

Los equipos electrónicos en cardiología

Ingeniero JOSE MARIA GARAVILLA *

En 1791 Luis Galvani descubrió que al tocar el músculo de un sapo con un instrumento metálico, colocado cerca de un generador, este músculo se contraía. Al principio del siglo XIX muchos científicos se interesaban por la biofísica de la contracción muscular y en 1850 Helmholtz, médico alemán, fue el primero en estudiar en seres humanos el tiempo de transmisión de la señal eléctrica del nervio a los músculos. Fue también en el siglo XIX cuando Johannes Muller descubrió y comentó que el corazón de un sapo producía una corriente eléctrica al contraerse. En 1875 R. Caton demostró que la superficie del cerebro presentaba una actividad eléctrica. August D. Waller en 1887 publicó un artículo describiendo los cambios eléctricos que acompañaban cada latido cardíaco. Esta fue la primera vez que se informó al público en general la obtención de un electrocardiograma.

Con la invención del galvanómetro a resorte por J. Schweigger, al comienzo del siglo XX, se dio un gran paso en la carrera de la instrumentación biomédica. En 1903, Willen Einthoven aplicó y perfeccionó el galvanómetro de Schweigger para estudiar la actividad cardíaca. Para poder obtener sus trazados electrocardiográficos, obtenidos mediante electrodos de inmersión, Einthoven debió introducir al paciente en una caja de Faraday, a fin de evitar interferencias de campos eléctricos extraños. A pesar de que los detractores de Einthoven tenían buenas razones para decir que esta máquina era poco práctica, este instrumento fue el primero que tuvo significación médica. Einthoven ganó el Premio Nobel por su contribución. En 1937 Erlanger y Gasser introdujeron el osciloscopio como instrumento médico para la investigación de

fenómenos electrofisiológicos. En 1925 R. Wagner descubrió el principio de realimentación en las células ganglionares del asta anterior de la médula en la regulación de los movimientos voluntarios. La definición que dio Wagner de la realimentación fue: "Todas estas propiedades están creadas de tal modo que una pequeña, en general muy pequeña, porción del flujo de energía que pasa por el sistema es derivada y utilizada nuevamente para la regulación de este flujo de energía". Esta definición es igualmente válida si se hubiera utilizado para la descripción del funcionamiento de un circuito electrónico.

De esta manera se inicia el fructífero contacto entre la técnica y la ciencia médica, y los técnicos y biólogos se dan cuenta de que hablan de las mismas cosas, a pesar de estar en campos diferentes. Se vio claramente que los conceptos de "realimentación" —o retroalimentación, según el lenguaje médico— "información", "comunicación", "diagramas en block", etc., formaban un lenguaje común, mediante el cual los problemas de un campo eran fácilmente interpretados en el otro. No debemos olvidar que, desde Descartes y La Mettrie hasta Leduc, hubo pensadores que tomaron similitudes de sistemas puramente técnicos para explicar el funcionamiento de organismos vivos.

Durante la Segunda Guerra Mundial, un gran número de investigadores médicos comenzaron a utilizar equipos electrónicos para estudiar la génesis de los potenciales bioeléctricos, el ECG, el EEG, el EMG y otros. Después de la guerra, los laboratorios médicos y fisiológicos comenzaron a adquirir y usar estos equipos. Los sobrantes de guerra eran baratos y se conseguían excelentes componentes como amplificadores, registradores, etc.

Por otra parte las necesidades pro-

* Miembro de la Carrera del Técnico de Investigación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

pias de la guerra habían hecho desarrollar la electrónica en una forma extraordinaria.

Al finalizar la década del 40 y aún el principio del 50 era poco común encontrar un médico, cirujano o fisiólogo, que pudiera diseñar o desarrollar algún instrumento para su uso específico. En los últimos 20 años, sin embargo, la electrónica en medicina y en biología ha llegado a ser tan importante, que no sólo los médicos y los investigadores diseñan sus propios equipos, sino que son una inapreciable ayuda para el desarrollo de nuevas técnicas de medida o de control de parámetros fisiológicos.

Desde la utilización del electrocardiógrafo como instrumento médico, hasta el presente, la bioelectrónica ha incorporado gran cantidad de equipos que fueron perfeccionando la medición de parámetros vitales. Todo ello ha redundado en un control ágil de los pacientes.

