

# SENCILLO DISPOSITIVO PIEZOELECTRICO PARA LA OBTENCION DE BALISTOCARDIOGRAMAS DIRECTOS

por el doctor

CARLOS GENTILE \*

Desde la publicación original de Starr y col. en 1939<sup>1</sup> sentando las bases de la balistocardiografía, se han diseñado diversos tipos de mesas balistocardiográficas (de alta frecuencia, no amortiguada, de Starr<sup>1</sup>; de baja frecuencia, críticamente amortiguada, de Nickerson y Curtis<sup>2</sup>; para el registro simultáneo de balisto y electrocardiogramas<sup>3</sup>; para la obtención de balistocardiogramas en posición inclinada<sup>4</sup>, de pie<sup>5</sup>, etc.) pero todas tenían el inconveniente de exigir instalaciones fijas, voluminosas y de costo elevado, lo que limitó durante varios años su empleo a los laboratorios de investigación. El gran impulso actual de la balistocardiografía como método rutinario de exploración cardiológica, se debe a la introducción por Dock y Taubman en 1949<sup>6</sup> de nuevos procedimientos en los que se prescinde de la mesa intermediaria y se inscriben directamente los movimientos balísticos del cuerpo mediante dispositivos electromagnéticos, fotoeléctricos y esfigmográficos aplicados en la cabeza o en los pies del paciente. Este se halla acostado sobre cualquier superficie dura e inmóvil, y el registro se efectúa en un electrocardiógrafo común (Balistocardiograma Directo). Las curvas obtenidas son similares a las registradas simultáneamente en una mesa de alta frecuencia, tipo Starr, con conservación de las ondas diastólicas L, M y N. El sistema electromagnético es el que ha tenido mayor difusión por la simplicidad de su construcción, facilidad de manejo y ausencia de válvulas o baterías que deban ser repuestas. Ha sido empleado en los trabajos de Mandelbaum y Mandelbaum<sup>7</sup>, Dock, Mandelbaum y Mandelbaum<sup>8</sup> y en nuestro país por Soldati, Mejía y Navarro Viola<sup>9, 10</sup>. El balistocardiógrafo fotoeléctrico de Sanborn ha sido utilizado por Cossio y Mosso<sup>11</sup> y por Porady y col.<sup>12</sup>.

El dispositivo que presentamos puede ser incluido entre los procedimientos esfigmográficos de la balistocardiografía directa y

\* Dispensario Antirreumático y Cardiovascular. Tandil.

se basa en la conocida propiedad de ciertos cristales de generar energía eléctrica cuando son sometidos a un esfuerzo mecánico (efecto piezoeléctrico).

### MÉTODO

Como elemento piezoeléctrico empleamos una cápsula Shure destinada originalmente para la reproducción fonográfica. En paralelo con su bornes de salida debe conectarse (Fig. 1) un condensador de gran capacidad para aumentar la llamada "constante de tiempo" del circuito (Miller y White 13). Esta capacitancia, de gran valor, en paralelo, disminuye la sensibilidad general del sistema, pero esto carece de importancia ya que los potenciales generados por las ondas balistocardiográficas son de tal magnitud que se asegura de todos modos una

