

Diseño e implementación de un equipo de monitoreo inalámbrico para el control de la maniobra de Valsalva.

B. Becerra-Luna¹, R. Martínez-Memije¹, A.C. González-Medina², J.A. González-Hermosillo², O. Infante¹

¹Departamento de Instrumentación Electromecánica, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, Ciudad de México

²Subdirección Médica de Proyectos de Innovación, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, Ciudad de México

Resumen—Este trabajo describe el diseño e implementación de un dispositivo de monitoreo inalámbrico comunicado mediante protocolo Bluetooth (BT) a una PC, desarrollado con el objetivo de ayudar a realizar y mantener una maniobra de Valsalva (MV) efectiva, esta prueba se empleó de forma adicional a la prueba de inclinación en pacientes con sospecha de intolerancia ortostática.

El sistema se compone de los siguientes elementos: boquilla plástica de propósito general, manguera plástica, llave de control de flujo de aire, transductor de presión, microcontrolador (μ C), módulo de BT y un sistema de alertas por luz y sonido, además del desarrollo de un software monitor para PC.

El μ C fue programado para realizar las siguientes tareas: conversión de presión a voltaje, digitalización a 10 muestras/segundo, transmisión a 9600 bauds mediante BT, sistema de alerta mediante luz y sonido. El software desarrollado para la PC monitorea gráficamente y almacena los registros de Valsalva. Este monitor funciona como un dispositivo guía de ayuda en el control y confianza de la efectividad de la maniobra, resultando útil al momento de registrar todas las fases de la maniobra. Ha sido probado en 4 sujetos sanos y 3 pacientes con intolerancia ortostática mostrando utilidad al tener registros de la maniobra de Valsalva efectivos en todos los casos.

Palabras clave— Maniobra de Valsalva, Intolerancia ortostática, monitor de Valsalva.

I. INTRODUCCIÓN

La intolerancia ortostática se define como la aparición de síntomas de hipoperfusión cerebral al estar de pie, que se alivian al acostarse, los pacientes clásicamente no consultan al médico por mucho tiempo o son erróneamente diagnosticados como depresión, estrés, fatiga crónica o trastorno de pánico, se quejan de fatiga extrema, intolerancia al ejercicio, mareos, disminución de la concentración y síncope, por lo que muchas de las actividades de la vida diaria pueden estar interferidas por las molestias [1]. La intolerancia ortostática es más frecuente en mujeres que en hombres en una relación 4:1, mayormente en mujeres menores de 35 años [2].

En los pacientes con intolerancia ortostática, la respuesta hemodinámica al adoptar la posición de pie puede identificar una anomalía: el síndrome de taquicardia postural ortostática o una hipotensión ortostática. Cuando la respuesta hemodinámica al ortostatismo activo es normal, la prueba de inclinación en mesa basculante (*Tilt test*) se hace necesaria para establecer el diagnóstico y seleccionar un tratamiento, en el síncope vasovagal o en el síndrome de

taquicardia postural ortostática. Durante la evaluación de la respuesta hemodinámica a la prueba de inclinación es importante la distinción entre el verdadero síncope vasovagal y la llamada respuesta disautónoma que se caracteriza por una disminución gradual y progresiva de la presión arterial que antecede al síncope [3], por lo que la prueba de inclinación por sí sola, no puede identificar las diferencias entre estos casos, teniendo que utilizar una prueba adicional que permita hacer dicha discriminación, por lo que se eligió la maniobra de Valsalva, que actualmente en la práctica clínica tiene diversas aplicaciones, una de ellas la valoración de la respuesta autonómica en el sistema cardiovascular. La Maniobra de Valsalva consiste en una espiración forzada contra la glotis cerrada [4], [5]. Existen dos métodos para su realización:

- 1) Método no instrumental. El paciente inspira y puja durante un tiempo de entre 10 y 15 segundos, soltando el aire bruscamente.
- 2) Método instrumentado. El paciente sopla por una boquilla conectada a una columna de mercurio hasta alcanzar un rango de presión entre 40 y 50 mmHg, manteniendo este nivel de presión durante un tiempo de entre 10 y 15 segundos y posteriormente se libera por una válvula dejando escapar el aire bruscamente [6].

