



CARDIOLOGÍA DEL ADULTO - HISTORIA DE LA CARDIOLOGÍA

Balístocardiógrafo: historia de un instrumento para medir en forma indirecta el desempeño del corazón

Balistocardiograph: history of an instrument for indirect assessment of heart performance

En memoria de Luis Carlos Barón Plata

Alberto Barón C., MD.

Bogotá, DC., Colombia.

El balístocardiograma es el registro del movimiento del cuerpo que se origina por la energía transmitida desde el corazón hacia las grandes arterias como consecuencia de la salida de la sangre desde los ventrículos y del retroceso del cuerpo como reacción. Esta energía causa un desplazamiento del cuerpo en sentido cefálico, para luego cambiar en dirección opuesta cuando la sangre fluye por la aorta descendente.

El sistema, que consta de tres partes, una tabla móvil en el sentido horizontal, un sistema de registro del movimiento corporal y un sistema de amplificación, permite generar un registro gráfico.

La primera descripción corresponde a Gordon en 1877, cuando registró los movimientos horizontales y verticales de pacientes en una cama suspendida por cuatro cuerdas. En 1905 Yandel Henderson captó los movimientos en sentido horizontal, utilizando una tabla que se balanceaba unida a una serie de poleas; para el registro utilizó un quimógrafo. Pero fue Starr quien le dio el nombre al instrumento y elaboró un balístocardiógrafo indirecto en 1939, que inscribía las ondas en papel fotográfico. Pocos años después, Dock y Taubman diseñaron el primer balístocardiógrafo directo, usando unas barras metálicas ajustadas a las tibias del paciente. Henderson y Bixby mejoraron la precisión de la calibración a través de un microscopio.

Autores como Hamilton, Dow, Thompson, Rappaport y Sprague describieron las ondas y su relación con los eventos del ciclo cardíaco. Su correlación con la fonocardiografía y el registro de los pulsos carotídeo, venoso y ápex-cardiograma fue de gran importancia para relacionar las ondas con los eventos fisiológicos. Starr demostró la relación de las ondas con el gasto cardíaco y su utilidad en el seguimiento de pacientes con insuficiencia cardíaca.

Luis Carlos Barón Plata, cardiólogo bogotano, diseñó y elaboró un balístocardiógrafo directo, artesanal. Diferió del aparato de Dock y Taubman en la forma de obtener un registro de los movimientos corporales: diseñó un sensor que se colocaba contra la cabeza para registrar así el desplazamiento del cráneo. Con esto registró en forma adecuada las ondas del balístocardiograma. Su construcción fue muy austera y se conectaba mediante dos cables al electrocardiógrafo.

Con el desarrollo de métodos más sencillos y precisos para observar y cuantificar la fisiología del corazón, la balístocardiografía perdió popularidad y casi ha desaparecido en todos los servicios de cardiología.

PALABRAS CLAVE: balístocardiograma, gasto cardíaco, historia de la Cardiología.

Departamento Médico, Clínica de Marly, S.A., Bogotá, D.C., Colombia.

Correspondencia: Alberto Barón C., MD. Carrera 13 No. 49 - 40 Consultorio 302, Bogotá, D.C., Colombia. Correo electrónico: albertobaronc@gmail.com

Recibido: 20/11/2008. Aceptado: 05/03/2009.

The ballistocardiogram is the registry of the body's movement generated by the energy transmitted from the heart to the great arteries, as a consequence of the displacement of blood out from the ventricles and the recoil of the body. The energy transmitted cause a displacement in cephalic direction, and change in the opposite direction when the blood flows in the descending aorta.

The system is formed by three parts: a mobile board in the horizontal plane, a system to register the corporal movement and an amplification system, to make possible generate a graphical register.

The first description was made by Dr. JD. Gordon in 1877, when he registered the horizontal and vertical movements of a patient lying in a bed hanged by four supports. In the year 1905 Dr. Yandel Henderson was able to register the horizontal movements in a hanging panel and a series of pulleys; for the register he used a quimograph. Dr. Isaac Starr assigns the name to the instrument and made an indirect ballistocardiograph in 1939, printing the waves in photographic paper. Few years after, doctors Dock and Taubman designed the first direct ballistocardiograph, using metallic rods adjusted to the patient's tibia. Henderson and Bixby improved precision of the calibration by the use of a microscope.