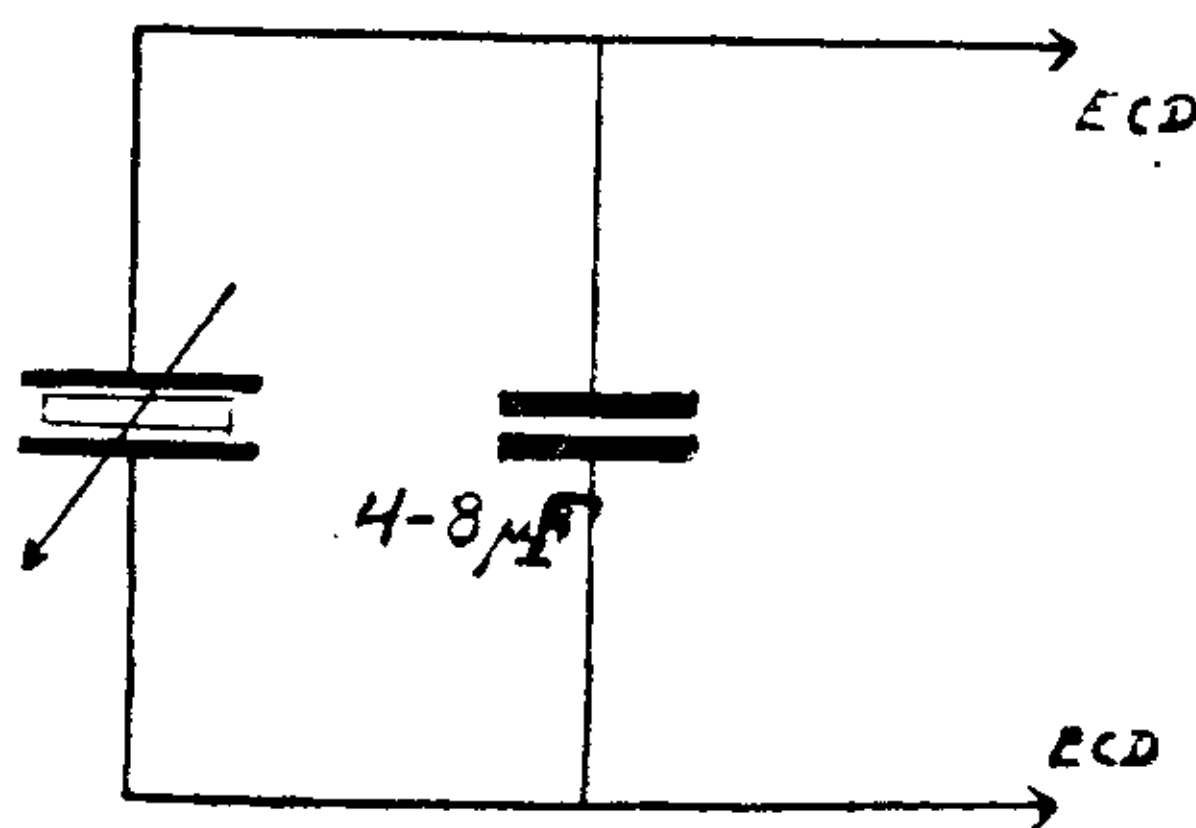


FIG. 1

salida del orden de milivoltios, suficientes para accionar el amplificador del electrocardiógrafo utilizado para el registro. Son suficientes capacitancias de 4 a 8 microfaradios, siendo necesario hacer notar que la salida es menor cuanto mayor es la capacidad, por lo que conviene mantener el valor de la misma para todos los registros a fin de que la magnitud de éstas puedan ser comparadas entre sí. Con los valores citados de 4-8 microfaradios, la constante de tiempo del circuito de entrada del electrocardiográfico (provisto habitualmente de resistencia de escape de grilla de 5 megohms), se eleva a 20-40 segundos, más que suficientes para asegurar la fiel reproducción de las ondas balísticas de frecuencia más baja.

El sistema de registro se compone de los siguientes accesorios (Fig. 2):

1. Cápsula piezoeléctrica.
2. Condensador de papel de 4-8 microfaradios (pueden emplearse capacitores de menor valor, conectados en paralelo).
3. Soporte metálico de pie pesado y de altura regulable.
4. Un listón de madera dura de 50 cms. de longitud y 5 cms. de anchura (usamos una regla plana de dichas dimensiones) en cuyo centro se fija un tornillo provisto de un borne ajustable.

## DISPOSITIVO PIEZOELÉCTRICO PARA BALISTOCARDIOGRAFÍA

5. Un alambre de bronce de 1.5 mm. de diámetro y 10 cms. de longitud, doblado en forma de aro en una extremidad y formando en la otra una rama en ángulo recto de 1.5 cms. de longitud.
6. Cables, vendas elásticas, etc.

Para la obtención del BCD el paciente se saca los zapatos (no necesita desvestirse, a menos de querer obtener un fono o electrocardiograma simultáneo) y se acuesta sobre la plataforma de registro, provista de una almohada. Esta plataforma debe ser completamente inmóvil y de superficie dura, lisa (de baja fricción); puede emplearse con tal fin una mesa construída de ex-profeso, o una mesa de rayos X, o simplemente el piso de la habitación, si es de superficie lisa. El listón de madera se fija mediante las vendas elásticas en la cara anterior del tercio inferior de ambas piernas colocadas en ligera abducción. El extremo del alambre doblado en ángulo recto se fija en el orificio de la cápsula piezoeléctrica mediante el tornillo de que viene provista. Se coloca el soporte metálico entre los pies del paciente y se regula la altura del mismo de modo

