

CARDIOGRAFIA POR IMPEDANCIA (CI) MONITOREO HEMODINÁMICO NO INVASIVO

Villavicencio León Daniel S.

Médico Cardiólogo, Cardiología Clínica, Cuenca, Ecuador.

RESUMEN

Un nuevo método de diagnóstico no invasivo, utiliza la Cardiografía por impedancia (CI) para rápidamente obtener una información del estado hemodinámico que permita un mejor control clínico para evaluación, diagnóstico, pronóstico y tratamiento de nuestros pacientes. (1)

El método registra el flujo sanguíneo, la resistencia vascular, la contractilidad cardíaca y el estado de los líquidos corporales, completando 17 parámetros o más dependiendo del tipo de equipo que se utilice.

La CI nos permite evaluar mejor al paciente para controlar el tratamiento de la: Insuficiencia Cardíaca (2-3), Hipertensión Arterial Sistémica (4), Disnea (5), Optimización del uso de marcapasos (6) y otras muchas aplicaciones en las diferentes especialidades Médicas.

Palabras Clave: Cardiografía por Impedancia, Monitoreo Hemodinámico.

ABSTRACT

A new diagnostic non invasive method uses the Impedance Cardiography (ICG) to quickly obtain the hemodynamic stage that allows a better clinical control to evaluate, diagnose, prognose and treat our patients. (1).

This method registers the blood flow, vascular resistance, cardiac contractility and the body fluids giving us 17 parameters or more, depending on the machine type we use.

ICG allows us to evaluate our patient in a better way to control Cardiac Insufficiency (2-3), Arterial Hypertension (4), Dysnea (5), optimization in pacemaker usage (6) and other applications in different Healthcare areas.

Key Words: Impedance Cardiography, Hemodynamic Monitoring.

INTRODUCCIÓN

Todos los días los médicos prescribimos medicamentos que afectan las fuerzas del flujo sanguíneo; o llamado también: la hemodinámica. Hasta ahora, para obtener información de la hemodinámica se requiere de un monitoreo invasivo (cateterismo cardíaco) que se hace hospitalizando al paciente, que no está exento de riesgos, y son costosos. Los clínicos en su consultorio, en el domicilio o en cualquier lugar que exploremos un paciente somos capaces tan sólo de conocer una cuestionada cifra de la presión arterial y la frecuencia cardíaca.

LA TECNOLOGÍA Y LA CARDIOLOGÍA

En las últimas décadas hemos vivido la expansión científico-tecnológica que no ocurrió sino en varios milenios de la historia de la humanidad. En pocos años, en el campo de la medicina y particularmente de la Cardiología donde recordamos el gran alboroto que produjo la introducción del esfigmomanómetro con sus innumerables críticas por parte de los científicos de la época, esto hablando hace más de 200 años, luego del estudio radiológico y del electrocardiográfico por poner unos pocos ejemplos de los innumerables métodos de diagnóstico invasivos y no invasivos que en la actualidad son incontables. Ante esta situación ha tenido que crearse las subespecialidades dentro de la Cardiología. El alcance de la tecnología es tan amplio pero tenemos que estar al corriente de los mismos para que su utilización sea óptima, sobre todo cuando pertenecemos a países cuyos recursos son escasos, y la tecnología nueva suele ser costosa, compleja y al comienzo parece inaccesible, pero por la misma naturaleza de la comercialización y por la necesidad, ahora tenemos acceso a muchos procedimientos novedosos. No se justifica pensar que siendo otros los problemas de la salud pública en nuestro medio debemos descuidar de aprender, conocer y entender los avances que día a día nos ofrece la nueva tecnología, no podemos aislarnos del desarrollo del resto del mundo. Es verdad que actualmente en nuestro país existen centros que están a la altura de los conocimientos de los sitios de excelencia en otros países, pero estos son pocos y están aislados.