Authors like doctors Hamilton, Dow, Thompson, Rappaport and Sprague described the waves and their relationship with events of the cardiac cycle. The correlation with phonocardiography and the registry of carotid and venous pulse, and the apexcardiogram, was of great importance to relate the waves with physiological events. Dr. Starr recognized the relationship between the waves and cardiac output and it's usefulness in the follow-up of patients with heart failure.

Luis Carlos Barón Plata, a cardiologist born in Bogotá, designed and handcrafted a direct ballistocardiograph. It differed from Dock and Taubman's machine in the way of obtaining the corporal movements: he designed a sensor placed in contact with the head in order to record the displacement of the cranium. With this he was able to register adequately the ballistocardiographic waves. The construction was austere and was connected by two cables to the electrocardiograph.

With the development of simpler and more accurate methods to observe and quantify the heart's physiology, the ballistocardiography lost popularity, and that technique has disappeared from almost all the cardiology units.

KEY WORDS: balistocardiogram, cardiac output, history of cardiology.

(Rev Colomb Cardiol 2009; 16: 5-10)

Definición

El balistocardiograma es el registro del movimiento del cuerpo que se origina por la energía transmitida desde el corazón hacia las grandes arterias, como consecuencia de la salida de la sangre desde los ventrículos y del retroceso del cuerpo como reacción (1). En forma más específica, el balistocardiógrafo registra el movimiento corporal que ocurre como producto del impacto de la sangre sobre el arco aórtico. La energía transmitida causa un desplazamiento del cuerpo en sentido cefálico, para luego cambiar en dirección opuesta cuando la sangre fluye por la aorta descendente. La magnitud y el sentido del desplazamiento dependen del *momentum* (2).

Su nombre proviene del griego: *ballidso*, agitar; *kardia*, corazón y *graphó*, inscribir. El sistema, que

consta de tres partes: una tabla móvil en el sentido horizontal, un sistema de registro del movimiento corporal y un sistema de amplificación, permite generar un registro gráfico. En los instrumentos iniciales se utilizaba un sistema óptico que inscribía las señales en papel fotográfico, semejante al que se empleaba en los electrocardiógrafos de la primera mitad del siglo XX. Una de las limitaciones que tenía la técnica era el requerimiento de reducir al mínimo las fuerzas de fricción en la tabla horizontal. Para lograr ese objetivo se suspendió la camilla colgada desde el techo. Esta necesidad se resolvió años después utilizando una corriente de aire para sostener la tabla. La biblioteca y museo Bakken de Minneapolis, conserva en ejemplar (3). Los artefactos originados por el movimiento lateral se limitaron con el uso de unos puntales en los lados de la camilla.

El invento

El primer registro se remonta a 1877 cuando Gordon registró los movimientos horizontales y verticales de pacientes en una cama suspendida por cuatro cuerdas (4), dato que luego mencionó Harold Lamport en una carta dirigida a la revista *Science* (5). En la figura 1 se aprecia una copia de los registros que el Dr. Gordon publicó en *Journal of Anatomy and Physiology*. En los albores del siglo XX, en 1905, Yandel Henderson, nacido en Louisville, Kentucky y distinguido profesor de fisiología en la Universidad de Yale, después de realizar investigaciones con pletismografía para establecer las características del llenado de los ventrículos, diseñó una tabla que se balanceaba unida a una serie de poleas, y mediante un quimógrafo dejaba un registro gráfico (6). Estos instrumentos elaborados por los doctores Gordon y Henderson pueden considerarse como los precursores de la balistocardiografía.