En México no existen equipos electrónicos asistentes para el control de la maniobra de Valsalva (MV), por lo que bajo los métodos instrumentados y con el fin de tener una MV efectiva, nuestro grupo de trabajo desarrolló un manómetro digital inalámbrico al que denominamos como “*M-Valsa I*”, capaz de registrar los cambios de presión ejercidos en la boquilla donde se realiza la espiración forzada contra la glotis cerrada y transmitirlo mediante BT a una PC, para su monitoreo y registro gráfico en un software propio desarrollado en la plataforma Delphi 7, dicho software permite almacenar registros con un máximo de 3 horas de duración. Este dispositivo fue desarrollado con la expectativa de ayudar en la realización de una MV efectiva que apoye en la toma de decisiones al momento de valorar las pruebas asociadas a la intolerancia ortostática.

II. METODOLOGÍA

A. Descripción del sistema desarrollado.

Se diseñó y construyó un manómetro digital, capaz de medir la presión que se está ejerciendo sobre una boquilla

plástica, al realizar una espiración forzada a una presión de 40 mmHg durante 15 segundos, con la posibilidad de transmitir dicha información a un software monitor para PC mediante bluetooth, permitiendo registrar dicha actividad en forma gráfica y numérica. El diagrama a bloques de la Fig. 1 muestra las etapas que componen al dispositivo de monitoreo.

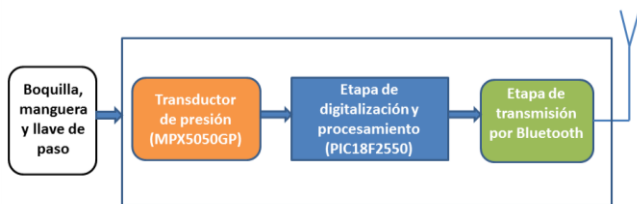


Fig. 1.- Diagrama a bloques del *M-Valsa I* desarrollado.

Para la adquisición de la señal de presión ejercida por el sujeto de estudio, se requirió de una sección neumática que se compone de: una boquilla plástica de propósito general, una manguera plástica (con longitud de 65cm y 5mm de diámetro), una llave de 3 vías para el control de liberación del flujo de aire. Posterior a ello se empleó un transductor piezo-resistivo de presión modelo MPX5050G [7] del fabricante Freescale Inc., con capacidad para medir desde 0 hasta 300mmHg. La señal obtenida del transductor es puesta en el microcontrolador (μ C) del fabricante Microchip modelo PIC18F2550 [8] para su conversión analógica-digital a 8 bits, su comunicación es de tipo serial y bajo consumo de corriente, dichas especificaciones lo vuelven óptimo para su uso en este diseño, ya que el sistema es alimentado por una batería y la comunicación serial es utilizada para el modem Bluetooth, se asignó un puerto de salida hacia el modem de BT empleado modelo Parani ESD-100 [9], este es compatible con el Protocolo de Puerto Serie (SPP) y cuenta con 4 modos distintos de programación, este desarrollo utilizó el modo 3 de operación, el cual es visible para toda fuente de bluetooth. Para los elementos empleados en el sistema de alarmas, en este caso un LED del tipo RGB se asignaron 3 puertos para su control y uno más para el buzzer.

B. Software de procesamiento del microcontrolador

El software utilizado para la programación del μ C, es el PIC C COMPILER Versión 4.032, una vez obtenida la señal de presión del transductor, ésta es digitalizada con el convertidor Analógico/Digital (ADC) interno del μ C a una resolución de 8 bits y una frecuencia de muestreo de 10 muestras/segundo. Los procesos efectuados por el μ C para el procesamiento de la señal de presión son:

- Espera de comando de sincronización para la transmisión y recepción de datos, entre μ C y la PC.
- Digitalización de la señal analógica a través del ADC.

- Llenado del buffer con la señal de presión digitalizada.
- Encendido de la luz al detectar una lectura de presión mayor o igual a 40mmHg. Se emite un pitido para indicar que el sistema está en rango de operación y se envía un mensaje con el texto “inicio” a la PC.
- Transmisión del paquete de datos hacia el modem Bluetooth, para mostrar la señal de presión ejercida en la boquilla en la pantalla de la PC.
- Transmisión de los valores de presión. en formato ASCII hacia el modem Bluetooth.
- Almacenamiento de los datos registrados mediante el software de monitoreo.

C. Software de monitoreo desarrollado para la PC

Para el registro gráfico de la señal de presión se creó un programa en Delphi 7, capaz de comunicarse al *M-Valsa I* mediante la emulación del puerto serie, mediante el protocolo RS-232, para poder hacer uso de este puerto emulado fue requerido el software BlueSoleil versión 6.2, el cual es un gestor de los protocolos de Bluetooth en Windows y permite hacer uso del él como un puerto virtual.

