

Estudio del punto de reflexión de la onda de presión

Dr. ANIBAL INTROZZI (h.) y Dra. GLORIA DUHALDE DE INTROZZI

RESUMEN

Se efectuaron registros de presión a lo largo de aorta e ilíacas en tres perros a los efectos de reproducir la experiencia de Mc Donald. Se llevó a cabo análisis de Fourier de todas las ondas registradas. Se comprobó la existencia de amplificación progresiva de la 1ra. armónica y nodos y vientres regularmente distribuidos en la 2a., 3a., 4a. y 5ª.

Se concluye que:

- a) La principal causa de amplificación de la presión diferencial a lo largo de la aorta es la reflexión de la onda.
- b) La reflexión sería de tipo cerrado y a nivel del lecho femoral.
- c) La biturcación aórtica sería un punto de reflexión parcial.
- d) En caso de existir $1/4$ de longitud de onda para la primera armónica entre el corazón y el punto de reflexión, el corazón afrontará el mínimo de oscilación de presión.

La onda de presión que genera el V.I. sufre a lo largo de la aorta un cambio en su configuración que consiste en un aumento progresivo de la presión diferencial (Figura N° 1). Si bien la presión media se mantiene prácticamente sin alterarse desde la aorta torácica hasta las arterias ilíacas, se verifica a lo largo de dicho recorrido un aumento progresivo de la presión sistólica y un descenso de la diastólica. Es así que la presión sistólica en la ilíaca es normalmente un 10 a un 20 % más elevada que en la aorta suprasigmoidea. La ampli-

ficación de la presión diferencial se debería a dos diferentes causas:

- a) La aorta aumenta normalmente su rigidez a medida que se aleja del corazón. Es así que las ilíacas son más rígidas que la aorta abdominal y ésta lo es más que la torácica.
- b) Existiría reflexión de la onda de presión a nivel de las ilíacas y/o del lecho femoral.

El fenómeno de la reflexión de ondas en tubos ha sido profundamente analizado por Mc Donald (1), razón por la cual haremos un breve resumen.

LONGITUD DE ONDA - La longitud de onda de un fenómeno oscilatorio es:

$$\text{Longitud de onda} = \frac{\text{Velocidad de propagación}}{\text{Frecuencia}}$$

En nuestro caso velocidad de propagación es la velocidad de la onda de presión a lo largo de aorta e ilíacas y frecuencia es la frecuencia cardíaca.

PUNTO DE REFLEXION

Toda onda que se propaga en un cierto medio (onda incidente), al llegar a una discontinuidad en dicho medio (punto de reflexión) genera una onda que se traslada a partir de dicho punto en sentido contrario a la incidente (onda reflejada). En nuestro caso la onda incidente es la producida por el V.I. que

al llegar a una discontinuidad generaría una onda reflejada que se trasladaría en sentido contrario, es decir, hacia el corazón.

La aorta presenta a nivel de la bifurcación una discontinuidad por: a) cambio de dirección de la corriente; b) mayor rigidez de las ilíacas respecto de la aorta abdominal.

A partir de la bifurcación, las arterias se subdividen rápidamente en múltiples ramas arteriolares de calibre muy pequeño (arterias musculares y arteriolas) de mayor rigidez que las arterias elásticas (Patel y Greenfeld) (2). Es decir que la onda de presión, que venía discurrendo a través de tubos elásticos de gran calibre, pasa a un medio de múltiples tubos finos de mayor rigidez que se comportan como una resistencia semejante a una estenosis.

En resumen, la onda de presión pasa a nivel de la bifurcación una discontinuidad de tipo cerrado y a nivel del lecho arteriolar otra discontinuidad del mismo tipo pero más marcada.