Este proceso de control, que ha recibido el nombre de "monitoreo", ha sido aceptado universalmente. El sistema más adecuado de monitoreo básico para pacientes de alto riesgo es la atención permanente de un adiestrado cuerpo de enfermería y de la evaluación clínica rigurosa.

En 1950 se introdujo el sistema de monitoreo electrónico, que fundamentalmente estaba basado en el electrocardioscopio y marcapasos. Hasta 1960, a pesar de estas innovaciones técnicas, la cifra de mortalidad no había disminuido notablemente. Sin embargo a partir de este año y en el transcurso de los dos años siguientes, esta cifra de mortalidad sufrió una sensible disminución a consecuencia de la creación de la primera unidad de cuidado intensivo coronario. Este suceso coincidió con la aparición de equipos de monitoreo respiratorio, pediátrico y de otros tipos.

La primera ventaja evidente de este tipo de control era la posibilidad (antes impensable) de que una sola enfermera, bien adiestrada, pudiera recabar información continua, detallada y en forma simultánea de parámetros vitales de varios pacientes desde una estación central. La segunda ventaja consistió en la utilización de sensores, detectores y alarmas, que hicieron innecesaria una observación continua por parte de la enferme-

ra en aquellos casos en que podría sobrevenir un paro cardíaco o respiratorio. La situación creada en el sistema paciente-equipos-enfermera fue objeto de críticas basadas en las supuestas desventajas del aislamiento del paciente. A pesar de estas críticas, a veces muy agrias, las ventajas visibles del uso de estos equipos terminaron por imponerse por sí solas. Es así que los equipos de monitoreo, de los que se dispone actualmente, comprenden desde el instrumental básico, compuesto por un cardioscopio y un electrocardiógrafo, hasta la más sofisticada estación central, incluyendo almacenamiento de los valores que alcanzan los parámetros vitales minuto a minuto y su presentación, cuando así se lo desea.

USO DE COMPUTADORAS

El Dr. John J. Collins, jefe de cirugía de tórax y cardiovascular del Peter Bant Brigham Hospital, en Boston, aprovechó las posibilidades que brinda la computadora para el cuidado de los pacientes que cursaban el post-operatorio de intervenciones cardíacas. Este investigador comentaba: "Nosotros, después de tres años, estábamos convencidos que sabíamos lo suficiente con respecto a las reacciones producidas por drogas, transfusiones, etc., como para predecir las respuestas de los pacientes. Pero éstas son tan cambiantes que alguien debe estar observándolas en forma continua, por ejemplo: si el pulso de un paciente es de 40 lpm. y se quiere llevar a 70 lpm. una determinada medicación es administrada en forma continua por vía endovenosa, cuanto mayor medicación se administra, más rápido será el pulso. Desafortunadamente otros factores biológicos afectarán la respuesta del paciente. La acción de otras drogas y el aumento del metabolismo, después de la intervención, cambiarán las dosis requeridas y esto obliga —además del monitoreo continuo— el ajuste, también continuo, de las dosis de la droga. Dado que las enfermeras deben controlar muchos otros procesos, no pueden aumentar o disminuir el goteo en el momento exacto que es necesario, por lo tanto estos ajustes pueden realizarse, aún con la mejor buena voluntad, en momentos en que el proceso de control ya esté de-