El doctor Isaac Starr es reconocido como el creador del balistocardiógrafo. Fue un connotado investigador, gran conocedor de la física y profesor en la Universidad de Pennsylvania. Se destacó por usar la física para medir la eficiencia del trabajo del corazón y por sus estudios de fisiología de la insuficiencia cardiaca (7). Construyó el primer balistocardiógrafo indirecto, presentado a la comunidad médica en 1939 (8). En la figura 2 se observa el esquema del diseño realizado por el Dr. Starr y algunos ejemplos de los trazados obtenidos. Pocos años des-

pues, los doctores Dock y Taubman diseñaron el primer balistocardiógrafo directo, ajustando unas barras metálicas sobre las superficies de las tibias del paciente, (9) como se puede observar en la figura 3 (10). Nickerson fue otro de los pioneros en describir las características técnicas para construir un balistocardiógrafo (11). Los doctores Harry y Robert Mandelbaum del *Jewish Hospital* de Brooklin, NY, simplificaron la cama usando una superficie de fórmica. Con esta innovación presentada en París el 8 de septiembre de 1950, en el Primer Congreso Cardiológico Internacional, fue posible realizar los estudios en diferentes lugares (8). Los Doctores Mandelbaum hicieron recomendaciones importantes en cuanto a la calibración del instrumento, reconociendo su



En la Fig. 1 el descenso que es seguido inmediatamente por un largo ascenso es sincrónico con la sístole: le siguiente descenso es la segunda deflexión referida en el texto. Los ascensos deben ser considerados simplemente como la tendencia instrumental para reestablecer el equilibrio.

En Fig. 2 las letras tienen el mismo significado que en las figuras del Dr. Galabin.

Figura 1. Registros del movimiento corporal obtenidos por el Dr. Gordon. Reproducido con autorización de: Gordon JW. *On certain molar movements of the human body produced by the circulation of the blood. J Anat Physiol 1877; 11: 533.*

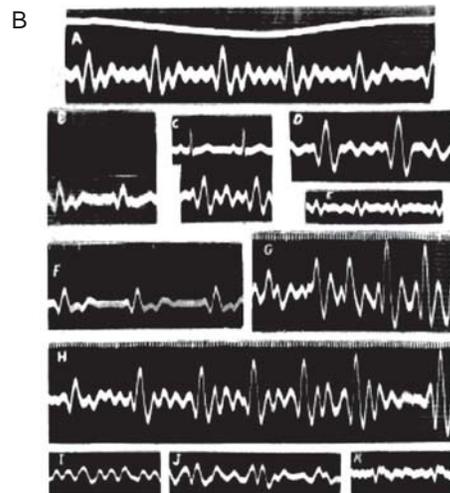
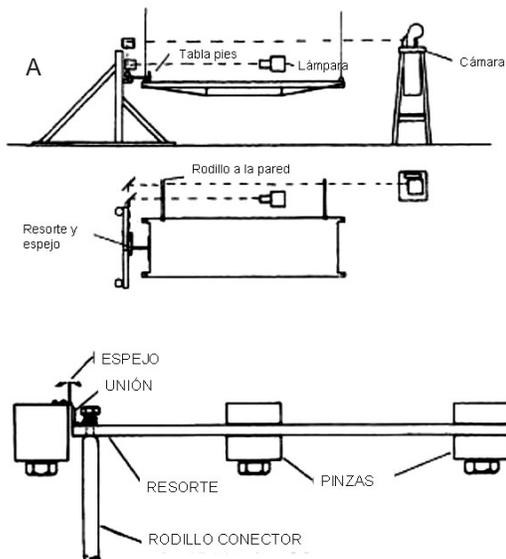


Figura 2. A. Esquema del balistocardiógrafo de Starr. B. Balistocardiogramas tomados por el Dr. Isaac Starr. Reproducidos con autorización de: Starr I, Rawson AJ, Schroeder HA, Joseph NR. *Studies on the estimation of the cardiac output in man, and of abnormalities in cardiac function, from the heart's recoil and the blood's impacts; the ballistocardiogram. Am J Physiol 1939; 127: 1-28.*

importancia fundamental para la interpretación adecuada de los estudios. Henderson y Bixby del Departamento de Investigación de la Universidad de Pennsylvania, en Filadelfia, plantearon otra alternativa de registro usando un microscopio, lo que aseguraba una buena calibración del instrumento; esta fue una modificación que realizaron sobre el balistocardiógrafo directo de Dock y Taubman (12). En la figura 4 se observa el esquema del balistocardiógrafo de Bixby y Henderson.