D. Análisis de datos comparativos previos al uso del equipo en la maniobra de Valsalva.

A fin de verificar que el *M-Valsa I* diseñado registra mediciones de presión confiables, se comparó contra las obtenidas por una columna de mercurio, el cual fue tomado como estándar de oro. El registro de la presión se realizó mediante un brazal y un elemento a comprimir, en un rango de 0 a 100mmHg, variando la medición en 10 mmHg cada 10 segundos. El análisis de comparación se realizó mediante el método de Bland-Altman [10].

E. Descripción de sujetos control y pacientes

Elección de pacientes.

Participaron 3 pacientes de género femenino, con un rango de edades de entre 15 y 40 años, con diagnóstico de intolerancia ortostática sustentado en historia clínica y el resultado de una prueba de inclinación en mesa basculante. Las pacientes reciben atención en el área de consulta de Electrofisiología del Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez”.

Elección de sujetos control.

Se eligieron 4 mujeres voluntarias sin historia de síncope, ni síntomas de intolerancia ortostática y con prueba de inclinación negativa.

F. Protocolo de registro

La MV consistió en realizar una espiración forzada contra una presión de 40 mmHg durante 15 segundos. Para garantizar la medición se utilizó un monitor de Valsalva con tecnología Bluetooth que muestra mediante software en una PC la presión ejercida sobre la boquilla. El dispositivo tiene las siguientes características que ayudan al paciente y a quien realiza la prueba a verificar la calidad de la maniobra: cuenta con un temporizador luminoso de 15 segundos, un aviso audible cuando se alcanzan los 40 mmHg, indicadores luminosos de principio (azul) y error (rojo) de la prueba y un indicador audible de principio, fin de prueba y error. Su rango de operación va de 0-100 mmHg. Para observar los cambios de presión arterial latido a latido durante la MV utilizamos un equipo llamado Finometer (FMS, Finapres Medical Systems BV, Amsterdam, Holanda) [11].

Se realizaron mediciones de dichos parámetros en 2 posiciones, en decúbito y con una inclinación de 70°, es decir, en reto ortostático pasivo. En cada una de las 2 posiciones se realizó lo siguiente: después de cinco minutos de estabilización hemodinámica, se realizó la medición de la HRV durante seis minutos; posteriormente se le pidió al paciente que realice tres MV, con cinco minutos de separación entre ellas. Se hicieron tres MV en cada posición a fin de obtener un registro fidedigno de la respuesta fisiológica del paciente ante el mismo esfuerzo realizado.

Para realizar la comparación entre mujeres sanas y enfermas, se midió la amplitud y el tiempo registrados en cada fase de la maniobra de Valsalva, en especial en las fases IIE, IIL y IV. En la Fig. 2 se presentan los cambios en la señal de presión arterial sistólica en mmHg (línea azul), frecuencia cardíaca en lpm (línea roja), registro de la Valsalva en mmHg (línea verde) y como se dividen sus fases. [4].

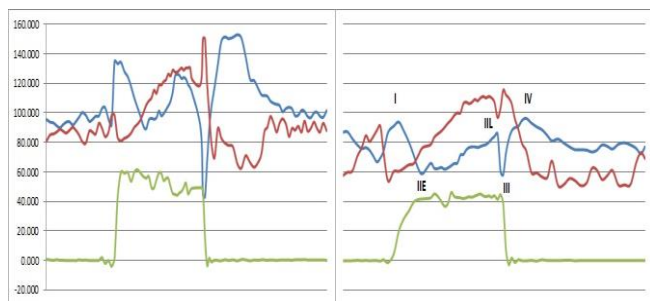


Fig. 2.- Registros de la maniobra de Valsalva (línea verde) y los cambios que ocurren en la presión arterial (línea azul) y la frecuencia cardíaca (línea roja) de un sujeto control (lado izquierdo) y un paciente (lado derecho)

III. RESULTADOS

A. Resultados de la etapa de electrónica analógica

El dispositivo desarrollado es un equipo independiente que puede ser empleado junto con otros sistemas, como en este caso con un Finometer. El sistema funciona a base de una

batería de 9 volts recargable, que al momento permiten obtener registros de 2 horas continuas como máximo. La Tabla 1 muestra otras características eléctricas del sistema.

