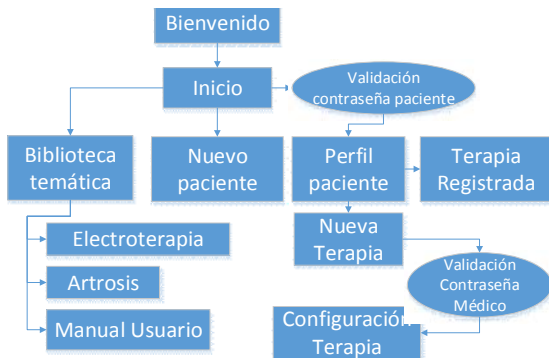


Figura 5: Esquema de ventanas del software de interfaz

Resultados

Equipo de electroestimulación – Se obtiene un equipo de electroestimulación con tres tipos de terapias: TENS, EMS e iontoforesis, que se maneja por medio de una interfaz de usuario a través de un Smartphone, para realizar terapia de rehabilitación en pacientes con gonartrosis.

Se obtuvo un voltaje de 5,1V en la salida de la batería, 4,3V en la salida del regulador, 3,2V en el regulador lm1117 y 22,17V en el convertor. Se puede observar que los voltajes en la tarjeta de alimentación no superan los 22,17V, estando por debajo del valor definido como de muy baja tensión de seguridad para usos médicos el cual se ubica en 25Va.c y 60Vd.c.

Se realizaron pruebas con diferentes resistencias de carga para simular el paciente en cada una de las salidas. A la salida del canal EMS se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla 1.

Se observa que para una resistencia de prueba de 50Ω se obtiene una corriente máxima de 21,5mA, lo cual no supera los límites permitidos por la norma técnica aplicable. También se pudo evidenciar que los valores a

la salida de los canales TENS eran muy similares a los registrados en el canal EMS.

Tabla 1: Medidas obtenidas para el canal EMS

Forma de onda	Resistencia (Ω)	Ancho pulso (ms)	Corriente máx. (mA)	Voltaje Máx. positivo	Voltaje Máx. negativo
Monofásica	50	0,25	12,2	16,291	-----
	100	0,25	7,6	17,958	-----
	500	0,25	1,7	20,105	-----
	1000	0,25	0,9	20,345	-----
	1500	0,25	0,5	21,258	-----
Bifásica simétrica	2000	0,25	0,3	21,21	-----
	50	0,25	11,8	15,968	6,43
	100	0,25	6,3	18,373	8,479
	500	0,25	1,1	21,499	14,242
	1000	0,25	0,54	21,306	20,911
Bifásica asimétrica	1500	0,25	0,28	21,355	20,721
	2000	0,25	0,18	20,489	20,387
	50	2	13,5	14,862	16,497
	100	2	3,9	15,243	16,449
	500	2	1,7	17,672	14,717
Spike	1000	2	1,12	20,673	20,441
	1500	2	0,8	21,578	20,24
	2000	2	0,6	22,007	20,97
	50	2	18,62	17,218	10,241
	100	2	13,1	17,795	10,527
Seno	500	2	1,65	15,775	11,813
	1000	2	0,57	21,306	11,861
	1500	2	0,27	21,547	11,527
	2000	2	0,19	22,171	11,956
	50	2	21,5	10,437	6,287
	100	2	12,7	12,697	7,907
	500	2	1,3	18,902	19,244
	1000	2	0,3	21,018	20,864
	1500	2	0,22	21,162	21,34
	2000	2	0,15	21,403	21,531

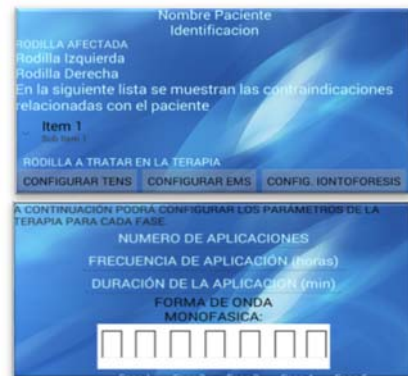


Figura 6: Interfaz gráfica.

Durante la toma de medidas en el canal de iontoforesis se observó una variación considerable en la forma de la onda, esta variación es mayor cuando se utilizan cargas de baja resistencia. Los resultados obtenidos en este canal, se registraron tanto para la onda continua como para la onda monofásica, en ésta última igualmente se utilizó una frecuencia de 100 Hz con un ancho de pulso de 250μs. Se pudo observar en el tipo de onda continuo que la corriente y el voltaje no superaron respectivamente los 21,5mA y 22,17V; y en la forma de

onda monofásica no superan los 6mA y los 23,13V, cumpliendo de igual forma con la norma.

Software de interfaz gráfica – Se obtuvo una interfaz gráfica que se visualiza en el Smartphone para realizar la terapia como se observa en la Figura 6. La primera ventana que se muestra es la de “nueva terapia”, la segunda es la de “configuración de la terapia”.

Discusión

Dada la alta prevalencia de la gonartrosis y su impacto negativo, se consideró de gran importancia desarrollar una tecnología para mejorar la calidad de vida de estos pacientes, controlar los síntomas de la enfermedad y disminuir los costos del tratamiento. En el manejo del dolor, se hizo uso de la corriente *TENS* interferencial, otros estudios de su efectividad han demostrado que al aplicar corrientes con frecuencia de 100Hz [3, 8], logra disminuir mejor el dolor comparado con otras terapias como el láser [9], el ultrasonido, los campos electromagnéticos y la acupuntura manual [10]. Gracias a esto, disminuye la cantidad de medicamentos analgésicos y los efectos negativos que se generan en algunos órganos. Con la iontoforesis es posible introducir medicamentos a través de la piel de forma localizada en la rodilla [11] sin ocasionar daño a los órganos. Con la *EMS*, se busca contrarrestar la disminución de la masa muscular y detener el aumento en la fragilidad de la articulación [12, 13, 14].