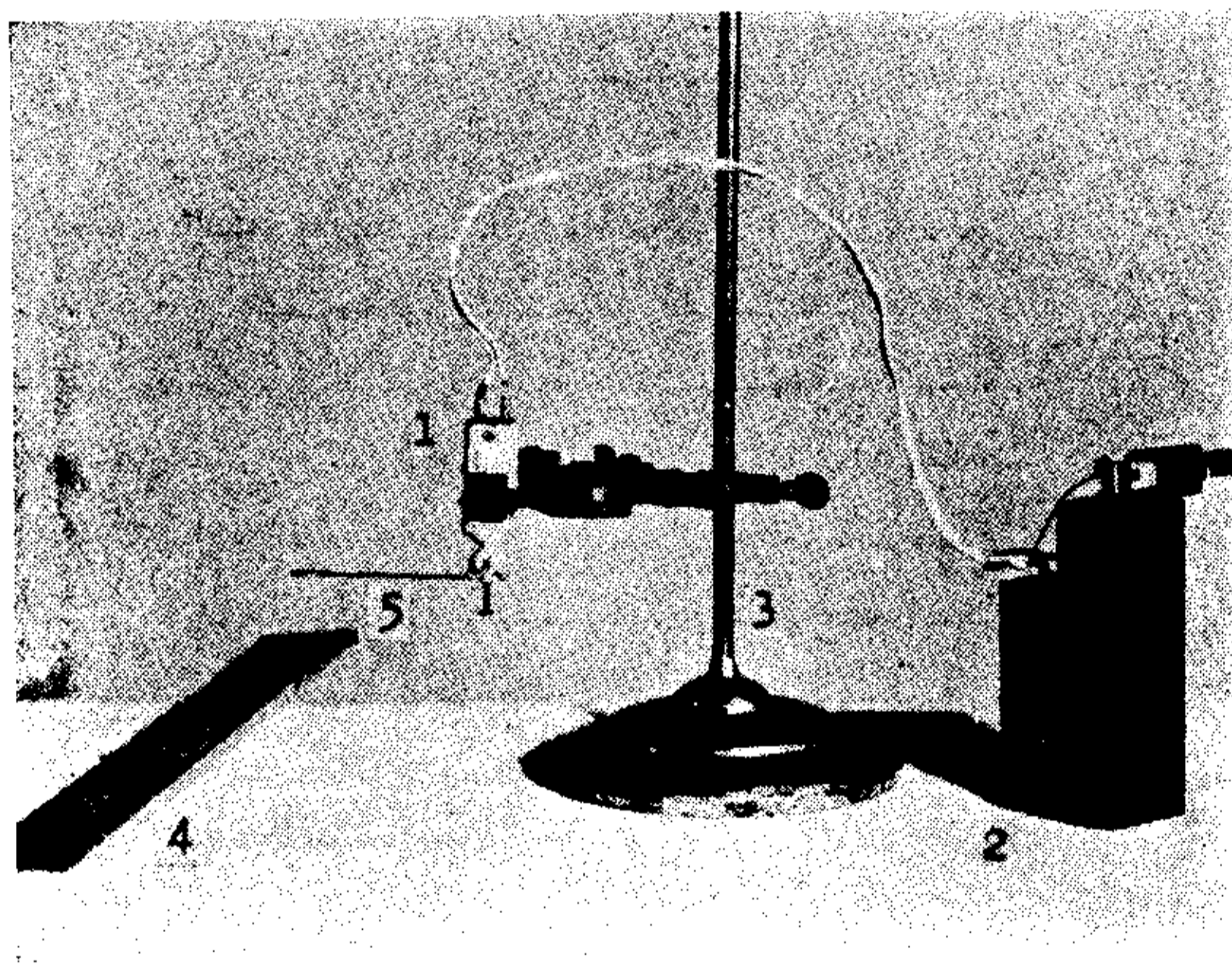


FIG. 2

que el otro extremo del vástago de alambre, formando aro, penetre, sin forzarlo, en el tornillo del travesaño de madera, ajustándolo finalmente al mismo mediante el borne correspondiente. De esta forma las impulsos balísticos impresos al cuerpo en sentido longitudinal por la acción cardíaca se transmiten sucesivamente al travesaño de madera, al vástago de alambre y a la cápsula piezoeléctrica donde son transformados en impulsos eléctricos. Todas las maniobras deben efectuarse con suavidad, evitando los movimientos forzados, que podrían dañar la delicada estructura mecánica del elemento cristalino. El pie del soporte debe estar bien inmóvil sobre la superficie de registro, sin tocar los pies del paciente.