Todo médico debe tener al menos una cultura general sobre los procedimientos tecnológicos, precisamente en nuestro medio con nuestras propias características tanto a nivel privado como público e institucional, debemos estar al tanto de los procedimientos tecnoló-

gicos para valorarles y establecer prioridades y una relación costo/beneficio que sea la más favorable para el paciente, la institución o la empresa. No hay duda que resulta perjudicial la **tecnofilia**, el olvido de la clínica y la medicina preventiva, pero es igual o más perjudicial la **tecnofobia**, porque un "yo no conozco", "eso no sirve", "yo ya no estoy para eso" sin siquiera conocer una definición y un concepto de la nueva tecnología, peor aun por su ignorancia hacer campaña en contra de la difusión y el uso de una nueva tecnología sin siquiera intentar saber de qué se trata. Recordemos en los últimos años con el advenimiento de la cirugía laparoscópica, nadie quería hacer una cirugía "a ciegas", que "hacer con las manos es mejor" "viendo con los propios ojos salen mejor las cosas" etc. pero que irónicamente los que más se opusieron en su tiempo a su uso, ahora son los que pregonan ser los pioneros. Sin embargo, y después de todo, la misma naturaleza del avance técnico y comercial, el método se abarata y después es accesible, he ahí una razón práctica de porque debemos estar siempre informados, de conocer cosas nuevas y por sobre todo, no envejecer nuestros conocimientos creyendo en el "yo ya se todo". Pero es casi imposible detenernos ante la avalancha de información que se recibe de los laboratorios de todo el mundo, ya sea a través de revistas, publicaciones, Internet etc. en general en el área científica y en particular de la medicina, no alcanzaría el tiempo para revisarlo ni aun someramente o una parte sustancial debido al gran caudal, sin embargo existen resúmenes excelentes que permiten entender a nuestra limitada capacidad de revisar toda la información existente, también a través de las sesiones científicas que a distinto nivel se reúne a un grupo de expertos y a veces a los propios responsables del conocimiento para que puedan exponer sus conocimientos y experiencias en determinado aspecto de la medicina.. No debemos entonces marginarnos, pues es cierto que vivimos una realidad, tecnológica que ha incidido negativamente en la economía del paciente, pero ha mejorado por otro lado el diagnóstico y la terapéutica de las enfermedades, Ciertamente es que utilizando cierta tecnología favorece el diagnóstico y el entendimiento de la terapéutica, pero todas estas deben estar valoradas por el criterio clínico. De ahí que viene al recuerdo del maestro Ignacio Chávez Sánchez que repetía con frecuencia:

"Si han de ser médicos, que no pierdan nunca su carácter esencial de clínicos. Clínica fue la medicina al nacer y clínica será siempre, por profunda que sea su transformación científica. De otro modo, no sería medicina".

LA EVOLUCION HISTÓRICA DE LA CARDIOGRAFÍA POR IMPEDANCIA

La Cardiografía por impedancia (Resistencia), es una tecnología que convierte los cambios de la impedancia torácica a cambios de volumen a través del tiempo, por esta razón, ésta es utilizada para rastrear o seguir la pista de los cambios volumétricos como aquellos que ocurren durante el ciclo cardíaco. Estas mediciones que son obtenidas no invasivamente y de forma continua se han vuelto cada vez más sofisticadas y más exactas con el desarrollo de datos y signos en el proceso que han mejorado los algoritmos matemáticos. Esta tecnología primero utilizada en 1960 se ha beneficiado con el advenimiento del microprocesador y el mejor entendimiento del ciclo cardíaco gracias a la tecnología como la fonomecanocardiografía, la ecocardiografía, la imagen de resonancia magnética, etc. En la actualidad métodos no invasivos para medir el gasto cardíaco se está volviendo una rutina en la clínica y cuyos resultados son tan confiables y comparables a los obtenidos a través de métodos invasivos como la termodilución y los métodos directo o indirecto de Fick.

Hablar de la electricidad, enseguida nos llega a la mente el nombre de Benjamín Franklin, pues éste realizó el conocido experimento de la cometa en junio de 1752. Él es el responsable de muchos de los términos utilizados hasta la actualidad en relación con la electricidad, como carga, descarga, y conducción. A finales del siglo XVIII, varios años después del experimento de Franklin, aparece el concepto de electrofisiología (electricidad animal), primero desarrollado por Luigi Galvani, quien encontró que al aplicar una corriente eléctrica en el nervio de una pata de rana muerta, el músculo se contraía.

