

Instrumentación y uso de un dispositivo para medir actividad eléctrica de corazón y estómago

Hernández-Ledezma FU,* Córdova-Fraga T,* Hernández-González MA,** Vargas-Luna M,* Cano ME,*** De la Roca-Chiapas JM,* Solorio S**

RESUMEN

Introducción: Al igual que el corazón, el estómago posee su propio marcapasos en donde se genera un pulso eléctrico regular y recurrente llamado ritmo eléctrico basal (REB) de alrededor de 3 ciclos por minuto (cpm). **Objetivo:** Presentar una modalidad de medición simultánea o por separado de electrocardiografía y electrogastrografía en un solo dispositivo portátil, inalámbrico y de bajo costo. **Material y métodos:** Medición simultánea de actividad eléctrica gástrica (AEG) y la actividad eléctrica de corazón en estado pre y postprandial en sujetos jóvenes y sanos. **Resultados:** Con el dispositivo que se presenta se han realizado estudios para la obtención, en el caso del corazón, del complejo P-QRS-T y se ha obtenido actividad eléctrica de la región gástrica; los resultados obtenidos en sujetos jóvenes y sanos en estado pre y postprandial, midiendo simultáneamente con dicho dispositivo han sido equivalentes a dispositivos comerciales para el mismo fin. **Discusión:** El dispositivo presentado por ser portátil, de bajo costo y con capacidad de ser inalámbrico, se plantea como posible aplicación en clínica y en hospitales. Las aplicaciones son diversas, como el monitoreo de pacientes diabéticos con neuropatía. La opción de tener en forma simultánea ambas mediciones hace más atractivo el dispositivo para uso extensivo.

Palabras clave: Electrocardiografía, electrogastrografía, dispositivo portátil.

ABSTRACT

Introduction: Similar than what happens in the heart, the stomach has its own pacemaker in which a electrical signal called basal electrical rhythm, is generated at a rate of 3 cpm. **Objective:** To have in a single, low cost, portable and wireless device, the capability of evaluating electrogastrography and electrocardiography either simultaneously or separately. **Materials and methods:** Simultaneous evaluation of electrical activity of the heart and stomach in a pre and post-prandial state protocol. **Results:** With the device presented in this work we have evaluated heart activity obtaining P-QRS-T complex. Also the same apparatus has the capability of evaluating electrical activity of the gastric region in a pre and post-prandial conditions protocol. **Discussion:** We suggest the clinical application of this device in clinics and hospitals for monitoring diabetic patients with neuropathy. The device is portable with the option if wireless data transmission of heart or/and stomach electrical activity.

Key words: Electrocardiography, electrogastrography, portable device.

Acrónimos

ECG = Electrocardiograma.
REB = Ritmo eléctrico basal.
cpm = Ciclos por minuto.
AEG = Actividad eléctrica gástrica.
ECGf = Electrocardiógrafo.
EGGf = Electrogastrógrafo.

Trabajo ganador del 2° lugar Premio Dr. Mariano Ledesma al Investigador Joven. XIII Congreso Nacional, Asociación Nacional de Cardiólogos, Guadalajara, Jal., octubre 2008.

* Instituto de Física, Universidad de Guanajuato.

** Instituto Mexicano del Seguro Social, Hospital UMAE No. 1 Bajío.

*** Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara.

INTRODUCCIÓN

Las contracciones rítmicas del corazón están controladas por una serie ordenada de descargas eléctricas que en sujetos sanos poseen aproximadamente la misma forma, dándole el nombre de complejo P-QRS-T. Al registro en el tiempo del complejo P-QRS-T se le llama electrocardiograma (ECG). Como el corazón, el estómago posee su propio marcapasos generador de un ritmo eléctrico regular y recurrente llamado ritmo eléctrico basal (REB) u onda lenta de 3 ciclos por minuto (cpm), lo cual produce las contracciones peristálticas gástricas. Aquí se identifican tres estados particulares, ayuno, postprandial y neuro-hormonal.^{1,2} Mediante

electrodos fijados en varias regiones del cuerpo se puede obtener un registro de las descargas eléctricas de ambos. Por ejemplo, la electrogastrografía es la técnica para estudiar la actividad eléctrica gástrica (AEG).¹ El electrocardiógrafo es un instrumento que registra la actividad eléctrica del corazón, y el ECG es el registro de dicha actividad. La electrocardiografía se caracteriza por ser una rama de la medicina que se encuentra bien estandarizada y que se lleva a cabo mediante la colocación de electrodos sobre la piel: tres derivaciones bipolares y seis derivaciones unipolares.³