Los terminales del dispositivo se conectan al electrocardiógrafo como para tomar una derivación cualquiera: por ejemplo, a los cables del brazo derecho y brazo izquierdo, estando la llave selectora en derivación I. La forma correcta de efectuar las conexiones debe determinarse experimentalmente por una sola

vez, para evitar los trazados invertidos. La conexión estará bien hecha cuando un golpe hacia abajo en el hombro del paciente produzca una deflexión negativa en el trazado. Conviene emplear una amplificación constante en el electrocardiógrafo: ésta puede ser la habitual de 1 cm. por milivoltio o mayor o menor según la amplitud de las ondas que se desee obtener.

Aunque las ondas del complejo sistólico HIJK son fácilmente individualizables en un BCD normal, no sucede lo mismo en los trazados atípicos. Es conveniente en tales casos, lo mismo que cuando se desee precisar las relaciones cronológicas de las distintas ondas BCD, registrar simultáneamente alguna otra manifestación de la actividad cardíaca (electrocardiograma, fonocardiograma, pulso central, etc.) para lo que puede utilizarse un aparato provisto de dos o más canales, o bien, si no se dispone más que de un aparato común, recurrir

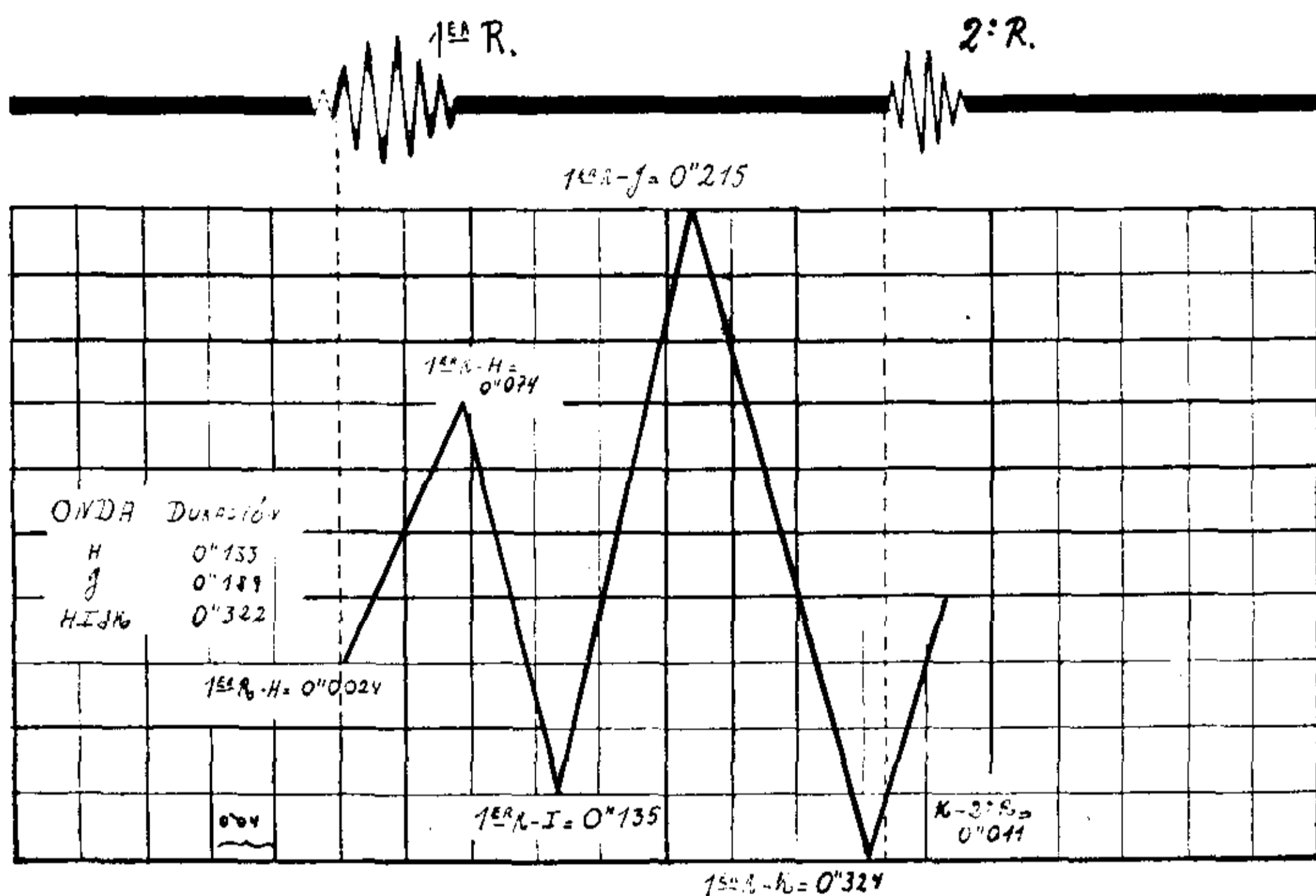


FIG. 3

a la inscripción simultánea del electrocardiograma en la misma curva BCD (Dock; de Soldati). Gubner 14 conecta una derivación electrocardiográfica en paralelo con la salida del balistocardiógrafo e intercala en uno de los cables de dicha derivación una resistencia variable de 0-1 megohm con el fin de variar a voluntad la amplitud de la onda E.c.g. o eliminarla de la curva BCD si fuese conveniente.

En todos los casos hemos efectuado el registro simultáneo de BCD y fonocardiograma, usando el Stheto-Cardiette Sanborn de dos canales. El paciente debe estar en ayunas o haber transcurrido un lapso de 2 ó más horas luego de la última comida. El BCD se toma después de un reposo previo de 10-15 minutos y estando el cuerpo del paciente en completa relajación.

### RESULTADOS

Hemos efectuado hasta la fecha unos 200 BCD de los que 50 corresponden a personas normales de ambos sexos en edades com-



DISPOSITIVO PIEZOELÉCTRICO PARA BALISTOCARDIOGRAFÍA

prendidas entre los 16 y 49 años. El gráfico de la Fig. 3 se ha construido con los resultados de promediar la duración de las distintas ondas en 38 BCD normales tomados en apnea. Se examinó un solo complejo típico en cada caso. Puede observarse en el mismo que el comienzo de la onda H es prácticamente sincrónico con el comienzo del 2º componente del primer ruido (foco mitral) y que el vértice de la onda K se anticipa en 0'01 al comienzo del 2º ruido. Es de hacer notar que en los casos individuales el pico de la onda K puede preceder (Fig. 4 B, C y E), coincidir (Fig. 4 D) o seguir (Fig. 4 A y F) al comienzo del 2º ruido.