Fig 1

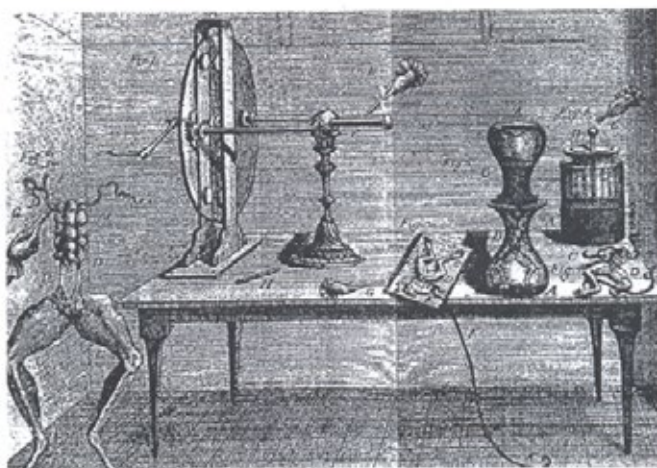


Figure 1. The experimental setup devised by Galvani¹ (1737–1798). This was the birth of modern day electrophysiology.

Más tarde fig. 2, George Adams, avanzó con la aplicación de los principios de la electrofisiología en la medicina. En 1792 publica su libro "probando la electricidad" explicando la teoría y la práctica de cómo utilizar esta ciencia, el modo de aplicar y los propósitos médicos. Ya algunos médicos en esta época intentan usar la electricidad de la batería galvaniza para curar a los pacientes.

Fig 2

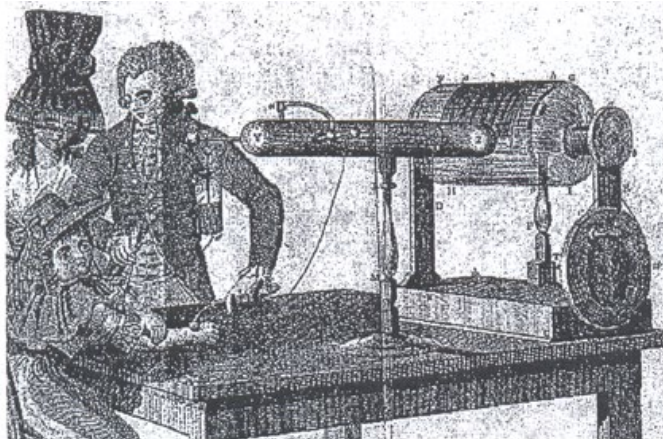


Figure 2. George Adams attempting to use "medical electricity" in his laboratory.³

Varios experimentos fueron realizados en algunos criminales, quienes recientemente habían sido muertos, estos eran galvanizados con la intención de reanimarlos. Pero no fue sino hasta el siglo 20 en que la medicina eléctrica iba a ser aplicada con propósitos útiles.

En una presentación realizada por H.P. Schwan (7) en la **conferencia internacional de bioimpedancia eléctrica**, el trató sobre unos pocos eventos que él lo consideró como la piedra milenaria en el desarrollo de la tecnología. El mencionó a Hermann Mullers quien, en 1870 en Alemania y Suiza, empezó a clasificar las propiedades eléctricas de los tejidos incluyendo la observación de la direccionalidad en el movimiento de las cargas a través de los tejidos biológicos como los músculos. Mullers notó cambios de la impedancia al flujo de corriente eléctrica de los tejidos después de la estimulación y también documentó dichos cambios después de una isquemia. Varios desarrollos más ocurrieron antes de la segunda guerra mundial. A comienzos del siglo XX, Rudolph Hoebbers estudió la conductibilidad de la sangre y encontró que es dependiente de la frecuencia de la corriente utilizada para medir la conductibilidad. Posteriormente, la ciencia de la biofísica de la membrana empezó a ser desarrollada en 1930. Las propiedades eléctricas de las proteínas y en menos escala de los aminoácidos fueron descubiertas y analizadas por

Oncley, Fricke y col. Después de la segunda guerra mundial se desarrolla la ciencia de la biofísica y electrofisiología. Cole y Fricke, quienes estudiaron la conducción de las células, los dos construyeron equipos de monitoreo de impedancia que iniciaron el camino para el desarrollo de esta tecnología.