En este trabajo se presenta un dispositivo portátil que mide simultáneamente o por separado, actividad eléctrica de corazón y estómago. Se alimenta con pilas de 9 v para hacerlo portátil. Es un instrumento con dos modos de operación: con canales de salida dirigidos a un convertidor analógico-digital (MOTOROLA MC68HC908GP32CP) acoplado a un

puerto serial (COM) de un ordenador portátil, dirigidos a una tarjeta de adquisición analógica NI-USB 6008 o bien usando una etapa de modulación y demodulación para la transmisión-recepción de ondas de radio, esto con el objeto de registrar inalámbricamente, el ECG por ejemplo, mediante la tarjeta analógica de sonido de un ordenador portátil y mediante una plataforma en Labview 8.2.1.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el estudio, los sujetos se colocan en posición de cúbito-supino. Las mediciones se realizan antes de comer (estado preprandial) y otras, entre 5 a 10 min después de comer (postprandial). El voluntario permanece recostado mientras se colocan los electrodos (*Figura 1*) y cada sesión tiene como máximo, de 2 a 10 minutos de duración.

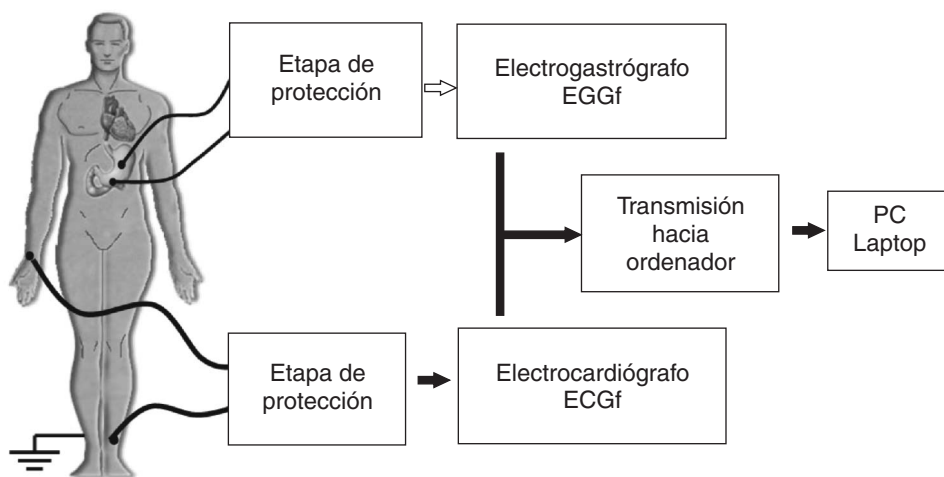


Figura 1. Los electrodos se colocan a nivel del estómago; en brazo derecho y pies (Derivación bipolar II del triángulo de Einthoven).