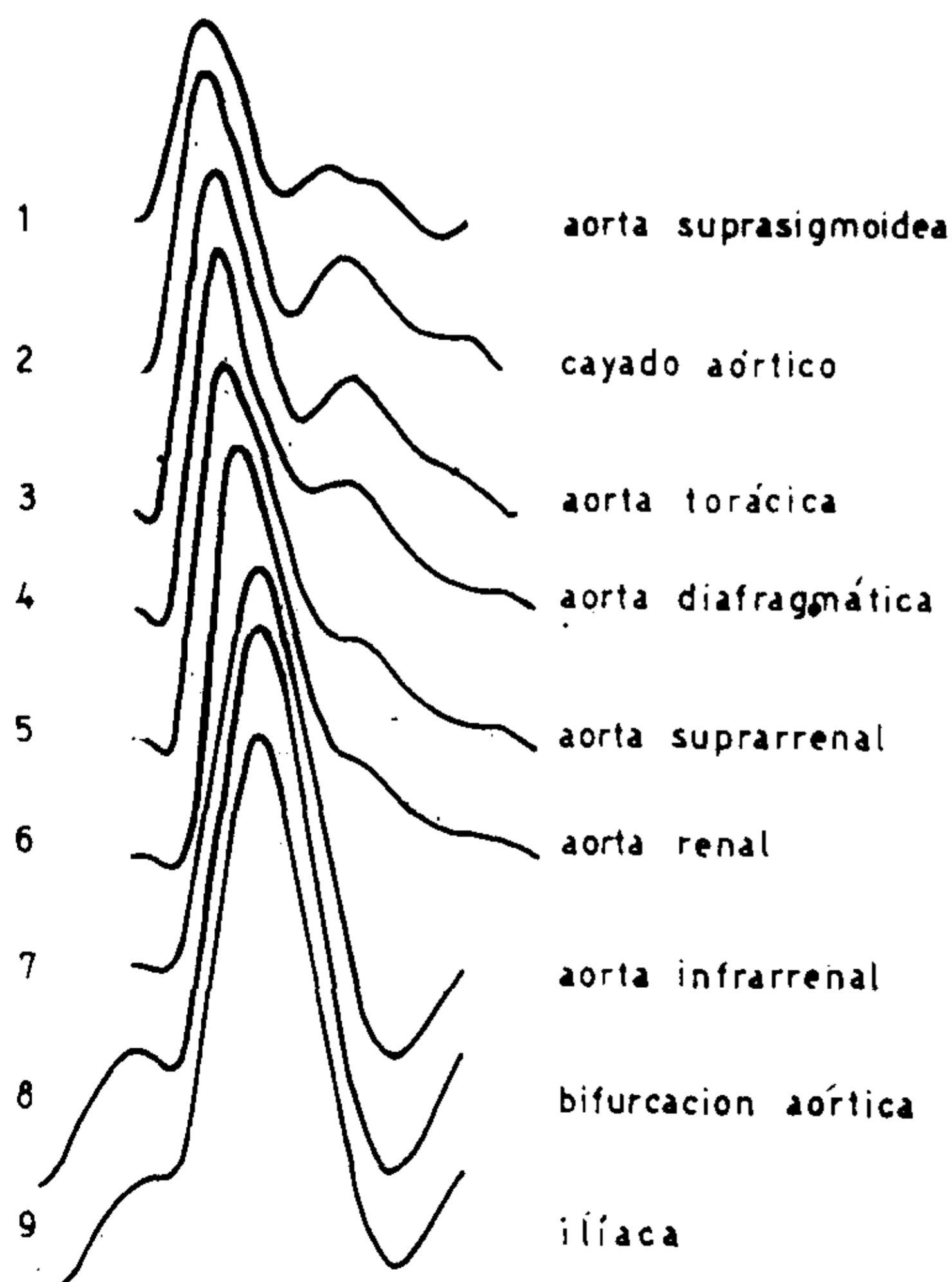


Fig. 1. — Configuración de la onda de presión de un perro a lo largo de aorta e ilíacas.

REFLEXION DE ONDAS SENOIDALES EN TUBOS ELASTICOS

La onda más apropiada para estudiar el fenómeno de reflexión es la senoidal pues tiene una sola componente. Cuando una bomba genera una onda de presión senoidal que se propaga a través de un

