

## MONITOR DE RELAJACIÓN NEUROMUSCULAR: UNA PROPUESTA DE DISEÑO

Nora Nuñez Yi, Daniel Vega Fernández

Instituto Central de Investigación Digital, Departamento EM1, La Habana, Cuba.  
nora@icid.cu

### RESUMEN

En este trabajo los autores presentan una propuesta de diseño de un monitor de relajación neuromuscular. Este equipo tiene su aplicación en el área de Anestesiología, con el objetivo de cuantificar la profundidad de la relajación muscular de pacientes bajo el efecto de anestesia profunda. En la práctica muchos anestesiólogos emplean la evaluación táctil y visual del grado de bloqueo neuro-muscular, resultando subjetiva la interpretación de las respuestas. Teniendo en cuenta las prestaciones fundamentales que debe cumplir el monitor se presenta un diagrama en bloques y se describe su estructura, y se discuten los resultados preliminares. En el diseño se propone el uso del microcontrolador de bajo consumo MSP430F1611, de la Texas Instruments, así como un acelerómetro con salida serie digital a través del cual se cuantifica el grado de relajación muscular que se muestra de forma gráfica en una pantalla LCD. Se utiliza además una topología de fuente de corriente constante y una fuente de alta tensión para garantizar requisitos indispensables de este tipo de aplicación.

Palabras claves: Monitor, relajación neuromuscular, anestesia profunda.

### ABSTRACT

In the present work the authors present a proposal a neuromuscular relaxation monitor. The application of this device is in the area of the anesthesiology with the target of quantify the deep relaxation of patient during general anesthesia use. In this work the authors show the design criteria used to conceive the monitor and its structure too. Furthermore the simulation results of the stimulation block are discussed.

Key words: Monitor, neuromuscular relaxation, deep anesthesia

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el curso de las intervenciones quirúrgicas que se desarrollan bajo el efecto de la anestesia profunda, es frecuente administrarle al paciente un relajante neuromuscular con el objetivo de que el campo operatorio se mantenga sin movimiento. Es importante para el anestesiólogo conocer en cada momento la profundidad real de la relajación pues le permitirá tomar las decisiones adecuadas, tales como intubar o extubar al paciente para el inicio o fin de la respiración artificial, administrar dosis adicionales de relajante teniendo en cuenta las características y curso de la intervención y determinar el momento adecuado para revertir el proceso desencadenado por el relajante [1].

En la actualidad se conocen varias formas de monitorear la relajación neuromuscular. Uno de los métodos reportados en la literatura es la medición de la aceleración del dedo pulgar como respuesta a un estímulo eléctrico aplicado al nervio mediano [2].

El Instituto Central de Investigaciones Digitales (ICID) cuenta con una experiencia que data del año 2001 en el desarrollo de un prototipo de monitor de relajación neuro-muscular, basado en el principio de medición mencionado [3].

El presente trabajo tiene como objetivo principal presentar una propuesta de diseño para un monitor de relajación neuromuscular.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cuantificar el grado de relajación neuromuscular se aplicará un estímulo eléctrico sobre el nervio mediano del paciente y se medirá la respuesta de aceleración del dedo pulgar usando un acelerómetro. La primera medición se le realiza al paciente después de sedado y antes de aplicarle relajante muscular, con este valor se determina la corriente supramaximal [4] y es empleado como referencia para cuantificar las mediciones posteriores. El valor del grado de relajación neuromuscular se visualizará en una pantalla, de forma gráfica y numérica, facilitando la interacción del usuario con el equipo. Las prestaciones fundamentales que debe cumplir este monitor son:

- Obtener la respuesta mecánica del músculo mediante un sensor de aceleración, con comunicación serie digital.
- Cuantificar la relajación muscular del paciente basándose en los registros del acelerómetro, y visualizar su valor en una pantalla LCD.
- Crear y almacenar un registro de los eventos, características de los estímulos y la

respuesta del paciente durante el proceso de monitorización.

- Generar los patrones de estímulos eléctricos necesarios con los parámetros requeridos y con intensidad de corriente constante.
- Transmitir el registro almacenado durante la monitorización desde el monitor hacia una computadora, utilizando un cable serie o por vía inalámbrica, para su posterior análisis fuera de línea.
- El monitor será de bajo consumo, lo que facilita sea alimentado mediante una batería recargable de 3,7 V, garantizando su portabilidad.

Garantizar la seguridad del paciente y del operador eliminando cualquier riesgo de choque eléctrico, cumpliendo con las normas internacionales vigentes [5, 6].