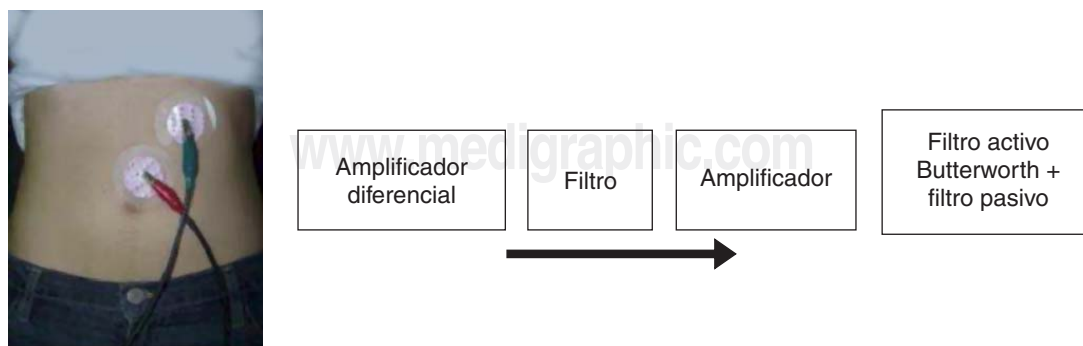


Figura 2. Imagen de un sujeto en donde se observa la colocación de los electrodos sobre la piel y a nivel del estómago. Se presenta también el diseño analógico del EGGf. Etapas consecutivas de izquierda a derecha después de recolectar los biopotenciales eléctricos del estómago, utilizando electrodos de uso común y cable aislado.

En la *figura 1* se muestran dos etapas etiquetadas como electrogastrógrafo (EGGf) y otra como electrocardiógrafo (ECGf); cada una de dichas etapas (de acondicionamiento analógico de la señal) se tienen por separado en las *figuras 2 y 3*, respectivamente. Se ha desarrollado la instrumentación de un ECGf y un EGGf confinados en un dispositivo. Aunque las *figuras 2 y 3* presentan el mismo flujo como etapas analógicas, las bandas de filtraje y la magnitud de las ganancias en los amplificadores varían uno del otro. Respecto al diseño del ECGf (*Figura 2*), la banda de filtraje está entre las frecuencias de 0.11 Hz y 100 Hz; la amplificación total es de 500 veces. En cuanto al diseño del EGGf, la banda de filtraje se fijó entre las frecuencias de 17 mHz y 313.7 mHz; la amplificación total es de 1,735 veces. Note que el EGGf se distingue también del ECGf por sus etapas de amplificación ya que aquél requiere de una mayor configuración de ganancia; esto es debido a que, de manera natural, los potenciales cutáneos debido a las despolarizaciones en el corazón están en el rango de 0.5 - 4mV⁴ y en el caso del estómago son menores o iguales a 0.5 mV.¹

RESULTADOS

Con el dispositivo portátil implementado se han hecho mediciones simultáneas tanto de la actividad eléctrica de corazón como la del estómago y en estado postprandial (*Figura 4*). Si se observa el tiempo de 30 segundos a 90 segundos (60 s) se puede observar que el registro de AEG presenta 3 cpm.

En la *figura 5* se muestra un ECG medido por separado con el dispositivo y en la *figura 6* se muestra también una medición independiente de la AEG.

En los registros de AEG se observó que, generalmente, siempre está presente un artefacto o interfe-

rencia de 1 cpm (señal de frecuencia lenta) y sobre ésta, se encuentra montada la señal gástrica cuya frecuencia oscila entre los 2 y 4 cpm (señal sin ruido de la *figura 6*). La frecuencia gástrica así como el REB en el estómago se reportan tener una frecuencia promedio de 3 cpm.^{1,5,6}

DISCUSIÓN

Einthoven en 1895, utilizando un voltímetro mejorado y una fórmula de corrección desarrollada por Burch, distingue cinco ondas que denomina P, Q, R, S y T⁷ y 7 años después publica el primer electrocardiograma registrado con un galvanómetro de filamento,⁸ sin embargo no fue sino hasta 1910 cuando Walter James de la Universidad de Columbia y Horatio Williams de la Facultad de Medicina de la Universidad de Cornell en Nueva York publican la primera revisión de la electrocardiografía. En esta publicación se describe la hipertrofia ventricular, la hipertrofia auricular, las extrasístoles ventriculares, la fibrilación atrial y la fibrilación ventricular.⁹

Desde entonces, la electrocardiografía es una herramienta no invasiva y accesible, que forma parte indiscutible de la evaluación clínica integral de todo aquel paciente en quien se sospeche de cardiopatía o en el sujeto sano para evaluar la actividad eléctrica del corazón.¹⁰⁻¹² Sin embargo para el registro de la actividad eléctrica del estómago el avance en el conocimiento y su utilidad práctica es reciente.