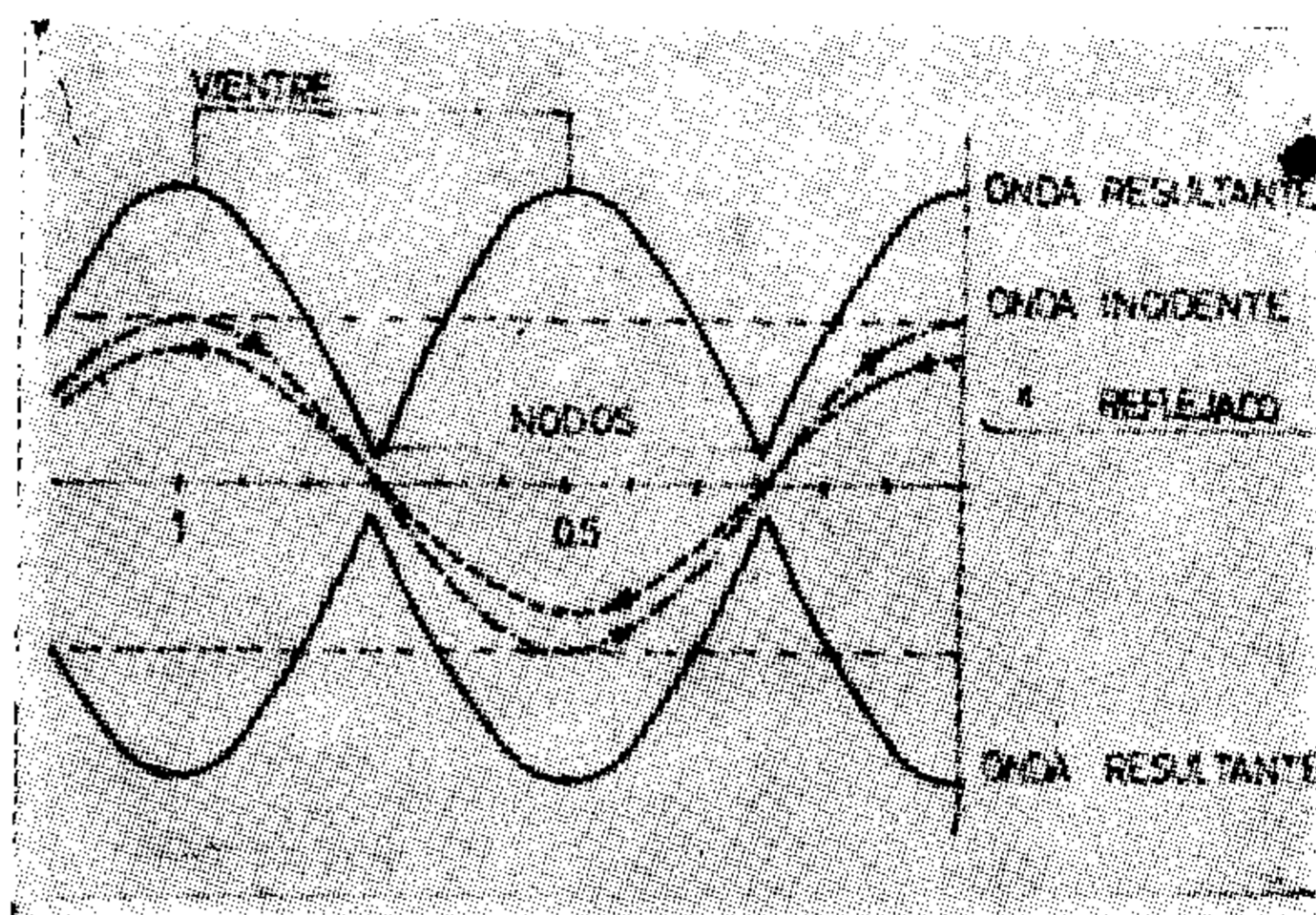


Fig. 2. — Reflexión de una onda de presión senoidal en un extremo cerrado. Modificado de Mc Donal (1).

tubo elástico al llegar a un punto de reflexión cerrado se genera una onda reflejada que en dicho punto se suma a la incidente.

A medida que la reflejada se aleja hacia la bomba se va restando a la incidente y si la reflexión fue total, a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda del punto de reflexión se anulan mutuamente (fig. 2). En dicho punto, denominado nodo, la oscilación de presión es cero. Si la reflexión no fue total existirá allí un nodo relativo que será el punto de mínima oscilación de presión. A partir del nodo y en dirección a la bomba la reflejada y la incidente comienzan a sumarse nuevamente hasta que a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda del nodo, se suman totalmente al igual que en el punto de reflexión produciéndose así un máximo de oscilación de presión que se denomina vientre.

Como se ve, a partir del punto de reflexión existen, separadas por $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, nodos y vientres que se alternan sucesivamente y que serán ab-

solutos o relativos según la reflexión sea total o parcial, respectivamente.