Tabla 1.- Voltaje y corriente de consumo total del *M-Valsa I*, ganancia, sensibilidad y tiempo de respuesta del transductor de presión.

Parámetros	Mediciones obtenidas
Voltaje de operación	9 V
Corriente máxima total de consumo al transmitir	120 mA
Corriente máxima total de consumo sin transmitir	60 mA
Ganancia total	1
Sensibilidad	12 mV/mmHg
Tiempo de respuesta	1 ms

V: volts (unidad de medida de potencial eléctrico); mA: miliamper (unidad de medida de corriente eléctrica); Hz: hertz (unidad de medida de para frecuencia)

B. Resultados obtenidos en el desarrollo del software del microcontrolador

La programación desarrollada en el microcontrolador permitió tener dentro de su funcionamiento un temporizador luminoso de 15 segundos, un aviso audible cuando se alcanzan los 40 mmHg, indicadores luminosos de principio (azul) y error (rojo) de la prueba y un indicador audible de principio, fin de prueba y error. La Tabla 2 muestra los parámetros de conversión y transmisión que se manejan en el equipo.

Tabla 2.- Parámetros para conversión analógico digital, velocidad de transmisión y protocolo de comunicación empleado.

Parámetros	Resultados
Resolución conversión A/D	8 bits
Frecuencia de muestreo	10 muestras/s
Velocidad en transmisión	9600 bauds
Protocolo de comunicación	Emulación de RS-232, mediante SPP

C. Resultados obtenidos en el desarrollo del software de monitoreo de la PC.

El software desarrollado permite tener comunicación con el *M-Valsa I*, mediante la emulación del puerto serie, en este caso fue necesario hacer uso de un software gestor (BlueSoleil), que asigne un puerto virtual, para efecto de este trabajo fue el "Com2", con posibilidad de almacenar los registros en forma continua y en formato ASCII, por un tiempo máximo de 3 horas. En la Fig. 3 se muestra el dispositivo desarrollado *M-Valsa I*.

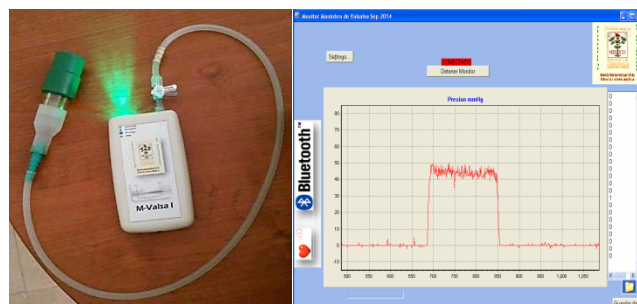


Fig. 3.- Dispositivo digital inalámbrico *M-Valsa I* (lado izquierdo) y pantalla del software monitor de maniobra de Valsalva (lado derecho)

D. Resultados de análisis por Bland-Altman

Al realizar una regresión lineal con las mediciones entre la columna de mercurio y el *M-Valsa I*, se alcanzó un coeficiente de determinación $R^2= 0.99$. Realizando el análisis por el método de Bland-Altman se obtuvo una media de las diferencias $\Delta=-0.19$ mmHg y una desviación estándar de 1.04 mmHg, como se ve en la Fig. 4.

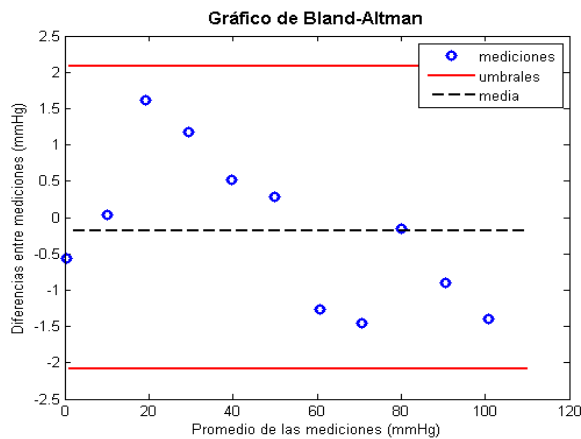


Fig. 4.- Gráfico del análisis por el método de Bland-Altman.

E. Resultados obtenidos durante la maniobra de Valsalva

El sistema diseñado para el registro de la maniobra de Valsalva ayudó en todas las pruebas realizadas con pacientes y controles, obteniendo así 7 pruebas de Valsalva efectivas guiadas mediante el *M-Valsa I* desarrollado.