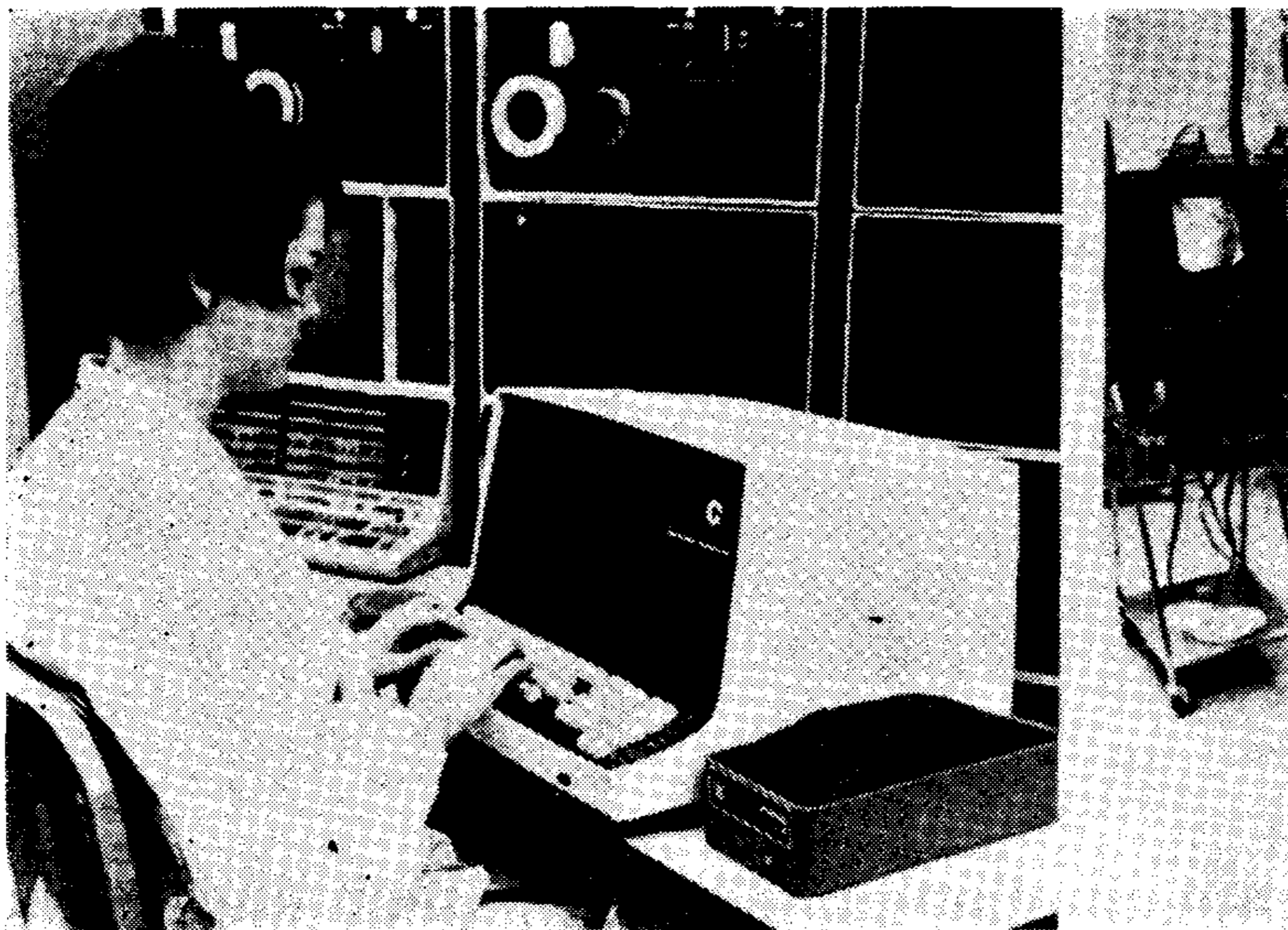


Fig. 1. — Central de computación procesando los datos biofísicos que se reciben de una sala de cateterización vecina.

morado. Esto daría como resultado una brusca variación en el pulso del paciente, perfectamente evitable. Es aquí donde Collins introduce la idea de permitir a una computadora el manejo en la administración de la droga. El fundamento del sistema consiste en el control de la temperatura del cuerpo, el número de lpm. y la cantidad de sangre transfundi-

da y el registro de la presión en las cuatro cámaras del corazón. Toda esta información controla la actividad de la bomba infusora. A pesar de que el sistema es factible y que ya está siendo completado, Collins se pregunta si realmente se justifica su uso: el número de pacientes que necesita un control de este tipo es muy reducido y por lo tanto su costo es