REFLEXION DE ONDAS EN EL CIRCUITO ARTERIAL

La existencia de reflexión de ondas en el circuito arterial ha sido sostenida por diversos autores, entre ellos Wezler y Boger (3), Hamilton y Dow (4), Wetterer (5) y más recientemente por Mc Donald. Este último autor considera que el punto de reflexión principal es la bifurcación aorto-ilíaca que se comportaría como punto de reflexión cerrado-parcial.

El método utilizado para la demostración ha sido el registro de la onda de

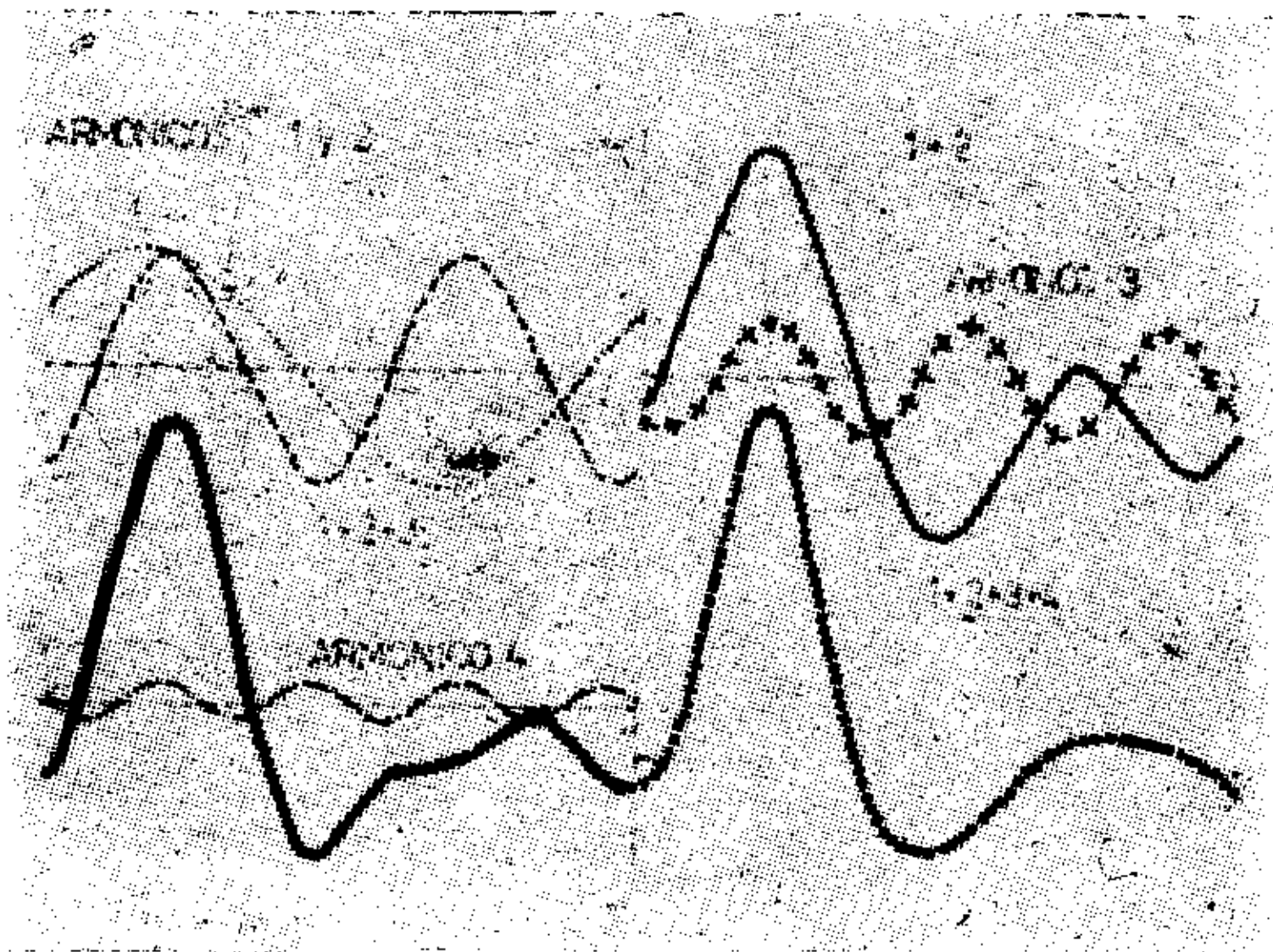


Fig. 3. — Análisis de los componentes armónicos de una curva. Modificado de Mc Donald (1).