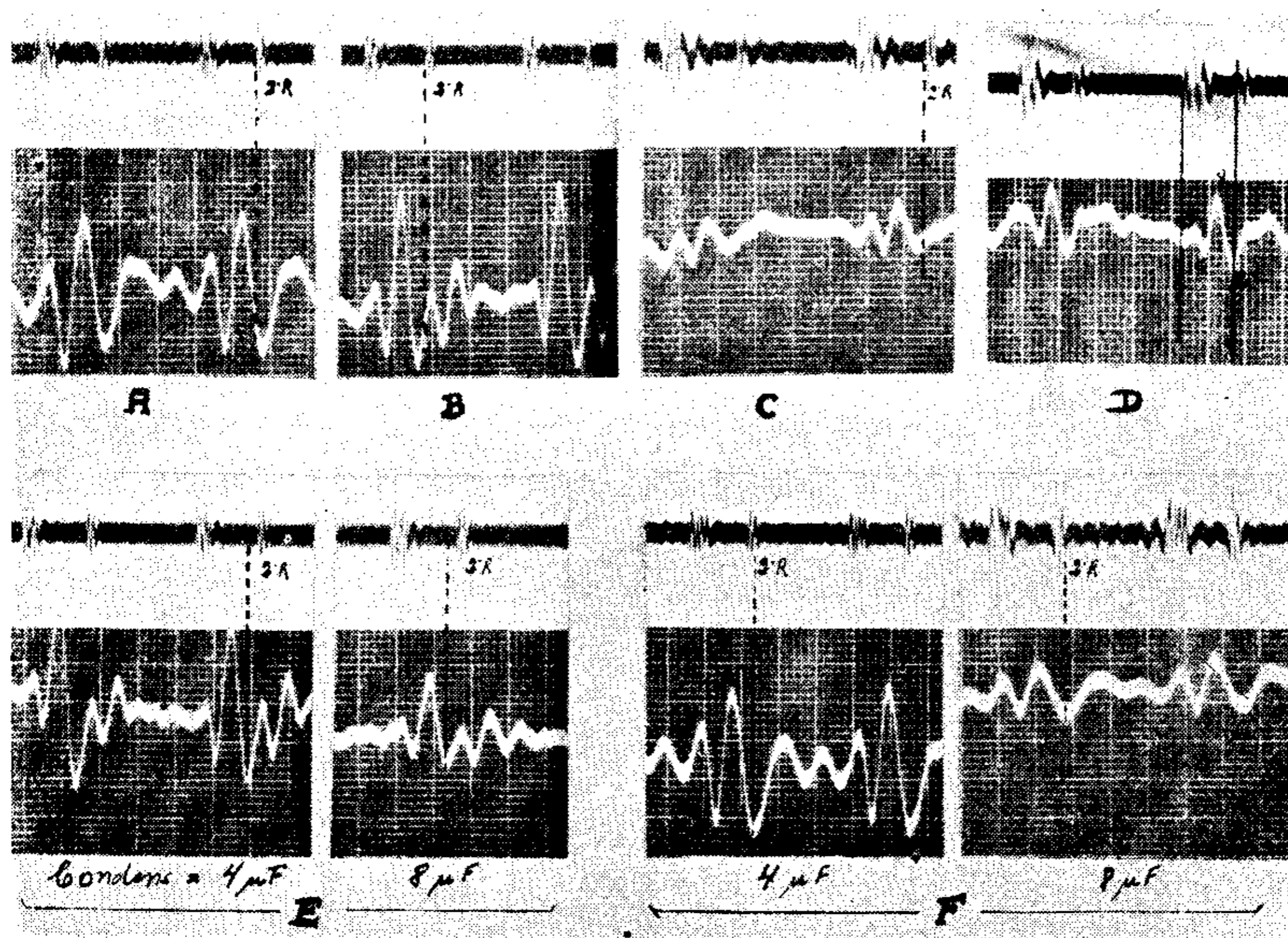