BIOIMPEDANCIA DE LOS TEJIDOS

La bioimpedancia puede ser dividida en dos grandes campos. La bioimpedancia de una simple célula y la bioimpedancia de los tejidos. La bioimpedancia de una célula simple, se obtiene aplicando un voltaje a un parche plegado instrumentalmente al receptor de membrana de una célula identificada y aislada. (Podríamos decir que es el equivalente al potencial de reposo o de acción transmembrana de la electrocardiografía). La bioimpedancia del tejido, es como la bioimpedancia eléctrica torácica, que permite la medición de los cambios volumétricos que ocurren a través del ciclo cardíaco.

El estudio de la bioimpedancia de los tejidos ha producido numerosas aplicaciones y tecnologías diagnósticas incluyendo la impedancia tomografía, impedancia espectroscopia, impedancia mamografía, medición de la impedancia cerebral, medición de la impedancia pulmonar, medición de la impedancia cardíaca, estudio de los estados de los órganos (como la isquemia) reconocimiento de tumores, impedanciapletismografía para determinar el volumen de los fluidos corporales (ampliamente utilizado en el espacio aéreo), aplicación en diálisis, estimación del volumen graso en el cuerpo, el estudio de los efectos fisiológicos de las grandes alturas, impedancia de la piel (utilizado para detectar reacciones alérgicas y monitoreo de liberación percutánea de drogas). Aplicaciones en cáncer de próstata y mama, detección de hipertensión, aplicaciones en agricultura como la valoración de la calidad de las frutas, y fortaleza de los árboles frente a las congeladas.

La Cardiografía por impedancia torácica, fue una de las primeras técnicas en ser desarrolladas en el campo de la bioimpedancia. Su utilidad ha sido investigada en muchos estudios dirigidos a la clínica y esto ha sido el principal enfoque de esta revisión histórica.

Desarrollo de la tecnología utilizada para correlacionar las señales de impedancia y los cambios de volumen

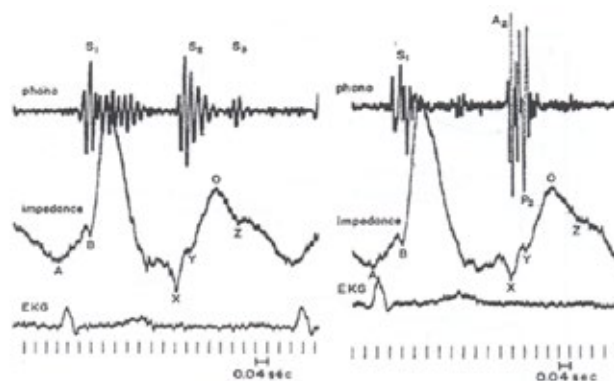
En 1940, el Journal of Clinical Investigations, publica un artículo escrito por Nyboer y col. (8) que lanzó

la investigación de la CI como una alternativa a los métodos invasivos para medir la función cardíaca. En otro artículo publicado por Nyboer en 1950 (9) llamado impedancia pletismografía, llamado así porque utilizó para detectar cambios en el volumen de las extremidades. Los cambios de impedancia fueron relacionados con los cambios de volumen utilizando la ley de adición de resistencias en paralelo en un conductor cilíndrico.

La primera derivada de las ondas

Aunque las ondas Z , fueron las ondas inicialmente estudiadas por Nyboer y col.(8,9) se encontró que la primera derivada de las ondas (dz/dt) fueron también utilizadas en la computación. Labadibi y col.(10) observaron que la impedancia después de haber pasado a través de un circuito diferenciador el cual permitía ver las ondas dz/dt , estas señales se vio que eran menos afectadas por la respiración que la Z . Esto fue una gran ventaja porque no limitaba el adquirir la señal por cortos periodos de apnea sino podía verdaderamente adquirir señales de manera continua. Lobadibi y col. reconocieron varios puntos identificables en la curva dz/dt que coincidía con los sonidos cardiacos, y que fueron registrados simultáneamente (fig 3). Especialmente importante fue el tiempo de apertura (punto b) y el cierre (punto x) de la válvula aórtica lo que se define como TEVI (tiempo de expulsión del ventrículo izquierdo), estos puntos fueron reconocidos tanto en sujetos saludables como en personas con cardiopatía. Este reconocimiento de las características de las ondas fue el paso para el futuro desarrollo de la tecnología para su uso y aplicación en la clínica. Estos puntos deberían más tarde ser utilizados para obtener el periodo pre expulsivo y el cociente de tiempo sistólico el cual puede servir para establecer el diagnóstico de una enfermedad cardíaca.

