

# VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LAS DISTINTAS ONDAS DEL PULSO VENOSO \*

por el doctor

AGUSTIN CAEIRO

El estudio de la velocidad con que se propagan las ondas del pulso venoso, tiene un gran interés.

Ha sido Morrow <sup>1</sup> quien en 1900 estudió cuidadosamente este asunto, obteniendo resultados que hasta ahora han sido citados por los distintos autores. El método por él utilizado consistía en medir la presión venosa con un manómetro de Hürthle en dos puntos a distinta distancia del corazón, apreciar el retardo de las ondas y calcular luego la velocidad, midiendo en el animal muerto la distancia que separa los dos lugares de registro.

El resultado de sus investigaciones es resumido por él en las siguientes conclusiones:

“1° — Las variaciones de presión que tienen lugar en la aurícula y en las venas cavas se propagan en forma centrífuga por las venas del tronco y de las extremidades. La presión y la velocidad de la corriente, por consiguiente, están sujetas a oscilaciones pulsátiles.

“2° — La velocidad de propagación del pulso venoso varía entre 1 y 3 metros por segundo; el pulso venoso, por consiguiente, si se lo compara con el arterial, se propaga con la mitad de la velocidad de éste, si se considera su velocidad máxima; la escasa presión endovenosa y la gran distensibilidad de las paredes venosas pueden ser responsables de los valores reducidos de la velocidad.

“3° — No se comprobó en todos los casos una proporcionalidad directa entre presión y velocidad de propagación del pulso venoso.

“4° — La velocidad de propagación por la vena yugular es por término medio, mayor que hacia la vena crural”.

Creo también de interés el reproducir la tabla XII de su trabajo, donde resume las cifras encontradas en los distintos experimentos:

---

\* Universidad Nacional de Córdoba — R. Argentina. — Instituto de Fisiología. Director Prof. Dr. Oscar Orías.

## CUADRO N° 1

T. M. de las tablas	V	P			
I	270	4.6}	Onda Presistólica	} Vena Yugular	
II	201	8.8}			
III	230	9.1}			
IV	268	4.9}	Onda sistólica		
V	138	7.3}			
VI	223	2.6}	1ª onda diastólica		
VII	103	5.6}			
VIII	115	2.7}	Onda presistólica		
IV	104	2.1}	1ª onda diastólica		} Vena Yugular y Crural
X	118	4.8}			
XI	66	2.3}	2ª onda diastólica		

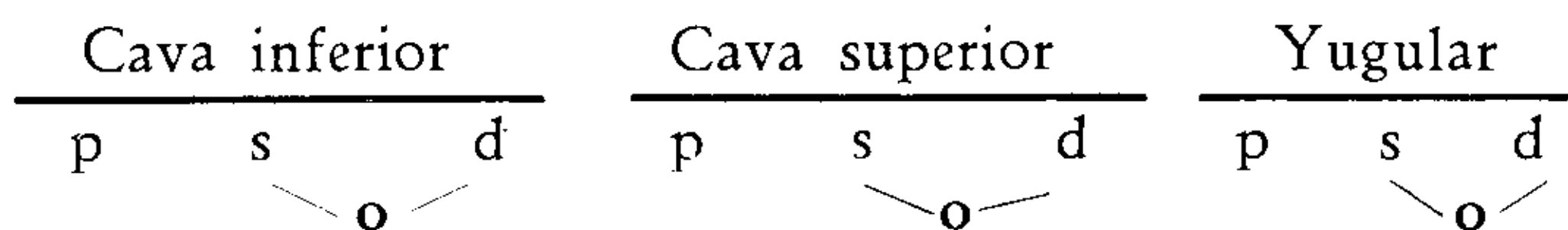
V = Velocidad en centímetros por segundo.

P = Presión en centímetros de agua.

Un hecho que el autor no consigna en el texto y que se observa, sin embargo, claramente en las tablas de los resultados, es la menor velocidad de propagación de la onda diastólica.

En efecto, van Zwaluwenburg y Agnew<sup>2</sup> dicen: "La comparación de los trazados de la yugular externa derecha con los obtenidos simultáneamente de la aurícula derecha introduciendo una sonda a través de la yugular izquierda, muestra que el retardo de la transmisión es considerable y variable. Por ejemplo, entre curvas seleccionadas al acaso del mismo experimento, el retraso de las ondas *a* es 0.079, 0.096 y 0.112 segundos respectivamente, mientras que el retardo de las ondas *v* es 0.173, 0.247 y 0.278 segundos".

Ewing<sup>3</sup> cita resultados de Morrow respecto al mayor retardo de la onda diastólica y lo explica diciendo que ello se debe al distinto origen de los accidentes. En efecto, mientras "p", "s" y "d" (*a*, *c* y porción diastólica de *v* respectivamente) son para él ondas producidas por impactos, "o" (que corresponden al origen de *v* o porción sistólica de la misma) es una onda de estancamiento cuya velocidad de propagación dependerá de la rapidez del aflujo sanguíneo desde la periferia. Según Ewing, esta onda es más precoz mientras más cerca de la aurícula se la registre; él resume esquemáticamente su posición con respecto a las otras ondas en la siguiente forma:



Conociendo estos resultados, hemos estudiado en el perro la velocidad de propagación de las ondas del pulso venoso.