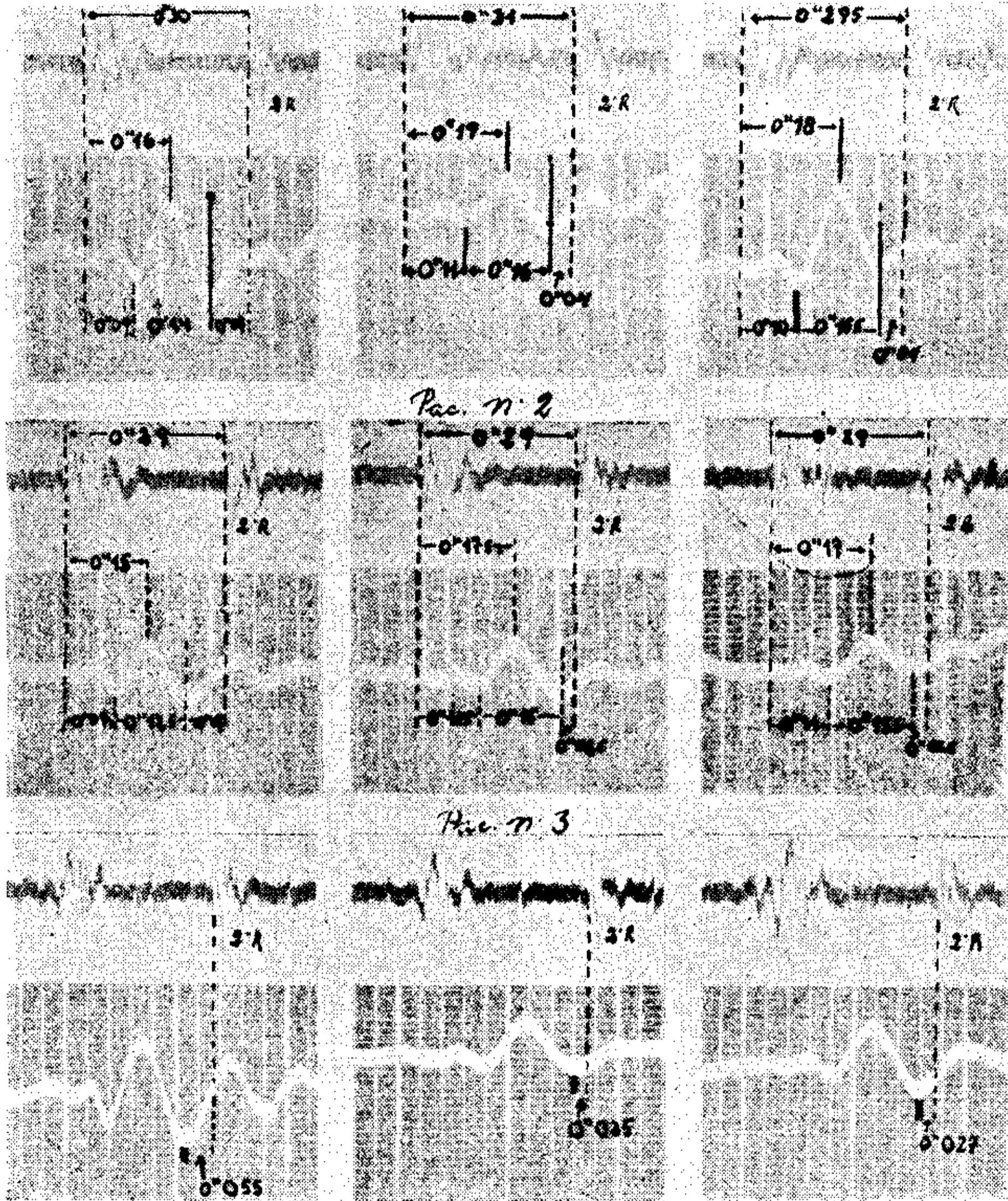