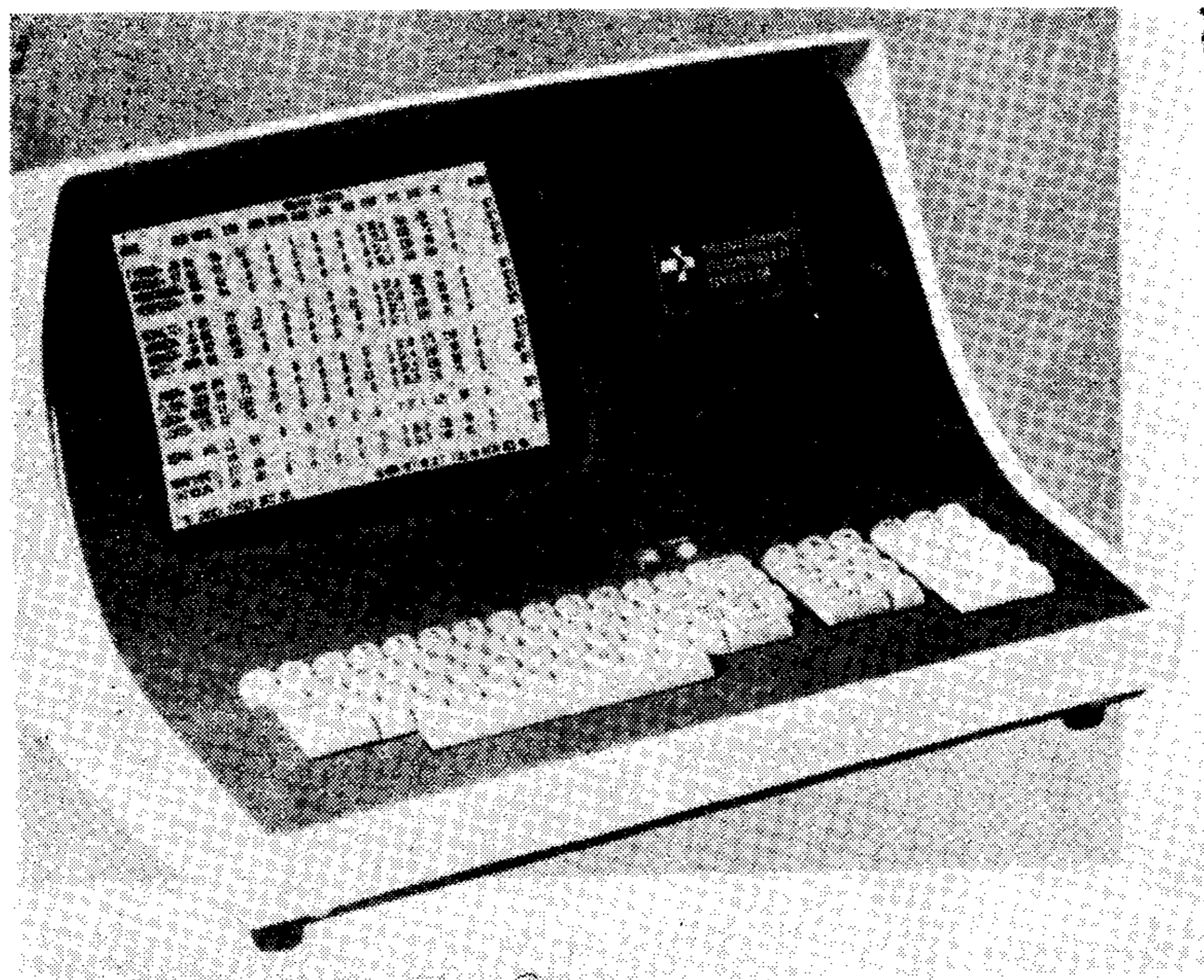


Fig. 2. — Unidad de presentación de parámetros vitales de un sistema de computación para monitoreo.

elevado. Sin embargo creemos que debe aprovecharse la posibilidad de acceso a una computadora digital, ya que el almacenamiento de datos referidos a parámetros vitales y su presentación cuando es necesario constituye una ayuda muy valiosa. De cualquier manera el alto costo inicial y posterior mantenimiento limita su uso en nuestro país (figs. 1, 2 y 3).

ALGUNOS PROBLEMAS DE DISEÑO INDUSTRIAL

En los últimos años, los progresos de la electrónica aplicada a la medicina han sido apoyados por los adelantos obtenidos durante la investigación de nuevos materiales y técnicas que se utilizan en la conquista del espacio. De esta manera, se ha conseguido fabricar equipos más confiables y seguros para diagnóstico y tratamiento médico. Sin embargo, de una encuesta realizada en nuestro medio, entre profesionales que utilizan equipos electrónicos en su tarea cotidiana V.G. cirujanos, terapeutas y cardiólogos y los fabricantes de aparatos, pudimos obtener las siguientes observaciones con respecto a los problemas que presentan los equipos que se utilizan.