presión en distintos puntos de la aorta e ilíacas, efectuando a posteriori análisis de Fourier de cada una de las curvas obtenidas. Este procedimiento se basa en que la onda de presión no es una senoidal, de manera que la presencia de nodos y vientres que verifiquen la existencia de reflexión sólo puede obtenerse "descomponiendo" la onda de presión en una serie de senoidales que puedan ser analizadas por separado (fig. 3). Se obtienen así una serie de armónicas de distinta frecuencia; la primera de frecuencia igual a la de la onda analizada, la segunda del doble de frecuencia, la tercera del triple, etc. Al ser de distinta frecuencia, cada armónica tiene una longitud de on-

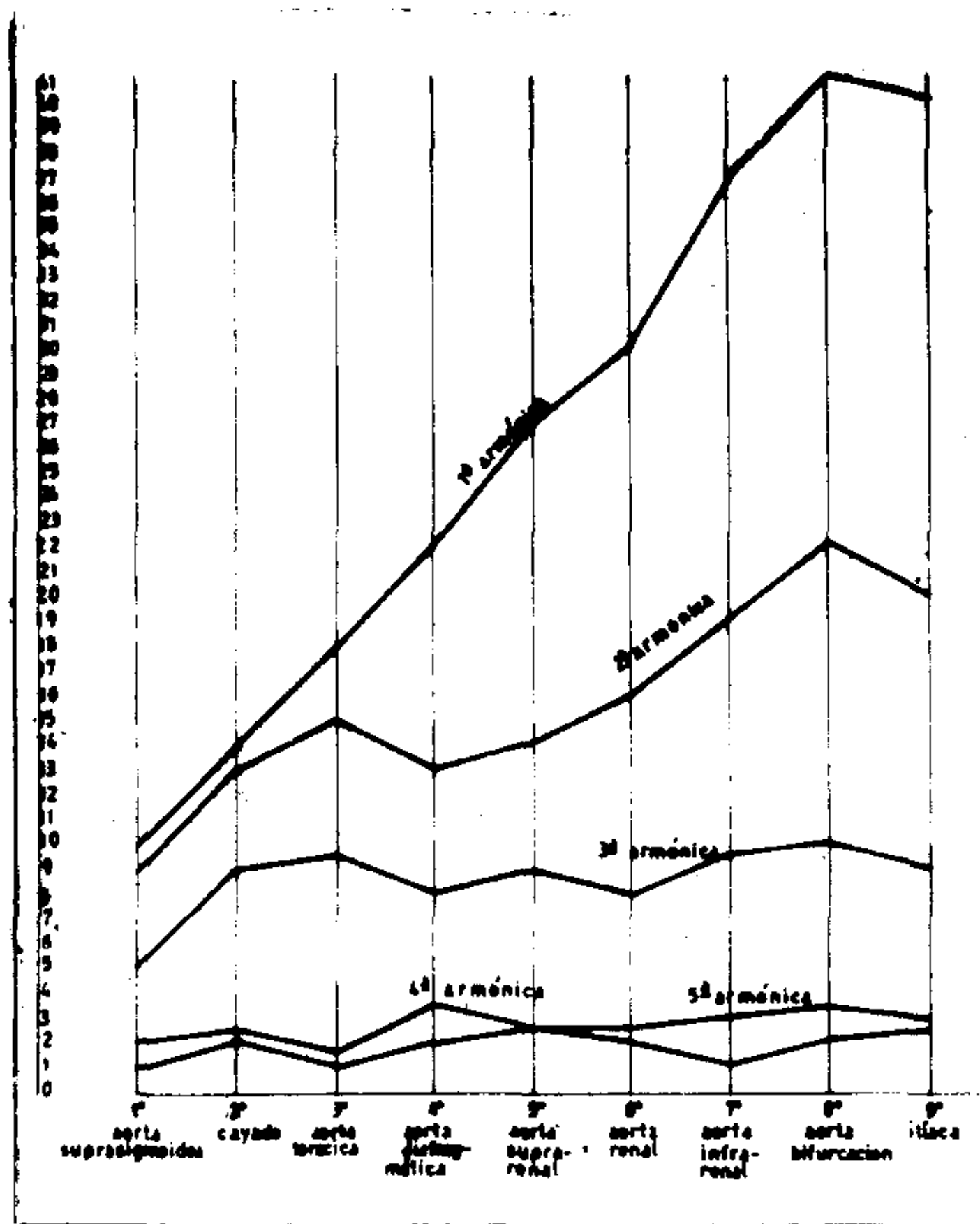


Fig. 4. — Módulo de la 1ª, 2ª, 3ª, 4ª y 5ª armónica en cada uno de los puntos de registro de la onda de presión.

da diferente, que es más corta cuanto mayor su frecuencia, de manera que de existir reflexión, la distancia entre vientre y nodo de la primera armónica es mayor que esa distancia en la segunda y así sucesivamente. La suma de todas las armónicas en que ha sido descompuesta una curva da como resultado la curva analizada.