FIG. 4

La duración y las relaciones cronológicas de estas ondas con el 1º y 2º ruido son independientes del valor del condensador conectado en paralelo con el cristal piezoeléctrico. Así el BCD de la izquierda (Fig. 4E) ha sido tomado empleando un condensador de 4MF, mientras el de la derecha de la misma figura ha sido tomado en el mismo paciente pero empleando un condensador de mayor capacitancia (8 MF). Puede observarse que ambas curvas se diferencian por su amplitud (mayor con el condensador de menor capacidad) pero que en las mismas es idéntica la relación cronoló-



gica del pico de la K con el comienzo del 2º ruido, al cual se anticipa en 0'04 en ambos casos. Iguales conclusiones se sacan del análisis de los BCD reproducidos en la Fig. 4F correspondientes a otro sujeto normal. Esto se debe a que el cristal piezoeléctrico se comporta eléctricamente como un condensador, de modo que la conexión de otro condensador de mayor capacidad en paralelo no produce discriminación de frecuencias. No sucede lo mismo cuando se emplea el



Electromagnético      FIG. 5      Piezoeléctrico

método electromagnético. Dock y Taubman<sup>6</sup> demostraron que las ondas del BCD electromagnético coinciden con las del BCD fotoeléctrico (tomado simultáneamente) o las preceden en 0'03-5'05, según se conecte o no un condensador de gran capacidad en paralelo con la bobina. Esta diferencia es atribuida por dichos autores a que la capacitancia en paralelo introduce un defasaje de las ondas de tal modo que las mismas corresponden a desplazamientos corporales

reales, que son los que inscribe también el método fotoeléctrico; la omisión del condensador, en cambio, hace que se inscriba la velocidad de los movimientos corporales.

En numerosos pacientes hemos efectuado sucesivamente los BCD con los siguientes procedimientos: 1) electromagnético con un condensador de 8 mfd; 2) electromagnético con un condensador de 33 mfd; 3) piezoeléctrico. En la Fig. 5 se reproducen los correspondientes a tres sujetos normales. Puede observarse, comparando las relaciones cronológicas de las distintas ondas B, y especialmente del vértice de la K con el 2º ruido, que los BCD piezoeléctrico y electromagnético con condensador de 33 mfd son superponibles, mientras que las ondas son más breves y el vértice de la K se anticipa mucho más con respecto al 2º ruido en el BCD electromagnético con condensador de 8 microfaradios. Estas observaciones coinciden con las realizadas por Dock y Taubman<sup>6</sup>.

El procedimiento descrito ofrece las siguientes ventajas: simplicidad, facilidad de obtención a bajo costo de los pocos accesorios necesarios para su construcción y reproducción fiel de los movimientos balísticos corporales, asegurada por la conocida respuesta uniforme del cristal piezoeléctrico a las distintas frecuencias. Es posible que en este sentido sea superior al método electromagnético, pero esto probablemente no tenga ninguna importancia en la aplicación actual de la balistocardiografía directa como método empírico de diagnóstico, en la que se toma en cuenta solamente las alteraciones relativamente groseras de la curva balistocardiográfica. En la práctica la única diferencia que hemos creído notar entre ambos métodos es una tendencia del método electromagnético a dar ondas L de mayor amplitud, comparadas con la onda N, mientras que en el método piezoeléctrico la N tiende a predominar sobre la L, acercándose así más a las curvas obtenidas con la mesa de alta frecuencia, tipo Starr.