Fig 3



La relación de la primera derivada de la Impedancia (dz/dt) con los trazos del electrocardiograma y los latidos del corazón, se registran normalmente. El grafico de la izquierda tomados en el área apical del corazón. El grafico de la derecha muestra las medidas del área pulmonar del corazón. Tomado de Lababidi et al¹⁰.

LOS PARAMETROS HEMODINAMICOS DERIVADOS DE LA CARDIOGRAFIA POR IMPEDANCIA

Volumen Sistólico (VS) -cantidad de sangre que el ventrículo izquierdo expulsa en un latido, medido en mililitros por minuto (ml/min). VS puede ser indexado al área de superficie corporal del paciente (ASC) y permite calcular el índice de volumen sistólico) IVS.

Gasto Cardíaco (GC) -La cantidad de sangre que el ventrículo izquierdo expulsa a la circulación sistémica en un minuto, medida en litros por minuto (l/min). Para obtener el **GC**, multiplique el **VS** por la frecuencia cardíaca. El **GC** se entiende mejor cuando es indexado al tamaño del cuerpo del paciente dividiendo el **GC** para el área de superficie corporal (**ASC**) y permite calcular el índice cardíaco (**IC**).

Resistencia Vascular Sistémica (RVS)- representa la fuerza que el ventrículo izquierdo debe realizar para enviar bombeando el **VS** hacia la periferia. **RVS** es directamente proporcional a la presión arterial. PA. E inversamente proporcional al flujo sanguíneo (**GC**). **RVS** también es **indexado** al tamaño del cuerpo del paciente para calcular el **IRVS**. **RVS** = $[(PAM-PVC)/GC] \times 80$.

Índice de velocidad e índice de aceleración (IV) e (IA)- Son parámetros específicos para el monitor de cardiografía por impedancia. El **IV** es la cantidad máxima de cambio de impedancia, y representa la velocidad de sangre aórtica. Índice de aceleración IA es la cantidad máxima de cambio de velocidad de sangre y representa la aceleración de sangre aórtica.

Contenido de Fluido Torácico (CFT)- es también un parámetro específico de la cardiografía por impedancia, representa el volumen total de fluido en el pecho, comprende tanto el fluido intravascular y el extravascular. El **CFT** es calculado como la medida inversa de la impedancia de base. La impedancia de la línea de base es directamente proporcional a la cantidad de material conducido en el pecho (sangre o agua).

Periodo Pre Expulsivo (PPE)- es la medición del

intervalo entre el comienzo de la despolarización ventricular (onda q de EKG) y el inicio de la contracción mecánica indicada por el punto "b" de la CI (la primera muesca hacia arriba en las ondas de CI).

Tiempo de Expulsión Ventricular Izquierda (TEVI)- el tiempo desde la apertura de la válvula aórtica (punto "b" de la CI) hasta el cierre de la válvula aórtica (punto "x" de la CI).

Cociente de Tiempo Sistólico- Es inversamente proporcional a la función ventricular izquierda, calculado como el PPE dividido para el **TEVI**.

Trabajo Cardíaco Izquierdo (TCI)- el TCI paralelo al consumo de oxígeno del miocardio y es el producto de la Presión Arterial. y el flujo sanguíneo. El índice de trabajo cardíaco izquierdo ITCI es indexado por el ASC. TCI es determinado por la siguiente ecuación: $TCI = (PAM - PCAP) \times VS \times 0.0144$.

Frecuencia Cardíaca (FC)- el número de latidos por minuto, medidos por el espacio R-R del EKG.