De existir reflexión cerrada en el sistema arterial se verificará que: 1º) la amplitud de cada armónica será máxima en el punto de reflexión; 2º) a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda del punto de reflexión, cada armónica tendrá un punto de mínima oscilación (nodo).

ESTUDIO EXPERIMENTAL

Objetivo: Se efectuó el presente estudio a fin de reproducir las experiencias de Mc Donald a los efectos de verificar la participación de la reflexión en la amplificación de la onda de presión a lo largo de la aorta.

Material y método: Se efectuaron registros de presión en aorta e ilíacas en

tres perros de 15 a 20 kg de peso. Se utilizó cateterismo femoral, con un transductor Sanborn 267 B.C., registrándose a una velocidad de 200 mm por segundo en un registrador Sanborn modelo 560. Las curvas de presión fueron de: 1º) aorta suprasigmoidea; 2º) cayado aórtico; 3º) aorta torácica; 4º) aorta diafragmática; 5º) aorta suprarrenal; 6º) aorta renal; 7º) aorta infrarrenal; 8º) bifurcación aorto-ilíaca; 9º) ilíaca primitiva.

Procesamiento de las curvas: El análisis de Fourier se efectuó siguiendo el esquema matemático publicado por Mc Donald. Se calcularon las primeras 18 armónicas de todas las curvas, a partir de las cuales se recompusieron las curvas originales, con un 96 % de fidelidad. El cálculo se hizo con una computadora digital modelo Dull-General Electric.

RESULTADOS

Se observa en la figura N° 1 la progresiva amplificación de la presión diferencial. Se efectuó el cálculo de velocidad de propagación a lo largo de aorta e ilíacas y se encontró que la velocidad total era de 450 cm/s. Dicha velocidad no fue igual a lo largo de todo el recorrido sino de aproximadamente 400 cm/s. en aorta torácica, 500 cm/s. en aorta abdominal y 700 a 800 cms en ilíacas. En femorales creemos que llega a 1.000 cm/s., cifras éstas que coinciden con las publicadas por Mc Donald.

En la figura N° 4 se grafica el módulo (o amplitud) de cada una de las primeras cinco armónicas en cada registro. Se comprueba un aumento progresivo de la primera desde el corazón hasta la bifurcación, con una pequeña caída en ilíaca. Efectuado el cálculo de longitud de onda, se encontró que entre el corazón y la ilíaca externa o femoral, existe $\frac{1}{4}$ de longitud de onda. La 2ª armónica crece a partir del corazón y presenta un nodo a nivel del diafragma, a partir de donde

aumenta nuevamente hasta llegar a un máximo a la altura de la bifurcación, con una pequeña disminución en ilíaca. La 3ª, 4ª y 5ª aumentan y disminuyen su amplitud con frecuencia creciente pues son de longitud de onda cada vez más corta.

CONCLUSIONES

Coincidiendo con lo publicado por Mc Donald, el análisis armónico de las curvas de presión registradas a lo largo de aorta e ilíacas revela que la amplificación de la presión diferencial se debería principalmente a la reflexión de la onda de presión pues existen nodos y vientres alternados regularmente. Al parecer la bifurcación aorto-ilíaca se comporta como un punto en que se refleja parcialmente la onda de presión pues la amplitud de cada armónica es máxima en dicho punto con un ligero descenso en ilíaca. Pero de ser éste el punto principal y único de reflexión debería existir un mucho más marcado descenso de la amplitud de las armónicas en las ilíacas, hecho éste que no se comprueba. El nodo de la 2ª armónica se halla en la mitad del recorrido entre corazón y bifurcación, lo que haría pensar que dicha zona sería el punto de reflexión principal. Pero debe tenerse presente que la velocidad de propagación de la onda aumenta en forma marcada (de 400 a 800 cm/s) a lo largo de aorta e ilíacas, ello tendría como consecuencia que el nodo no se ubicará a una distancia equivalente a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, sino que se correrá hacia el origen (corazón). Por las razones expuestas creemos que la bifurcación aórtica es un punto de reflexión parcial de la onda, siendo el punto principal más lejano, probablemente a la altura del lecho femoral.