Los inconvenientes del sistema piezoeléctrico son: 1) ondulaciones respiratorias amplias de la línea de base; 2) necesidad de una unión mecánica entre el cuerpo del paciente y el sistema de registro y posibilidad de dañar por movimientos bruscos el elemento piezoeléctrico.

NOTA: Con posterioridad a la preparación de este trabajo nos informó el doctor Soldati que el procedimiento ya había sido empleado en Estados Unidos, lo que hemos podido confirmar en el



reciente trabajo de Pordy y col.<sup>12</sup>, quien cita a Greenberg, que en 1950 utilizó cristales de g'lenita con el mismo fin.

## SUMARIO

Se describe un sencillo dispositivo para la obtención de balistocardiogramas directos mediante su acoplamiento a un electrocardiógrafo común. El mismo se basa en el efecto piezoeléctrico, empleándose una cápsula Shure, destinada originalmente para la reproducción fonográfica. Las curvas obtenidas con este procedimiento en personas normales son similares a las obtenidas con el método electromagnético cuando se emplea en éste un condensador de gran capacidad.

## BIBLIOGRAFIA

1. Starr, I., Rawson, A. J., Schroeder, H. A. and Joseph, N. R. — "Am. Journal of Physiology", 1939, 127, 1.
2. Nickerson, J. I. and Curtis, H. J. — "Am. Journal of Physiology", 1944, 142, 1.
3. Brown, H. R. and Pearson, R. — "American Heart Journal", 1943, 26, 351.
4. Wilkins, R. W. — "American Heart Journal", 1943, 26, 351.
5. Kralik, V. E. — "American Heart Journal", 1950, 39, 161.
6. Dock, W. and Taubman, F. — "American Journal of Medicine", 1949, 7, 751.
7. Mandelbaum, H. and Mandelbaum, R. A. — "Circulation", 1951, 3, 663.
8. Dock, W., Mandelbaum, H. and Mandelbaum, R. A. — "Journal of the American Medical Association", 1951, 146, 1284.
9. De Soldati, L., Navarro Viola, R. y Mejía, R. H. — Esta Revista, 1951, 18, 137.
10. De Soldati, L., Mejía, R. H. y Navarro Viola, R. — Esta Revista, 1951, 18, 153.
11. Cossio, P. y Mosso, H. E. — Sociedad Argentina de Cardiología. Sesión del 31 de octubre de 1951.
12. Pordy, M. D., Taymor, R. C., Moser, M., Chesky, K. and Master, A. M. — "American Heart Journal", 1951, 42, 321.
13. Miller, A. and White, P. D. — "American Heart Journal", 1941, 21, 504.
14. Gubner, R. — "Circulation", 1951, 4, 239.

## RÉSUMÉ

On décrit un dispositif simple pour obtenir des balistocardiogrammes directs en l'accouplant à un électrocardiographe commun. Cet appareil est basé sur l'effet piezoelectrique en employant un capsule Shure destinées originalemment à la phonographie. Les courbes obtenues par le procédé sur des personnes normales, sont similaires à celles obtenues par la méthode electromagnétique quand on emploi avec celui-ci un condensateur de grande capacité.



SUMMARY

A simple system to make direct ballistocardiograms on an ordinary electrocardiographic machine is described. It is based on the pyzoelectric effect and it uses a capsule originally made for phonographic reproductions. The tracings thus obtained, with this method are similar to those registered with the electromagnetic one, when a condenser of great capacity is used.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine einfache Vorrichtung zur Herstellung direkter Balistokardiogramme wird beschrieben, welche an einen gewöhnlichen Elektrokardiographen angeschlossen wird. Dicselbe beruht auf dem stükedestriscen Effert wobei eine Shure-Kapsel verwendet wird, wie man sie sonst zur phonographischen Wieder-gabe gebraucht. Die auf diesem Wege erhaltenen Kurven gleichen denen, welchen man nach der elektromagnetischen Methode bei normalen Fällen erhält, wenn ein Kondensator von hoher Kapazität benützt wird.