Las ondas del balistocardiograma

Desde los comienzos de la balistocardiografía se relacionó el registro con los eventos que ocurrían en el corazón y en la aorta durante las diferentes fases del ciclo cardiaco. Hamilton y Dow describieron en 1941 la contribución de los componentes del ventrículo y de la aorta en la génesis de las ondas del balistocardiograma (Figura 5) (13). Su correlación con la naciente fonocardiografía y el registro del pulso carotídeo, fue fundamental para establecer con mayor precisión el significado de las diferentes ondas (14). Se hizo una nomenclatura en orden alfabético y se identificaron algunas relaciones temporales como la sincronía de la onda H con el primer ruido cardiaco, que describió Detalla (15). Luego, autores como Thompson, Rappaport y Sprague, del *Massachusetts General Hospital* de Boston, reconocieron importantes detalles como la relación entre la onda F y la contracción auricular, que la onda G indica la apertura de las válvulas semilunares, la onda H coincide con el cuarto componente del primer ruido, lo cual se relaciona con la aceleración de la sangre hacia los grandes vasos, la onda J durante la sístole temprana (fase eyectiva) y la relación de la onda K con el cierre de

las válvulas semilunares (16) (Figura 5). Otro aporte importante del Dr. Starr fue comprobar que la balistocardiografía era una técnica que permitía estimar el gasto cardiaco (6), hipótesis que se confirmó pocos años después cuando se comparó con los resultados obtenidos mediante el cateterismo cardiaco (17). Se utilizó el área bajo las ondas I y J para aplicar la fórmula: $\text{volumen latido} = 100 \cdot (2I + J) \cdot (\text{duración del ciclo})$ (18).

Utilidad del balistocardiograma

Muy poco tiempo después de su invención, se demostró que el balistocardiograma se encontraba alterado en los pacientes con insuficiencia cardiaca (19), con lo cual el Dr. Starr convertía su invento en una herramienta útil para el seguimiento de la efectividad de la terapéutica empleada. En los años siguientes se reconoció su utilidad en la evaluación de diversas enfermedades del corazón, por ejemplo en enfermedades valvulares como la insuficiencia aórtica, en la enfermedad coronaria y en la cardiopatía hipertensiva (20). Con el advenimiento de nuevas técnicas que simplificaron la medición no invasiva de la función ventricular y del gasto cardiaco, la balistocardiografía se usó menos hasta desaparecer de los servicios de cardiología.

Balistocardiógrafo de Luis Carlos Barón Plata

Luis Carlos Barón Plata (1922-1991), médico bogotano, terminó sus estudios de Medicina y de Cardiología en Río de Janeiro, donde tuvo la oportunidad de trabajar con las técnicas disponibles en la época para el diagnóstico no invasivo de la Cardiología. Realizó numerosos fonocardiogramas y el registro de pulsos carotídeos,