En un estudio realizado por J.A. Miranda Filloy y et al. [15], se contabilizó el dolor utilizando la escala visual analógica (EVA) del dolor y WOMAC en sus subescalas de intensidad del dolor, función física y rigidez articular, en el cual se observaron resultados evidentes en la eficacia de la aplicación de electroestimulación muscular para disminuir los niveles de dolor, disminuir la rigidez y mejorar la función física [15, 16].

Conclusiones

Se logró desarrollar un dispositivo electrónico portátil siguiendo la normativa de seguridad eléctrica en dispositivos médicos y la exigida para diseño y construcción de equipos de electroestimulación nerviosa y muscular, que posee la capacidad de proveer iontoforesis, *TENS* y *EMS* para el tratamiento de pacientes con gonartrosis y que permite su configuración y control a través de un software de interfaz en un Smartphone.

En la actualidad no existen equipos de electroestimulación destinados a brindar específicamente una terapia de rehabilitación para pacientes con gonartrosis, que además sean controlados a través de un Smartphone, haciendo de esta investigación algo innovador para los pacientes que la padecen.

Los estudios demuestran que el sistema sería óptimo para conseguir la rehabilitación, disminuir el dolor y el uso de fármacos que pueden originar problemas en el hígado y los riñones.

Referencias

- [1] Unidad de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (UETS). Guía del manejo del paciente con artrosis de rodilla en atención primaria. Madrid: Agencia Lain Entralgo, (2007).
- [2] Sociedad Española de Reumatología. Artrosis: Fisiopatología, diagnóstico y tratamiento. Madrid: Editorial Medica panamericana, (2010).
- [3] B. Gschiel, H. Kager, W. Pipam, K. Weichart (2010) Analgetische Effizienz von transkutaner elektrischer Nervenstimulation (TENS-Therapie) bei Patient mit Gonarthrose.» Springer Medizin Verlag, pp 494-500.
- [4] J. Miranda Filloy, C. Barbazán Álvarez, B. Monteagudo Sánchez, J. Graña Gil, F. Galdo Fernández (2005) Efecto de la estimulación eléctrica transcutánea del músculo cuádriceps en la sintomatología de la artrosis de rodilla, Rehabilitación, pp 167-170.
- [5] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll (1999) Amplificadores Operacionales, Quinta Edición, Pearson Prentice Hall, México.
- [6] NEC Corporation, AC Input response Darlington Transistor SOP Multi photocoupler Series, Datasheet, 1999.
- [7] V Infinity. DC-DC Converter VAT 1 S5 D15 SMT, Datasheet. 2011.
- [8] Pearl P. W. Law, G. L. (2004). Optimal stimulation frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation on people with knee osteoarthritis. Taylor & Francis healthsciences, 220-225.
- [9] L. Domínguez Carrillo (2001) Comparación de la electroestimulación transcutánea vs láser de bajo nivel en la analgesia de pacientes con gonartrosis. Cirugía y cirujanos 69, nº 1, pp 13-17.
- [10] Bjordal, Jan M, Mark I Johnson, Rodrigo a B Lopes-Martins, Bård Bogen, Roberta Chow, and Anne E Ljunggren (2007). Short-Term Efficacy of Physical Interventions in Osteoarthritic Knee Pain. A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Placebo-Controlled Trials. BMC Musculoskeletal Disorders 8, pp 51.
- [11] Turhanoglu, Ayse Dicle, Hayal Guler, Deniz Inanoglu, Kerem Inanoglu, and Selim Turhanoglu (2010). “Tramadol Iontophoresis Added to Treatment of Knee Osteoarthritis.” Turkish Journal of Rheumatology 25, (4), pp 174-78.
- [12] Bennell, Kim L, Michael A Hunt, Tim V Wrigley, Boonwhatt Lim, and Rana S Hinman (2008) El Tratamiento de La Gonartrosis, pp 34, 731-54.
- [13] Elboim-Gabyzon, M, N Rozen, and Y Laufer (2013) Does Neuromuscular Electrical Stimulation Enhance the Effectiveness of an Exercise Programme in Subjects with Knee Osteoarthritis? A Randomized Controlled Trial. Clinical Rehabilitation, 27, (3), pp 246, 57.
- [14] Bruce-Brand, R a, R J Walls, J C Ong, B S Emerson, J M O’Byrne, and N M Moyna (2012). “Effects of Home-Based Resistance Training and Neuromuscular Electrical Stimulation in Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial.” BMC Musculoskeletal Disord pp 13, 118.
- [15] Miranda Filloy, C. Barbazán Álvarez, B. Monteagudo Sánchez, J. Graña Gil, F. Galdo Fernández. J.A. (2005) efecto de la estimulación eléctrica transcutánea del músculo cuádriceps en la sintomatología de la artrosis de rodilla, Rehabilitación, pp 167 – 170
- [16] OM Giggins, BM Fullen, GF Coughlan (2011) neuromuscular electrical stimulation in the treatment of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. Clinical Rehabilitation 26, nº 10, pp 867 – 88.