Para satisfacer las prestaciones antes expuestas, la propuesta de arquitectura que se presenta cuenta con un bloque central constituido por el microcontrolador MSP430F1611 de la Texas Instruments.

Este controlador de bajo consumo (3,3V), dispone de varios módulos tanto analógicos (ADC y DAC) como digitales que lo hacen adecuado para esta aplicación. En su selección también influyó la facilidad de este procesador de contar con módulos hardware internos para los protocolos de comunicación serie I2C y SPI que se usarán en la comunicación con otros bloques del equipo.

El proceso de estimulación se realizará mediante dos electrodos superficiales no-invasivos conectados a una fuente de estímulos de alta tensión (360 V). Su núcleo central es un conversor que transforma el voltaje suministrado por la batería en el alto voltaje necesario para la estimulación. La fuente de corriente constante permite suministrar estímulos unipolares con intensidad de corriente de hasta 80 mA sobre una carga de 4 k $\Omega$ , que constituye un requisito indispensable para la estimulación eléctrica en esta aplicación [7].

Para la estimulación se generarán los siguientes patrones, establecidos y usados comúnmente:

- Simple (Single Twitch o ST): pulsos de 200  $\mu$ s de duración y período de 1 s ( $f = 1$  Hz).
- Tren de Cuatro (Train Of Four o TOF): cuatro pulsos de 200  $\mu$ s de duración con frecuencia de 2 Hz, repitiendo el patrón cada 15 segundos.
- Tren de Cuatro a Demanda (TOF-D): se genera un patrón de TOF cada vez que el especialista lo decide.
- Doble Ráfaga (Double Burst o DB): patrón DB en relación 3:2, formado por tres pulsos de 200  $\mu$ s de duración y período de 20 ms ( $f = 50$  Hz) y un

intervalo sin pulsos de 0,75 s seguido de dos pulsos con las mismas características que los tres primeros.

•**Conteo Postetánico:** (Post Tetanic Count o PTC): cinco segundos de estimulación tetánica, con pulsos monofásicos de 200  $\mu$ s de duración y período de 20 ms seguidos por 16 estímulos ST [7].

La alimentación del equipo se realizará mediante una batería Ion-Litio que se cargará desde una computadora o a través de un adaptador externo conectado a la red industrial, empleando en ambos casos un único conector USB a seme-EI diseño contará, además, con dos módulos de comunicación externos: el bloque USB mencionado y un bloque inalámbrico Bluetooth que permitirán descargar la información almacenada en una memoria SD (Secure Data) interna, hacia una computadora. Dicha memoria contendrá registros del proceso de estimulación tales como: tipo de estímulo, intensidad de corriente, respuesta del acelerómetro, valor calculado de relajación muscular, así como los eventos indicados por el especialista. Cada uno de estos registros tiene implícita la información de fecha y hora suministrada por el propio monitor empleando un reloj de tiempo real (RTC).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los bloques propuestos se realizó el diagrama que se muestra en la figura 1, donde se establece con claridad la relación existente entre cada uno de ellos.

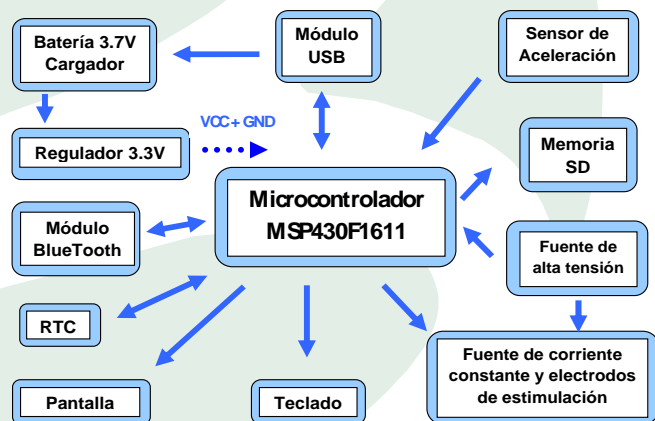


Fig. 1 Diagrama en bloques del monitor de relajación neuromuscular

El diseño de la fuente de corriente constante se muestra en la figura 2, basado en otro desarrollado con anterioridad [6].