Se sabe que la motilidad del estómago es un fenómeno complejo. En su segmento proximal las fibras musculares presentan un potencial de membrana estable; fibras nerviosas aferentes y eferentes a través de modificaciones del tono muscular, mantienen una presión endoluminal baja y con discretas variaciones, que regulan el vaciamiento de los líquidos.^{13,14}

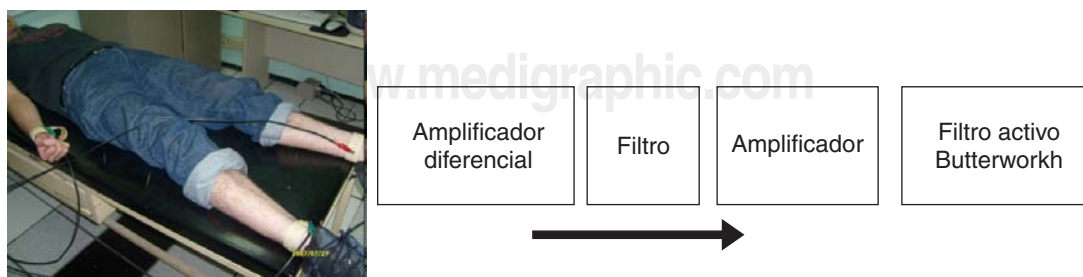


Figura 3. Imagen de un sujeto en donde se observa la colocación de los electrodos en brazo derecho y ambos pies. Se presenta también el diseño analógico del ECGf. Etapas consecutivas de izquierda a derecha después de recolectar los biopotenciales eléctricos de la derivación bipolar (II), utilizando electrodos de uso común y cable aislado.

En su porción distal, las células de Cajal despolarizan las fibras musculares en forma rítmica y regular a una frecuencia de aproximadamente 3 ciclos por minuto, fenómeno conocido como ritmo eléctrico basal y que se genera en la curvatura mayor del estómago.

Los esfuerzos por obtener registros desde la superficie cutánea datan desde 1922,^{15,16} y en los últimos años han establecido las bases para el estudio de la actividad eléctrica del estómago,¹⁷⁻²² y es que al colocar un electrodo desde la superficie de la piel se obtienen señales eléctricas provenientes de todo el antro, sin embargo la señal puede ser procesada mediante la transformada de Fourier para adaptarlo a la electrogastrografía.^{23,24}

Aunque existe controversia sobre la relación entre la actividad eléctrica gástrica y su actividad motora, diversos estudios en la literatura han fundamentado esta asociación²⁵⁻²⁸ e incluso se ha utilizado en la práctica clínica cotidiana, sobre todo en el área pediátrica, en la diabetes mellitus, en el estudio integral de la gastroparesia y en la dispepsia funcional.²⁹⁻³⁴

Gracias a la colaboración entre el Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato y la Unidad Médica de Alta Especialidad, se logró realizar este trabajo que corresponde a la primera experiencia clínica de un dis-

positivo que puede registrar de manera simultánea la actividad eléctrica del corazón y del estómago.

Los registros en sujetos sanos permitieron la estandarización de la técnica, comprobamos su reproducibilidad y bajo costo debido a que tanto el equipo como el programa de cómputo son accesibles, es una técnica no invasiva sin efectos secundarios, que no altera la fisiología eléctrica del corazón y del estómago.