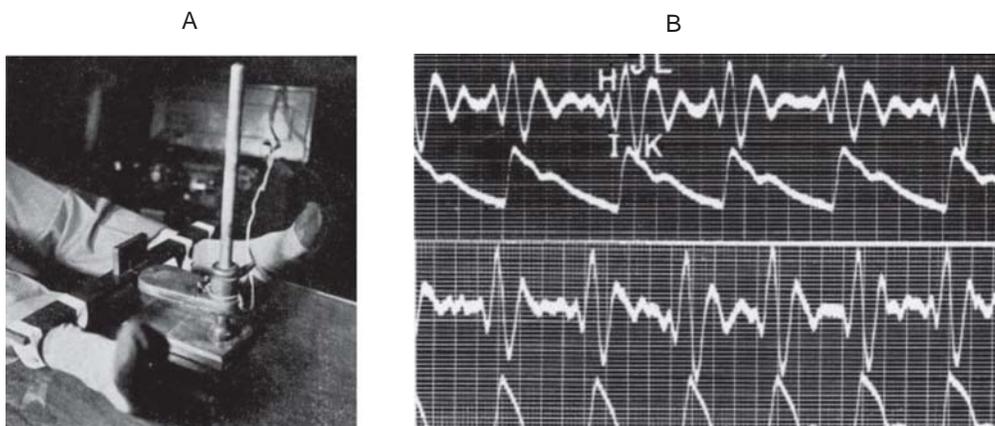


Figura 3. A. Balistocardiógrafo directo de Dock y Taubman. El movimiento de las tibias es transmitido al sistema de registro. B. Ondas del balistocardiograma. Tomado con autorización de: Mandelbaum H, Mandelbaum RS. *Studies utilizing the portable electromagnetic ballistocardiograph: i. abnormal HIJK patterns in hypertensive and coronary artery heart disease. Circulation* 1951; 3: 663-673.

pulsos venosos y ápex-cardiograma. En la figura 6 se observan algunos de sus gráficos de fono-mecano-cardiografía. También se familiarizó con la balistocardiografía. Después de su regreso a Bogotá y con el interés de realizar balistocardiogramas, diseñó y elaboró en forma artesanal un balistocardiógrafo directo. Difirió del aparato de Dock y Taubman en la forma de obtener registro de los movimientos corporales: no utilizó las barras sobre las tibias y a cambio diseñó un

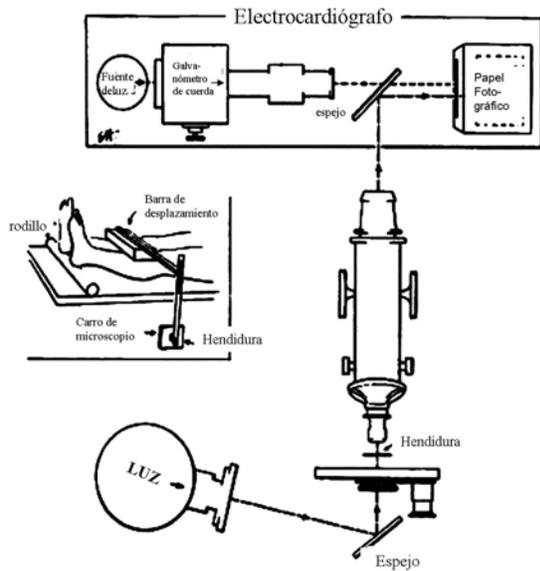


Figura 4. Esquema del uso del microscopio el balistocardiógrafo de Bixby y Henderson; modificación del aparato de Dock y Taubman. Reproducido con autorización de: Bixby EW, Henderson CB. A method of securing the direct body ballistocardiogram by means of a microscope, giving a record readily calibrated. *Circulation* 1953; 8: 578-584.

sensor que se colocaba contra la cabeza para registrar así el desplazamiento del cráneo. Con esto logró captar en forma adecuada las ondas del balistocardiograma.