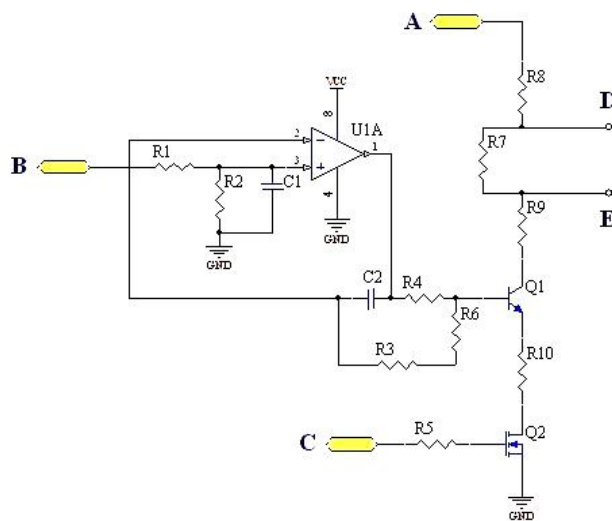


Fig. 2 Esquema eléctrico de la fuente de corriente constante. A: fuente de alta tensión, B: control de intensidad de corriente, C: sincronismo de la señal de estimulación, D y E: electrodos de estimulación

La corriente a través de los electrodos produce una caída de tensión en el resistor R10, que se compara continuamente con un valor de tensión de referencia fijado por el ajuste de intensidad. La realimentación actúa de tal forma que mantiene la corriente constante ante variaciones en la carga y en la fuente de alta tensión, para una gama de valores de la resistencia piel-electrodos del paciente, que representa la carga del circuito.

Se realizó la simulación del comportamiento de la fuente para validar su diseño, usando la herramienta OrCAD v9.2.3 de Cadence. Los resultados se muestran en la figura 3.

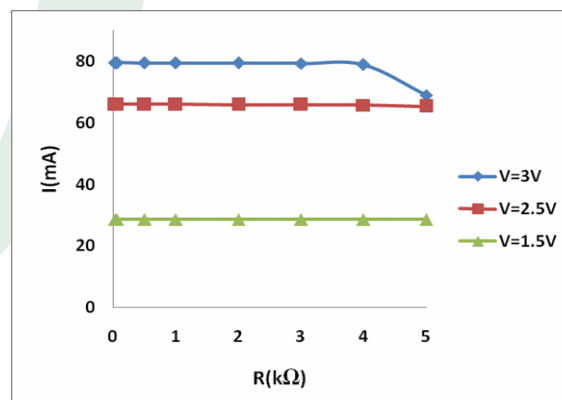


Fig. 3 Resultados de la simulación de la fuente de corriente constante

Durante la simulación se obtuvieron valores de la intensidad de corriente para tres casos distintos de voltaje de entrada (1,5, 2,5 y 3V).

Para cada valor de voltaje se simuló la resistencia de la piel del paciente por un resistor fijo, con valor entre 0 hasta 5 k $\Omega$ .

La corriente permanece constante hasta un valor de resistencia de carga de 4 k $\Omega$ , como se muestra en la figura 3, que resulta conveniente para esta aplicación.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha presentado una propuesta de diseño de un monitor de relajación neuromuscular desarrollado para la determinación de la profundidad del bloqueo neuromuscular en pacientes bajo anestesia profunda, que utiliza el principio de medición de la respuesta de aceleración del dedo pulgar ante un estímulo eléctrico determinado aplicado al nervio mediano.

El bloque de estimulación del monitor es capaz, según las simulaciones realizadas, de suministrar estímulos a corriente constante, con un valor máximo de corriente de 80 mA sobre una carga de hasta 4 k $\Omega$ , lo que se considera adecuado.

#### REFERENCIAS

- [1.] Rodríguez L. et al. (2001) Un monitor para determinar la profundidad de la relajación muscular en anestesiología. Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, La Habana, 2001, trabajo 00142, ISSN 950-7132-57-5.
- [2.] Datex Ohmeda (2003) Neuromuscular Transmission Quick Guide. 2003
- [3.] Rodríguez L., Folgueras J., Cordero I., Cartaya ME. y Fernández AR. (2003). RELAX M: Monitor-estimulador de diseño nacional. Estudio preliminar en sujetos no anestesiados. Vol. 2 Revista Cubana de Anestesiología y Reanimación, 2003. pp 1-4.
- [4.] Ilkka S. Kalli (2003) Neuromuscular Block Monitoring, USA.
- [5.] IEC60601-1 (2005) General requirements for basic safety and essential performance. Part 1.
- [6.] UNE60601-2-10. Particular requirements for the safety of nerve and muscle stimulators. Part 2.
- [7.] Folgueras J., et al. (2001). Estimulador eléctrico manuable para aplicaciones en anestesiología. Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, La Habana, 2001, 00350, ISSN 950-7132-57-5.