La demostración de su utilidad en la práctica clínica cotidiana, como en la mayoría de los métodos de diagnóstico en medicina, será establecida con el

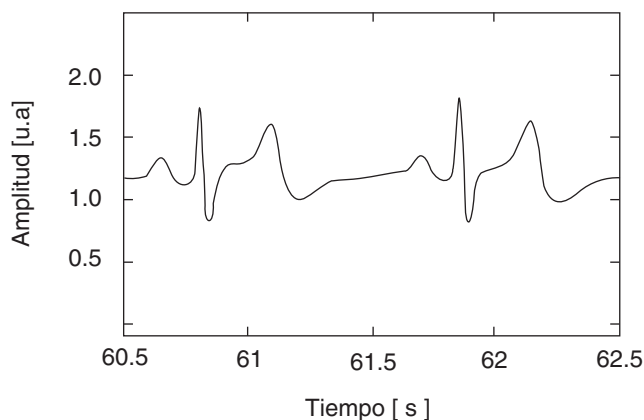


Figura 5. Trazo electrocardiográfico medido por separado

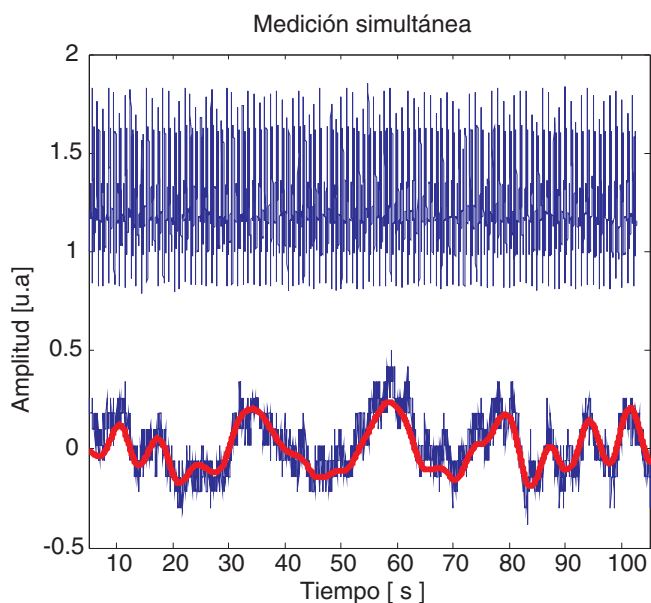


Figura 4. En la parte superior se grafica un ECG y en la inferior se trata de un registro de la actividad eléctrica gástrica (en bruto, como la entrega el dispositivo para luego ser filtrada digitalmente en el software MATLAB).

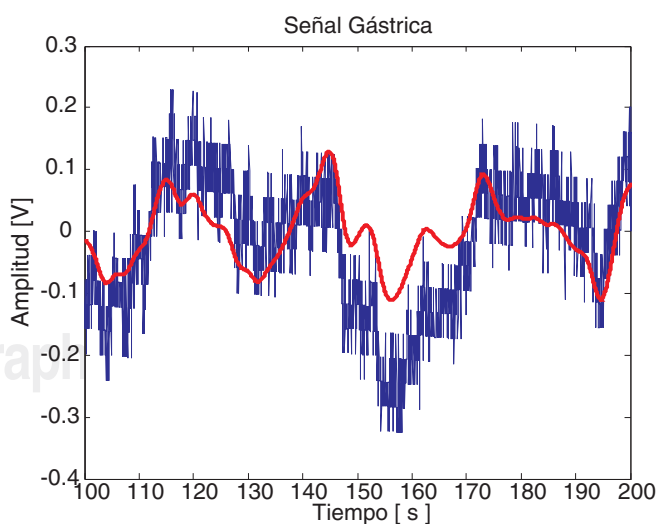


Figura 6. Se muestra la señal en bruto a la salida del dispositivo y en línea continua la señal filtrada (con procesamiento digital de señales en Matlab). Señal gástrica de aproximadamente 3 cpm, correspondiente a un sujeto después de haber ingerido alimentos.

tiempo, sin embargo consideramos que en patologías como la diabetes mellitus donde hay disfunción autónoma que afecta a la actividad eléctrica y gástrica, será una de las primeras patologías en las que el método pueda ser utilizado para el diagnóstico y pronóstico de la enfermedad.