La reflexión de tipo cerrado a nivel del lecho femoral, cuando la velocidad de propagación y la frecuencia cardíaca son tales que entre el corazón y el punto de

reflexión existe $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, tiene como efecto que el corazón se encuentra en un nodo de la primera armónica. Si se tiene presente que la primera armónica es la principal componente de la onda de presión y si el corazón se encuentra en un nodo, a nivel de las válvulas aórticas se producirá el mínimo de oscilación de presión. Es decir que el efecto de la reflexión en las circunstancias descritas coloca al corazón en la situación de afrontar el mínimo de oscilación de presión diferencial.

Agradecimiento: Los autores agradecen al Ing. R. Mariscano, quien a través del Departamento de Física de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, efectuó el análisis de Fourier de las curvas de presión.

SUMMARY

Pressure registers were performed along the aorta and the iliac arteries of three dogs, so as to reproduce Mc. Donald's experiments. A Fourier analysis of all the registered waves was accomplished. The existence of a pro-

gressive amplification was verified on the harmonic, as well as regularly distributed nodes and maximums on the 2nd., 3rd., 4th. and 5th. harmonics.

The arisen consequences were the following:

- I) Wave reflection is the principal cause of the amplification of differential pressure along the aorta.*
- II) The reflection would be a closed-end type, located at the femoral layer.*
- III) The aortic bifurcation would be a partial reflection point.*
- IV) In case of existence of $1\frac{1}{4}$ wave length between the heart and the reflection point for the first harmonic, the heart will confront the minimum pressure oscillation.*

BIBLIOGRAFIA

1. Mc Donald, D.: Blood Flow in Arteries: Edward Arnold, London, 1960.
2. Patel, D.; Greenfield, J. and Fry, D.: Pulsatile Blood Flow - Mc Grow-Hill Book Company, New York, 1964.
3. Wezler, K.; Boger, A.: Die Dynamik des arteriellen Systems. *Ergebn. Physiol.*, 41, 292-606, 1929.
4. Hamilton, W. and Dow, P.: An Experimental Study of the Standing Waves in the Pulse Propagated Through the Aorta. *Amer. J. Physiol.*, 125, 48-59, 1939.
5. Wetterer, E.: Die Wirkung der Herzschlag auf die Dynamik des Arteriensystems. *Verh. dtsch. Ges. Kreislaufforsch.* 22 Tagung, 26-60, 1956.

Trombosis arterial pulmonar

Dres. JOSE ANDRÉS MARTINEZ MARTINEZ, ALFREDO BUZZI, JORGE FRANCHELLA
y FRANCISCO CELESTE

RESUMEN

Se presenta un estudio clínico y anatomopatológico de nueve casos de trombosis de ramas de la arteria pulmonar, con el propósito de establecer sus posibilidades diagnósticas y patogénicas. En cinco enfermos estaba afectada la rama derecha, en dos la rama izquierda y en las dos restantes estaban involucradas ambas ramas de la arteria pulmonar. Cinco pacientes tenían enfermedad cardiovascular y cuatro afecciones pulmonares. En seis de los nueve casos se desarrollaron infartos de pulmón. Esta entidad se presenta

generalmente en pacientes con enfermedad cardíaca o pulmonar establecida. El cuadro clínico es el de un infarto pulmonar con ausencia de fuente embolígena y existencia de lesiones pulmonares locales previas.

INTRODUCCION

La entidad anatomoclínica de trombosis autóctona de las arterias pulmonares es menos conocida que el cuadro similar de origen embólico. Sin embargo los estudios anatomopatológicos han demostrado que su incidencia no es despreciable.

El conocimiento de esta enfermedad es importante por la agravación de una enfermedad cardiopulmonar preexistente

VII Cátedra de Medicina - Hospital de Clínicas "José de San Martín". Prof. Dr. Víctor R. Miatello.

II Cátedra de Anatomía Patológica - Facultad de Medicina U.N.B.A. Prof. Dr. E. Porta.