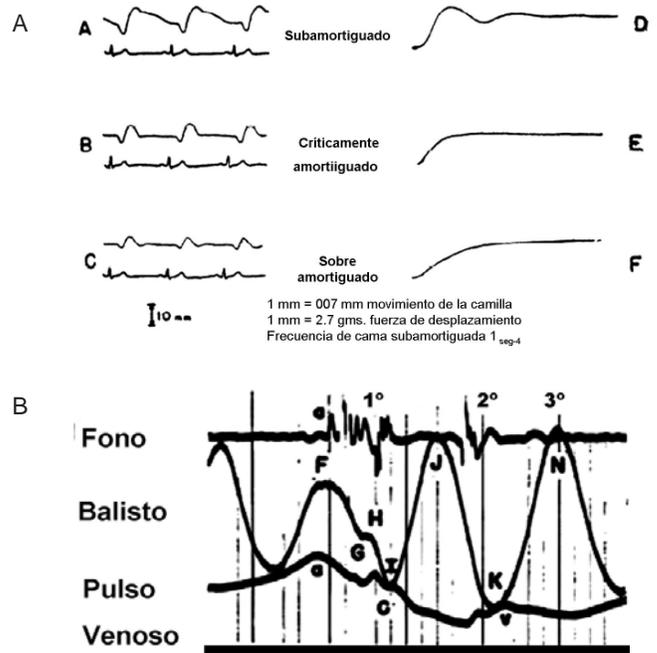


Figura 5. Ondas del balistocardiograma. A. Ondas del balistocardiógrafo, resaltando la importancia de la calibración. Reproducido con autorización de: Nickerson JL, Curtis HJ. *The design of the ballistocardiograph. Am J Physiol* 1944; 142 (1): 1-11. B. Relación temporal de las ondas con el fonocardiograma. Reproducido con autorización de: Thompson WB, Rappaport MB, Sprague HB. *Ballistocardiography. II The normal ballistocardiogram. Circulation* 1953; 7: 321-328.

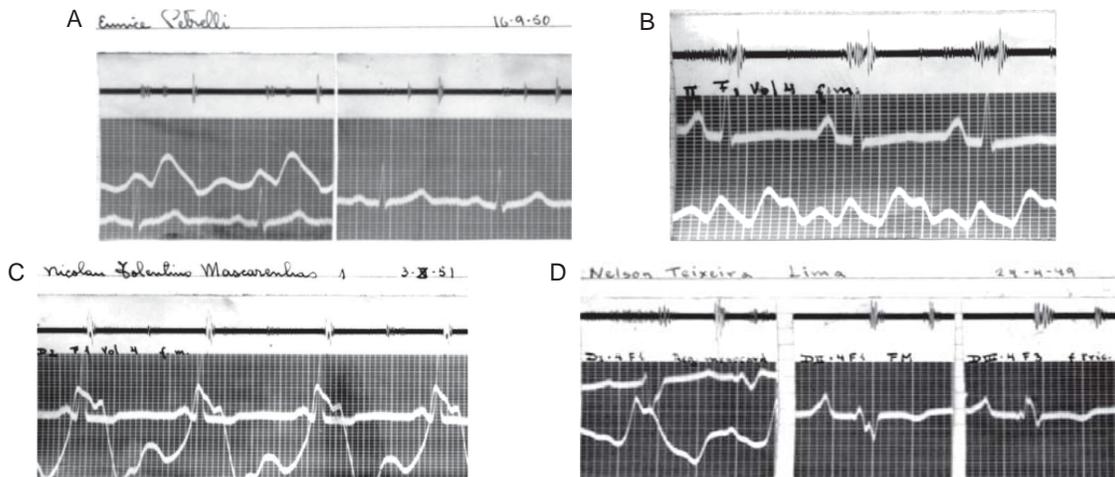


Figura 6. Registros realizados por el Dr. Luis Carlos Barón: A: Fonocardiograma y pulso carotídeo. B: Fonocardiograma y pulso venoso. C y D: ápex-cardiogramas.

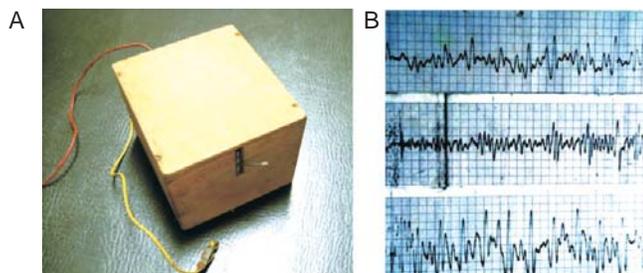


Figura 7. A. Balistocardiógrafo de Luis Carlos Barón. B. Balistocardiogramas realizados por el Dr. Barón con su balistocardiógrafo.

La construcción fue austera; el delicado instrumento se terminó en una cubierta externa de madera y con tornillos a la vista. Se conectaba mediante dos cables al electrocardiógrafo. Con ese aparejo logró hacer registros de balistocardiogramas en forma satisfactoria. En la figura 7 se observa una fotografía del balistocardiógrafo y de algunos balistocardiogramas obtenidos. El Dr. Barón presentó su dispositivo a la comunidad médica colombiana en el «Primer Curso de Información Sobre Medicina y Cirugía Cardiovascular Para Postgraduados» que se realizó en Bogotá en marzo de 1958.