Es importante continuar con esta línea de investigación donde participen de manera conjunta físicos, ingenieros, matemáticos y médicos que generen patentes de dispositivos útiles para el diagnóstico de la enfermedad, de manufactura nacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a DINPO No. de convenio: EF4A010106 y CONCYTEG convenio: 07-38-K662-096 Anexo 02. Por el soporte económico.

Al Ing. Angélica Hernández y Alejandro Maldonado-Moreles.

BIBLIOGRAFÍA

- Real-Martínez Y, Díaz-Rubio M. *Electrogastrografía en sujetos sanos: Reproducibilidad de la técnica*. Universidad Complutense de Madrid, Medicina, Madrid España. 1999: 19-82.
- Guyton AC, Hall JE. *Tratado de Fisiología Médica*. Madrid España. 11 ed. Mc Graw Hill. 2006: 784-785.
- Conover MB. *Electrocardiografía práctica*. Madrid: Mosby/Doyma Libros; 1995: 1-20.
- Módulo de adquisición para prueba de esfuerzo cardiovascular (MAPEC)*. Niño P, Avilés O, Saavedra J, Orejuela M, De La Hoz M, II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, Mayo 2001, La Habana, Cuba.
- Mariani G, Boni G, Barreca M, Bellini M, Fattori B, AlSharif A et al. Radionuclide gastroesophageal motor studies. *The Journal of Nuclear Medicine* 2004; 45: 46.
- Sun WM, Smout A, Malbert C, Edelbroek MA, Jones K, Dent J, Horowitz M. Relationship between surface electrogastronomy and antropyloric pressures. *Am J Physiol* 1995; 268(3 Pt 1): G424-G430.
- Einthoven W. Ueber die Form des menschlichen Electrocardiogramms. *Arch f d Ges Physiol* 1895; 60: 101-123.
- Einthoven W. *Galvanometrische registratie van het menselijk electrocardiogram*. In: Herinneringsbundel Professor S. S. Rosenstein. Leiden: Eduard Ijdo, 1902: 101-110.
- James WB, Williams HB. The electrocardiogram in clinical medicine. *Am J Med Sci* 1910; 140: 408-421, 644-669.
- Kadish A, Buxton A, Kennedy H, Knight BP, Mason JM, Schuger CD, Tracy CM. ACC/AHA Clinical competence statement on electrocardiography and ambulatory electrocardiography. A Report of the ACC/AHA/ACP-ASIM Task force on clinical competence (ACC/AHA committee to develop a clinical competence statement on electrocardiography and ambulatory electrocardiography) Endorsed by the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology. *Circulation* 2001; 104: 3169.
- Kligfield P, Gettes L, Bailey J, Childers R, Deal B, Hancock W, van Herpen G, Kors J, Macfarlane P, Mirvis D et al. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram Part I: The electrocardiogram and its technology a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology. *Circulation* 2007; 115: 1306-1324.
- Ting H, Krumholz H, Bradley E, Cone D, Curtis J, Drew B, Field J, French W, Gibler B, Goff D, Jacobs A et al. Implementation and integration of prehospital ECGs into systems of care for acute coronary syndrome. A Scientific Statement From the American Heart Association Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research, Emergency Cardiovascular Care Committee, Council on Cardiovascular Nursing, and Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 2008; 118: 1066-1079.
- Hinder R, Kelly K. Human gastric pacemaker potential. Site of origin, spread, and response to gastric transection and proximal gastric vagotomy. *Am J Surg* 1977; 133: 29-33.
- Kwong N, Brown B, Whittaker G, Duthie H. Electrical activity of the gastric antrum in man. *Br J Surg* 1970; 57: 913-916.
- Álvarez W. The electrogastronomy and what it shows. *JAMA* 1922; 78: 1116-1119.
- Chen J, McCallum R. *Electrogastrography. Principles and Applications*. New York Raven Press 1994.
- Pfaffenbach B, Adamek R, Kuhn K, Wegener M. Electrogastrography in healthy subjects. Evaluation of normal values, influence of age and gender. *Dig Dis Sci* 1995; 40: 1445-1450.
- Chen J, Co E, Liang J, Pan J, Sutphen J, Torres Pinedo R et al. Patterns of gastric myoelectrical activity in human subjects of different ages. *Am J Physiol* 1997; 272: G1022-1027.
- Levanon D, Zhang M, Chen J. Efficiency and efficacy of the electrogastronomy. *Dig Dis Sci* 1998; 43: 1023-1030.
- Camilleri M, Hasler W, Parkman H, Quigley E, Soffer E. Measurement of gastrointestinal motility in the GI laboratory. *Gastroenterology* 1998; 115: 747-762.
- Verhagen M, Van Schelven L, Samsom M, Smout A. Pitfalls in the analysis of electrogastronomy recording. *Gastroenterology* 1999; 117: 453-460.
- Smout A, Van Der Schee E, Grashuis J. What is measured in electrogastronomy? *Dig Dis Sci* 1980; 23: 179-185.
- Mintchev M, Stickel A, Bowes K. Comparative assessment of power dynamics of gastric electrical activity. *Dig Dis Sci* 1997; 42: 1154-1157.
- You C, Lee K, Chey W, Menguy R. Electrogastrographic study of patients with unexplained nausea, bloating and vomiting. *Gastroenterology* 1980; 79: 311-314.
- You C, Chey W, Lee K, Menguy R, Bortoff A. Gastric and small intestinal myoelectric dysrhythmia associated with chronic intractable nausea and vomiting. *Ann Intern Med* 1981; 95: 449-451.
- Bortolotti M, Sarti P, Barbara L, Brunelli F. Gastric myoelectric activity in patients with chronic idiopathic gastroparesis. *Gastrointest Mot* 1990; 2: 104-108.
- Abell T, Malagelada J. Glucagon-evoked gastric dysrhythmias in humans shown by an improved electrogastronomy technique. *Gastroenterology* 1985; 88: 1932-1940.
- Koch K, Tran T, Stern R, Bingaman S, Sperry N. Gastric myoelectrical activity in premature and term infants. *Gastrointest Mot* 1993; 5: 41-47.
- Riezzo G, Cucchiara S, Chiloiro M, Minella R, Guerra V, Giorgio I. Gastric emptying and myoelectrical activity in children with nonulcer dyspepsia. Effect of cisapride. *Dig Dis Sci* 1995; 40: 1428-1434.