Los ingenieros electrónicos piensan, por lo general, que un hospital o sanatorio es un lugar tranquilo, donde se atiende a los enfermos en una atmósfera agradable. Es muy difícil llegar a convencerlos de que por el contrario, el ambiente hospitalario es uno de los peores lugares para hacer funcionar equipos electrónicos. En general estos últimos, y en especial los equipos de monitoreo, se utilizan en pacientes gravemente enfermos. Esto significa que los pacientes controlados por tales equipos pueden tener complicaciones graves como paros respiratorios o cardíacos, y es redundante decir que, en estos casos, la llave del éxito es muchas veces la velocidad con que se actúa. Llegada la emergencia los médicos y enfermeras comienzan literalmente a correr de un lado a otro, pudiendo tropezar con los dispositivos electrónicos dispuestos cerca del paciente o golpearlos con el carro de emergencia, que se desplaza hacia la cama en alarma. Por supuesto, aquel equipo que no esté diseñado y construido, para soportar este trato natural en tales emergencias, duraría muy poco.

Otro factor que atenta contra la vida útil de los equipos electrónicos es la cantidad de fluidos que se manejan en los ambientes sanitarios; estos líquidos pueden penetrar en los equipos y dañarlos seriamente. Botellas de plasma, sangre, soluciones de glucosa y salinas, drogas, etc., llenan todos los lugares donde se tenga una superficie libre para apoyar. Es frecuente ver a médicos y enfermeras buscando una superficie plana y vacía para apoyar el frasco de suero, sangre, etc. Algunos fabricantes pensaron en curvar las tapas superiores de los instrumentos para evitar así convertirlas en depósitos temporarios, pero esta solución fue poco práctica desde el punto de vista industrial.

Otro problema de diseño que se presenta es que muchos fabricantes realizan verdaderos esfuerzos por llenar el frente de sus equipos con un verdadero muestrario de perillas. Esto naturalmente llena de confusión al personal que en medio de una fibrilación ventricular no atina a encontrar el disparador correspondiente. Los equipos para usos de emergencia, como carros de resucitación de amplia utilización en nuestro medio, deben ser de muy fácil manejo y las funciones de sus componentes claramente señaladas. Sabemos que un grupo médico de cirugía, terapia o de unidad coronaria, está siempre ocupado y que es utópico pensar que en su escaso tiempo libre se dedique a escuchar de algún fabricante la explicación del funcionamiento de sus aparatos. Por todo esto pensamos que los equipos que se utilizan deben requerir un entrenamiento corto para comprender su correcto funcionamiento y utilización.

NORMATIZACION

No podemos negar que el "boom" de la instrumentación ha tocado a nuestro país. Todavía no se ha llegado comparativamente a los límites que ha alcanzado los Estados Unidos, donde el año pasado las ventas de equipos electrónicos para cardiología sobrepasó los 60 millones de dólares. En nuestro país la visión de este promisorio mercado llevó a industriales argentinos a emprender la fabricación de estos equipos y en la actualidad éstos cubren el 90 % de las

DEMAND SUMMARY REPORT BED 1 FISHER, JOHN
 FOR PERIOD ENDING 2/10/72 15:04 HOURS

TIME	H.R.	EAR	ABN	BOTH	RUNS	LATE	NOISY
9:20	68	0	0	0	0	0	0
9:40	68	0	0	0	0	0	0
10:00	69	0	0	0	0	0	0
10:20	68	0	0	0	0	0	0
10:40	72	2	2	2	0	0	0
11:00	72	0	0	0	0	0	0
11:20	72	0	0	0	0	0	0
11:40	72	0	0	0	0	0	0
12:00	83	11	0	0	0	9	3
12:20	83	0	0	0	0	0	0
12:40	83	0	0	0	0	0	0
13:00	85	8	0	0	0	1	0
13:20	89	0	0	0	0	0	0
13:40	91	0	0	0	0	0	0
14:00	91	10	1	1	0	0	0
14:20	91	0	0	0	0	0	1
14:40	96	0	0	0	0	0	0
15:00	96	12	6	6	0	0	0