Presión Arterial Media (PAM)- determinada por la siguiente ecuación:

$$PAM = (PAS + 2 \times PAD) / 3$$

$$PA = (130/70) \quad PAM = (130 + 2 \times 70) / 3$$

$$PAM = (130 + 140) / 3$$

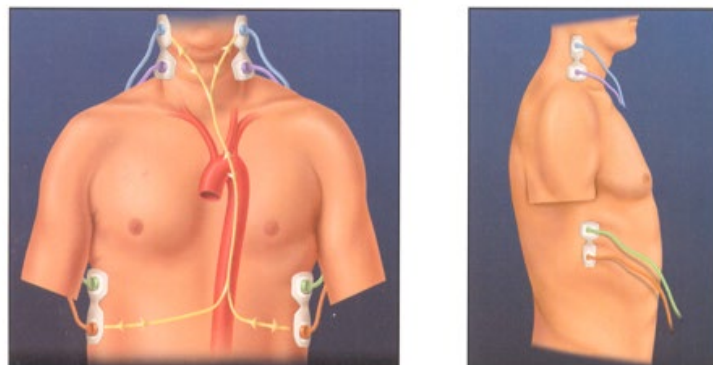
$$PAM = 270 / 3$$

$$PAM = 90$$

Técnica

Como la sangre entra y sale de la aorta, los cambios de la impedancia (Resistencia) son utilizados para obtener los parámetros hemodinámicos. El estudio se realiza colocando dos pares de sensores duales en la parte lateral del cuello y del tórax fig 4.

Fig 4



Aplicaciones clínicas de la Cardiografía por Impedancia (CI)

La Cardiografía por Impedancia (CI) identifica a los pacientes con una sensibilidad 6 veces mayor sobre el riesgo de una muerte, o la necesidad de hospitalización por insuficiencia cardiaca (IC), comparado con la evaluación clínica sola como lo demuestra el estudio PREDICT.

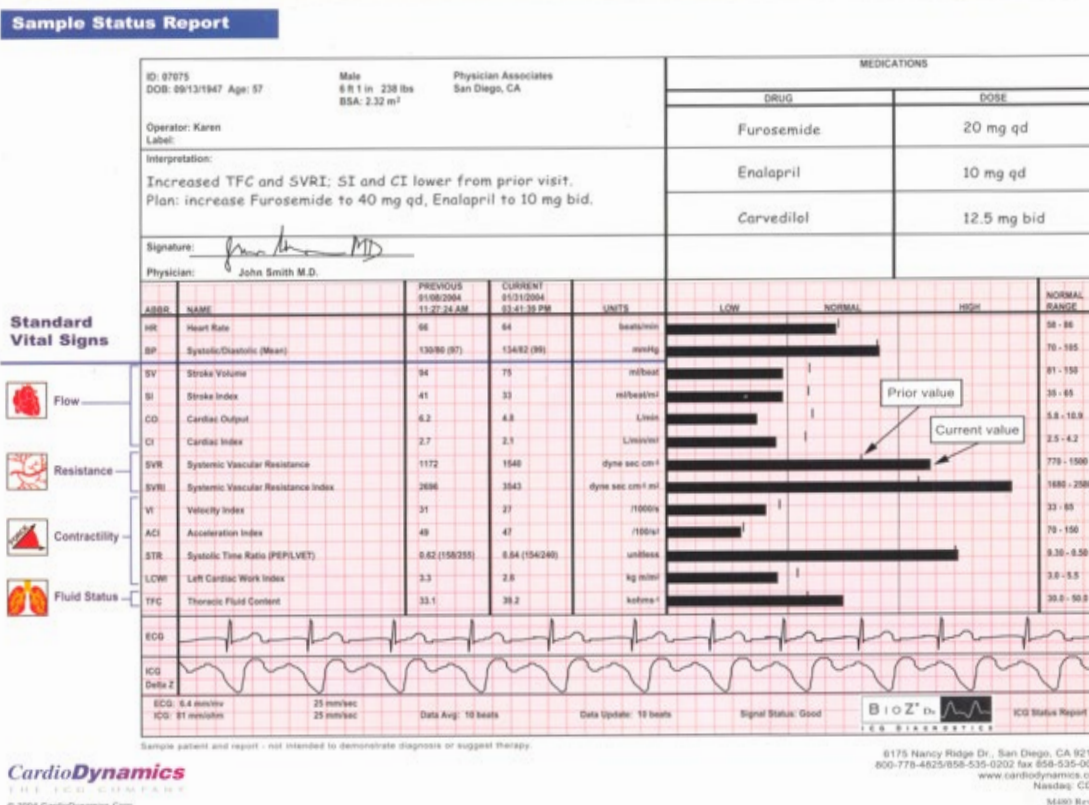
La CI permite el cambio de la terapia en un 39% de los casos que llegan al departamento de emergencia con disnea como lo demuestra el estudio ED IMPACT. La CI mejora en un 70% los resultados del control de la presión arterial sistémica en los pacientes hipertensos como lo demuestran los estudios HAS Resistente y CONTROL.