Conclusiones

La energía transmitida por el paso de la sangre desde el corazón hacia los grandes vasos, origina movimientos del cuerpo. El registro de estos finos desplazamientos corporales ayudó a estimar el gasto cardíaco y la severidad de enfermedades cardiovasculares a comienzos y mediados del siglo XX. Con el desarrollo de métodos más sencillos y precisos para observar y cuantificar la fisiología del corazón, la balistocardiografía perdió popularidad y ha desaparecido de casi todos los servicios de cardiología.

Agradecimiento

A Elizabeth Cornejo por su ayuda bibliográfica.

Bibliografía

- García M. Balistocardiógrafo. En; Medicopedia. El Diccionario Médico Interactivo de PortalesMedicos.com. http://www.portalesmedicos.com/diccionario_medico/index.php/Balistocardiografo.
- Ballistocardiograph. En: Wikipedia. The free Encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Balistocardiograph>
- Bakken Library and Museum. Artifacts Database. Ballistocardiograph, Air-Bearing, 88.19.
- Gordon JW. On certain molar movements of the human body produced by the circulation of the blood. *J Anat Physiol* 1877; 11: 533.
- Lampert H. The origin of ballistocardiograph. *Science* 1941; 93 (2413): 305.
- Henderson Y. The mass-movements of the Circulation as shown by a recoil curve. *Am J Physiol* 1905; 14: 284.
- Obituaries. Dr. Isaac Starr, 94, Heart Researcher dies. *New York Times* 1989.
- Starr I, Rawson AJ, Schroeder HA, Joseph NR. Studies on the estimation of the cardiac output in man, and of abnormalities in cardiac function, from the heart's recoil and the blood's impacts; the ballistocardiogram. *Am J Physiol* 1939; 127: 1-28.
- Dock WN, Taubman F. Some technics for recording the ballistocardiogram directly from the body. *Am J Med* 1949; 7: 751.
- Mandelbaum H, Mandelbaum RS. Studies utilizing the portable electromagnetic ballistocardiograph: i. abnormal HJK patterns in hypertensive and coronary artery heart disease. *Circulation* 1951; 3: 663-673.
- Nickerson JL, Curtis HJ. The design of the ballistocardiograph. *Am J Physiol* 1944; 142 (1): 1-11.
- Bixby EW, Henderson CB. A method of securing the direct body ballistocardiogram by means of a microscope, giving a record readily calibrated. *Circulation* 1953; 8: 578-584.
- Hamilton WF, Dow P. Cardiac and aortic contributions to the human ballistocardiogram. *Am J Physiol* 1941; 133: 313..
- Rappaport MB, Sprague HB. The graphic registration of the normal heart sounds. *Am Heart J* 1942; 23: 591.
- DeLalla VL Jr, Epstein IA, Brown HR. Analysis of the H wave of the ballistocardiogram. *Circulation* 1950; 2: 765.
- Thompson WB, Rappaport MB, Sprague HB. Ballistocardiography. II The normal ballistocardiogram. *Circulation* 1953; 7: 321-328.
- Nickerson JL, Warren JV, Brannon ES. Cardiac output in man; studies with the low frequency, critically-damped ballistocardiograph and the method of right atrial catheterization. *J Clin Investigation* 1947; 26: 1-10.
- Paine RM, Shock NW. The variability of cardiac output estimations made with the high-frequency undamped ballistocardiograph. *Circulation* 1950; 1: 1026-1031.
- Starr L. Clinical studies; with the ballistocardiograph in congestive failure, on digitalis action, on changes in ballistic form, and certain acute experiments. *Am J Med Sc* 1941; 202: 469-485.
- Mathers JA, Nickerson JL, Fleming TC, Patterson MC. Abnormal ballistocardiographic patterns in cardiovascular disease as recorded with the low-frequency, critically-damped ballistocardiograph. *Am Heart J* 1950; 40 (3): 390-400.