TIME	SYS	DIA	VP	TEMP
9:26	175	115		38.9
11:23	165	105		38.6
13:31	160	100		38.6

NOTES

2/10 9:10 ADMITTED TO ICU
 2/10 9:10 DYSPNEA
 O2 @ 5L/MIN CHEST TUBE L SIDE
 500CC BLOOD IV
 DR. KENNEDY VS. #18 FOLEY INSERT
 ALERT, SKIN WARM, DRY.
 2/10 11:24 PANTAPON GR 1/6 H FOR PAIN
 2/10 11:59 HGB 9.4GM AFTER BLD. INFUSE
 2/10 13:19 R/L INFUSED L ARM & D/C
 2/10 14:42 PANTAPON GR 1/6 H FOR PAIN
 C/B EMPTIED 650CC BL DR

ENZYME PROFILE

1 DATE	2/10
2 TIME	10:42
3 SGOT	-----
4 SGPT	-----
5 CPK	-----
6 LDH	-----
7 -HBDH	-----

Fig. 3. — Planilla demostrativa de los datos elaborados por computadora provenientes de un paciente.

necesidades. Sin embargo queremos hacer notar muy especialmente que se carecen de normas o "standards" de fabricación. Es así que la seguridad del profesional y del paciente queda librada a la conciencia y buena voluntad del fabricante. Y esta alternativa es peligrosa, ya que una competencia rigurosa podría tentar a disminuir las seguridades de operación en favor de un abaratamiento mal entendido. A este respecto estamos convencidos de que se hace indispensable la intervención oficial como reguladora. Las normas de seguridad, a las que se deben ajustar los equipos, son cambiadas constantemente en aquellos países de avanzada tecnología industrial. Pensamos que no estamos en condiciones de entrar en esa carrera perfeccionista, pero sí que se deberían adoptar las normas indispensables para fabricar equipos que brinden un servicio seguro y eficaz.

CONCLUSIONES

Los equipos electrónicos se han convertido en una ayuda eficaz para el diagnóstico y tratamiento de cardiopatías. El avance vertiginoso de la electrónica en los últimos años ha contribuido a que esto suceda. Podemos estar seguros que muy pronto aparecerán transductores y sensores de parámetros fisiológicos, más pequeños y confiables, eliminando las molestias que algunos de ellos producen actualmente. Que nuevas técnicas permitirán obtener mayor información sobre el estado del paciente, como por ejemplo, el monitoreo continuo de la ventilación alveolar, análisis de electrolitos y gases en sangre en forma ininterrumpida, etc. La utilización de computadoras más pequeñas para controlar los sistemas de realimentación fisiológica, administración de drogas programada y la adecuación automática del ambiente donde se encuentra el enfermo, nos traerá nuevas armas para aplicarlas en un mejor manejo del paciente. Todas estas ventajas serán máximas si se llega a una estrecha relación entre los profesionales usuarios y los fabricantes de equipos y donde el Estado tome el papel de normatizador y regulador de estas actividades.