La CI permite la optimización de los marcapasos, en los pacientes con IC tratados con terapia de resincronización cardíaca

EXACTITUD Y CONFIANZA

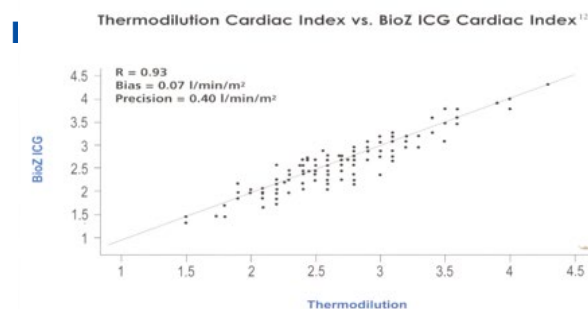
La estimación física de la hemodinámica no es considerada un método confiable. Los resultados ob-

te los cambios



debidos a la terapia, al cumplimiento de la medicación o al estado de la enfermedad. Fig. 6

tenidos por la CI han sido probados clínicamente, comparado con los obtenidos por métodos invasivos en la determinación del gasto cardíaco. Sageman y Riffenburg (7). Dicen: "La CI ha mostrado ser exacta y comparable al obtenido a través del cateterismo de la arteria pulmonar" fig. 5.



Índice Cardíaco obtenido por Termodilusión comparado con el Índice Cardíaco obtenido con Cardiografía por Impedancia

REPORTE DE ESTUDIOS

El análisis del reporte permite al médico comparar automáticamente un reporte de un examen de CI previo con el actual, y el formato permite identificar fácilmente

Fig. 6

Formato de un estudio de cardiografía por impedancia realizado en dos fechas diferentes, donde se pueden identificar los cambios

Bibliografía

1. Van De Warter JM. Miller TW. Impedance cardiography: The next vital sign technology? *Chest*. 2003; 123(6):2028-2033.
2. Abraham W, Packer M, et al. Prospective evaluation of decompensation by impedance cardiography test: The PREDICT multicenter trial. *Circulation*, 2004;110(suppl III):597.
3. Wright RF et al. Clinical decision making in patients with congestive heart failure: the role of thoracic electrical bio impedance. *Congest Heart Fail*. 2000; 6(2):27-31.
4. TALER Resistant hypertension: Comparing hemodynamic management to specialist care. *Hypertension*. 2002; 39:982-988
5. Peacock F, Summers R, Vogel J, Emmerman C. Impedance cardiography changes therapy in dispneic patients: Results from the ED-IMPACT trial. *J Card Fail*. 2004;10(suppl4):119
6. Tse H, Yu C, Park E, Lau C. Impedance cardiography for atrioventricular interval optimization during permanent left ventricular pacing. *Pacing Clin. Electrophysiolol*. 2003;26(Pt.II):189-191
7. Schwan HP. The BioimpedanceField. Some Historical observations. Conference on electrical Bio impedance 1995.
8. Nyboer J. Bagno S, Barnett A, Halsey RH Radiocardiograms: Electrical Impedance changes of the heart in relation to electrocardiograms and heart sounds. *J Clin Invest* 1940;19:963
9. Nyboer J. Electrical Impedance plethysmography:A physical and physiologic approach to pheripheral vascular study. *Circulation* 1950;2:811,221