30. Heikinen J, Werlin S, Brown C. Electrogastrography in gastrostomy-tube-fed children. *Dig Dis Sci* 1999; 44: 1293-1297.
31. Cucchiara S, Salvia G, Borrelli O, Ciccimarra E, Az-Zaqeh N, Rapagiolo S et al. Gastric electrical dysrhythmias and delayed gastric emptying in gastroesophageal reflux disease. *Am J Gastroenterol* 1997; 92: 1103-1107.
32. Koch K, Stern R, Steward W. Vasey gastric emptying and gastric myoelectrical activity in patients with diabetic gastroparesis: Effect of long-term domperidone treatment. *Am J Gastroenterol* 1989; 84: 1069-1075.
33. Rothstein R, Alavi A, Reynolds J. Electrogastrography in patients with gastroparesis and effect of long-term cisapride. *Dig Dis Sci* 1993; 38: 1518-1524.
34. Lin Z, Eaker E, Sarosiek I, McCallum R. Gastric myoelectrical activity and gastric emptying in patients with

functional dyspepsia. *Am J Gastroenterol* 1999; 94: 2384-2389.

Dirección para correspondencia:

Dra. Martha Alicia Hernández González.

Unidad de Investigación en Epidemiología Clínica.

Unidad Médica de Alta Especialidad No. 1

Bajío, IMSS.

Blvd. Adolfo López Mateos esq.

Av. Insurgentes sin número.

Col. Los Paraísos. 37320.

León, Gto. México.

Tel. (477) 717 48 00 ext. 31742.

Fax (477) 7 18 30 31.

E-mail: martha.hernandezg@imss.gob.mx ó

martha_hdz@hotmail.com.