IV. DISCUSIÓN

Los métodos tradicionales para la realización de la MV actualmente tienen limitaciones, desde el montaje neumático hasta la falta de almacenamiento de los registros de Valsalva, sobre todo si se pretende emplear en condiciones no óptimas como en la mesa de inclinación. El dispositivo que se presenta da la ventaja de monitorear en todo momento la MV en la PC de forma inalámbrica, así como observar que ésta se encuentra en el margen de presión sugerido (40mmHg), incluso sin el software monitor es posible tener seguridad del control de la MV a través del uso de las alarmas audibles y luminosas que el dispositivo emite, guarda los registros de Valsalva en formato ASCII, dando oportunidad de ser adheridos a otros programas para análisis conjunto, como en este caso con los registros de presión del equipo Finometer. Para realizar correctamente la MV y mejorar la efectividad del registro se dio un entrenamiento a los participantes, previo a la toma de la maniobra. En trabajo futuro se pretende incrementar el número de participantes para determinar la confiabilidad y repetitividad. Este monitor podría ser empleado con otros equipos comerciales y ser útil en las prácticas médicas que hagan uso de la MV, para tener otra prueba que ayude en la valoración de la falla

autonómica, como en pacientes con síncope vasovagal, síndrome postural ortostático periférico y síndrome postural central.

V. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos de la comparación de medición de la presión mediante el método de Bland-Altman sugieren que se encuentra dentro de los umbrales clínicamente aceptables, por lo que la medición realizada por ambos equipos puede ser intercambiable. El sistema desarrollado permite tener un dispositivo asistente en la MV a través del monitoreo de la presión que se ejerce en la boquilla mientras se observa gráficamente y se atienden las alarmas, logrando tener resultados satisfactorios al momento de realizar la maniobra en todos los casos de registro.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez”, por el desarrollo del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Jiménez Cohl, M. Nicholas Earle, R. Beltrán González, J. Elfride Thieck. “Taquicardia postural ortostática en 15 pacientes: disautonomía compleja”, *Rev Med Chile*, vol. 140, no. 2, pp. 145-152, Feb. 2012.
- [2] J. M. Stewart, M. S. Medow, A. J. Chin, J. C. Alejos. “Orthostatic Intolerance”, *Drugs, diseases and procedures*, Feb. 2015. Disponible en línea: <http://emedicine.medscape.com/article/902155-overview%20>
- [3] J. A. Gonzalez-Hermosillo. “Los síndromes de la intolerancia ortostática”, *Arch Cardiol Mex*, vol 71, no. S1, pp. 58-62, Ene. 2001.
- [4] C. Malamud-Kessler, B. Estañol-Vidal, O. Infante-Vázquez, M. Campos-Sánchez, E. Chiquete. “Comportamiento del barorreflejo en pacientes con síncope vasovagal durante el ortostatismo activo”. *Rev Neurol*, vol. 57, pp. 199-206, May. 2013.
- [5] C. A. Trejo-Nava. “La maniobra de Valsalva. Una herramienta para la clínica”. *Rev Mex Cardiol*. vol. 24, no. 1, pp. 35-40, Ene. 2013.
- [6] L. F. Junqueira Jr, “Teaching cardiac autonomic function dynamics employing the Valsalva (Valsalva-Weber) maneuver”. *Adv Physiol Educ*, vol. 32, no. 1, pp. 100-106, Mar. 2008.
- [7] Freescale Inc., “Semiconductor technical data MPX5050 Series”. Disponible en línea: <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/5187/MOTOROLA/MPX5050GP.html>
- [8] Microchip, “PIC18F2550 Datasheet”. Disponible en línea: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>
- [9] SENA, “OEM Bluetooth serial module Parani ESD100 V2”. Disponible en línea: http://www.senanetworks.com/download/datasheet/ds_parani_esd100v2.pdf
- [10] D. G. Altman, J. M. Bland. “Measurement in Medicine: The Analysis of Method Comparison Studies”, *J R Stat Soc. D STAT*, vol. 32, no. 3 pp. 307-317, Sep. 1983
- [11] A E Schutte, H W Huisman, J M Van Rooyen, NT Malan, R Schutte, “Validation of the Finometer device for measurement of blood pressure in black women”, *J Hum Hypertens*, vol. 18, no. 2, pp. 79-84, 2004.