BIBLIOGRAFIA

- Goldstein, Norman N., Jr.: "Instrumentation Methods for Physiological Studies", University of California Berkely Extension - Berkely, Calif., 1964.
- Glasser, Otto: Ed. "Medical Physics", Vol. 1, 2, 3.
- Uber, Fred M.: "Biophysical Research Methods", Interscience Publishers, N. Y.
- Ruch, T. C. and Fulton, J. F.: "Medical Physiology and Biophysics", W. B. Saunders Cp., Philadelphia.
- Stacy, Ralph W.: "Essentials of Biological and Medical Electronics", McGraw - Hill Book. Co. N. York.
- Lion, Kurt S.: "Instrumentation in Scientific Research", McGraw Hill Book Co., N. York.
- Kaneko, A. et al.: "Analysis of ultrasonic blood rheogram by the sound spectrograph", Jap. Cir. J. 34: 1035, 1970.
- Gosling, R. G. and D. H. King: "Audio signals in arteriovenous shunts, use in flow monitoring and posible relevance to clotting", J. Appl. Physiol. 27: 106, 1969.
- Gosling, R. G. etc. al.: "The quantitative analysis of occlusive peripheral arterial disease by non-invasive ultrasonic technique", Angiology 22: 99, 1971.
- Woodcock, J. F.: "A new non-invasive technique for assessment of superficial femoral artery obstruction".
- Current Status of Intensive coronary Care. A symposium presented by the American College of Cardiology and Presbyterian, University of Pennsylvania Medical Center, New York. The Charles Press, 1966.
- Day, H. W.: "An intensive coronary care area". Dis. Chest. 44: 423.
- Gauthier-Lafaye, P. J. and Larence, L.: "Pitfalls and danger of patient monitoring" Crul, J. F., and Payne, J. P.: Baltimore, Williams and Wilkins, 1971.
- Marriott, H. J. L. and Fogg, E.: "Constant monitoring for Cardiac dysrhythmias and blocks". Mod. Concepts Cardiovasc. Dis, 39: 102, 1970.
- Silver, J. A.: "Anatomy and physiology of an intensive and cardiac care unit in an active general hospital". Bull Louis A. Weiss Memorial Hospital, 7: 13; 31, 1966.
- Zoll, P. M.; Linenthal, A. J.; Norman, L. R. and Belgard, A. H.: "Treatment of Stokes-Adams disease by external electric stimulation of the heart". Circulation, 9: 482, 1954.
- Bousvaros, G. A.; Don C. and Hopps, J. A.: "An electrical hazard of selective angiocardiology". Canad. Med. Assoc. J. 87: 286-288, 1962.
- Burchell, H. B.: "Electrocution hazards in the hospital or laboratory". Circulation. 27: 1015-1017, 1963.
- "Fatal shock from a cardiac monitor". Special article, Lancet 1: 872, 1960.
- Ferris, L. P.; King, B. G.; Spence, P. W. and Williams, H. B.: Effect of electric shock on the heart". Elect. eng. 55: 498, 1936.
- Furman, S. and Schwedel, J. B.: "An intracardiac pacemaker for Stokes-admas seizures". New Eng. J. Med. 261: 493-948, 1959.

- Han, J.; García de Jalon, P. D. and Moe, G. K.: "Fibrillation threshold of premature ventricular responses". *Circ. Res.* 18: 18-25, 1966.
- Himmelhoch, S. R.; Dekker, A.; Gazzaniga, A. B. and Like, A. A.: "Closed-Chest cardiac resuscitation. A prospective clinical and pathological study". *New Eng. J. Med.* 270: 118-122, 1964.
- Hooker, D. R.: "On recovery of the heart in electric shock". *Amer. J. Physiol.* 91: 305-328, 1929.
- Hooker, D. R.; Kouwenhoven, W. B. and Langworthy, O. R.: "Effect of alternating electrical currents on the heart". *Amer. J. Physiol.* 103: 444-454, 1933.
- Hopps, H. A. and Roy, O. Z.: "Electrical hazards in cardiac diagnosis and treatment". Letter to the editor. *Med. Electron. Biol. Eng.* 1: 133-134, 1963.
- King, B. G.: "The effect of electric shock on heart action with special reference to varying susceptibility in different parts of the cardiac cycle". Columbia Univ. Thesis. New York: Aberdeen Press, 1934.
- Kouwenhoven, W. B.; Hooker, D. and Lotz, E. L.: "Electric shock effects of frequency". *Elec. Eng.* 55: 384, 386, 1936.
- Kouwenhoven, W. B.; Milnor, W. R.; Knickerbocker, G. G. and Chestnut, W. R.: "Closed chest defibrillation of the heart". *Surgery* 42: 550-561, 1957.
- Langworthy, O. R. and Kouwenhoven, W. B.: "What are the effects of electric shock?". *Elec. Eng.* 50: 306, 1931.
- Marey, E. J.: "Des excitations électriques du coeur". *Trav. du Lab. de M. Marey*, 2: 63-68, 1876.
- Marey, E.: "Recherches sur les excitations électriques du coeur". *J. de l'Anat. et. de Physiol.* 8: 60, 1877.
- Mody, S. M. and Richings, M.: "Ventricular fibrillation resulting from electrocution during cardiac catheterization". *Lancet* 2: 698-699, 1962.
- Noordijk, J. A.; Oey, F. T. and Tebra E.: "Myocardial electrodes and the danger of ventricular fibrillation". *Lancet*.