### MATERIAL Y METODO

Utilizamos perros anestesiados con morfina e hidrato de cloral. En la mayoría de los casos se abrió el tórax y los dos puntos, proximal y distal, elegidos para hacer el registro, estaban situados en la vena cava superior. En otros experimentos, el registro se hacía con tórax cerrado y en la vena yugular.

El aparato receptor estaba constituido por un embudo de 25 mm. de

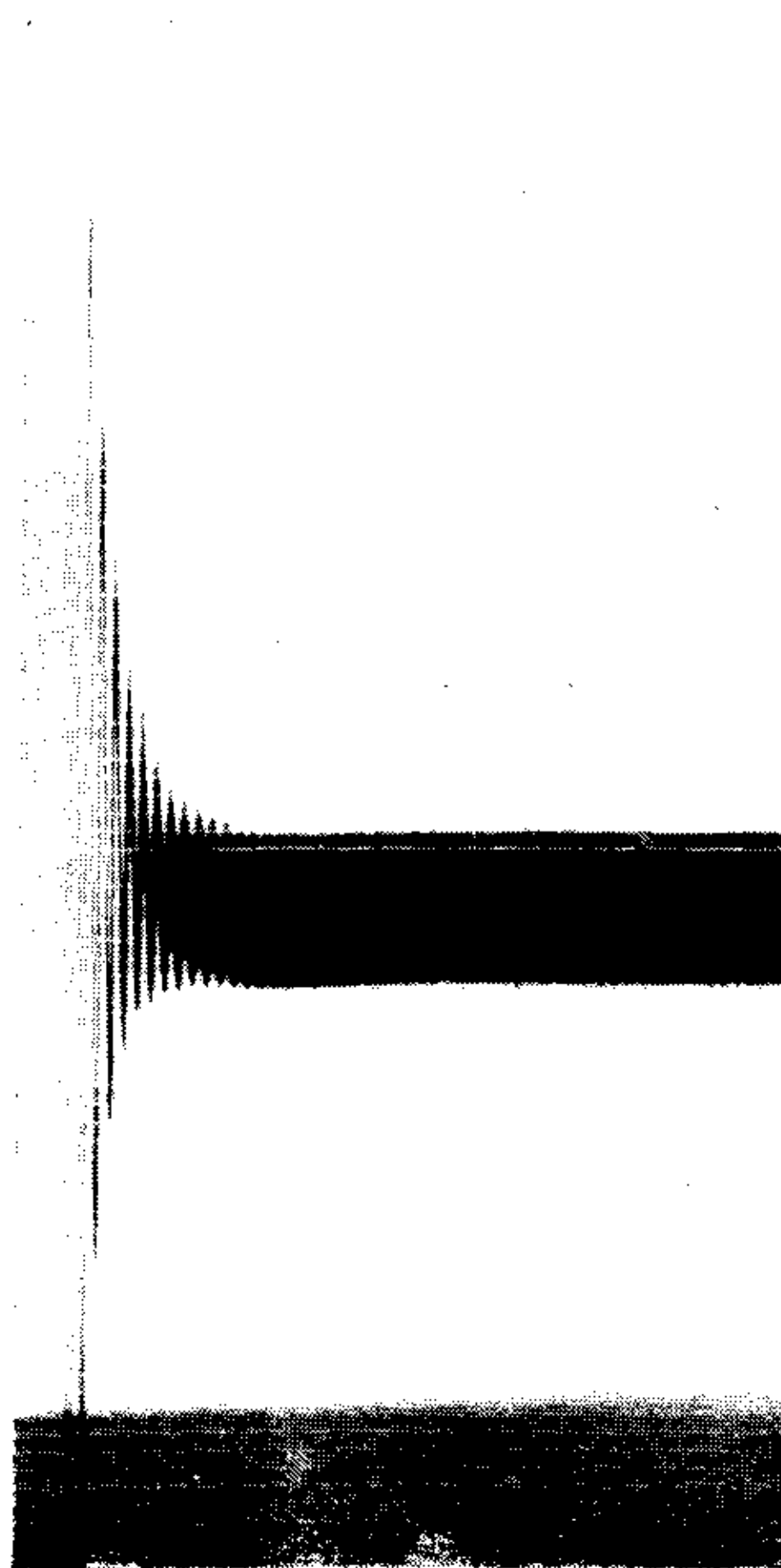


FIGURA 1. — Curva de frecuencia natural del sistema. Frecuencia natural 122 v.p.s. Decremento logarítmico 0.1613. Coeficiente de amortiguamiento 0.051.

diámetro recubierto con goma de condón tensa y en cuyo centro va adherida una pajita que luego se aplica verticalmente y con alguna presión, sobre la pared de la vena cuyas oscilaciones volumétricas se quiere registrar. Un tubo de goma une este embudo con una cápsula de Frank. Aunque teóricamente podía esperarse que las condiciones de eficiencia de este sistema no fueran buenas, por lo que se ve en la curva de su frecuencia natural (fig. 1), lo creemos muy apto para el registro de los fenómenos que nos interesan. En efecto, la frecuencia natural es de 122 v.p.s. y el coeficiente de amortiguamiento es de 0.051.

Sobre dos puntos proximal y distal de una vena separados por una distancia que luego se mide exactamente, se aplican estos aparatos registradores y se sacan

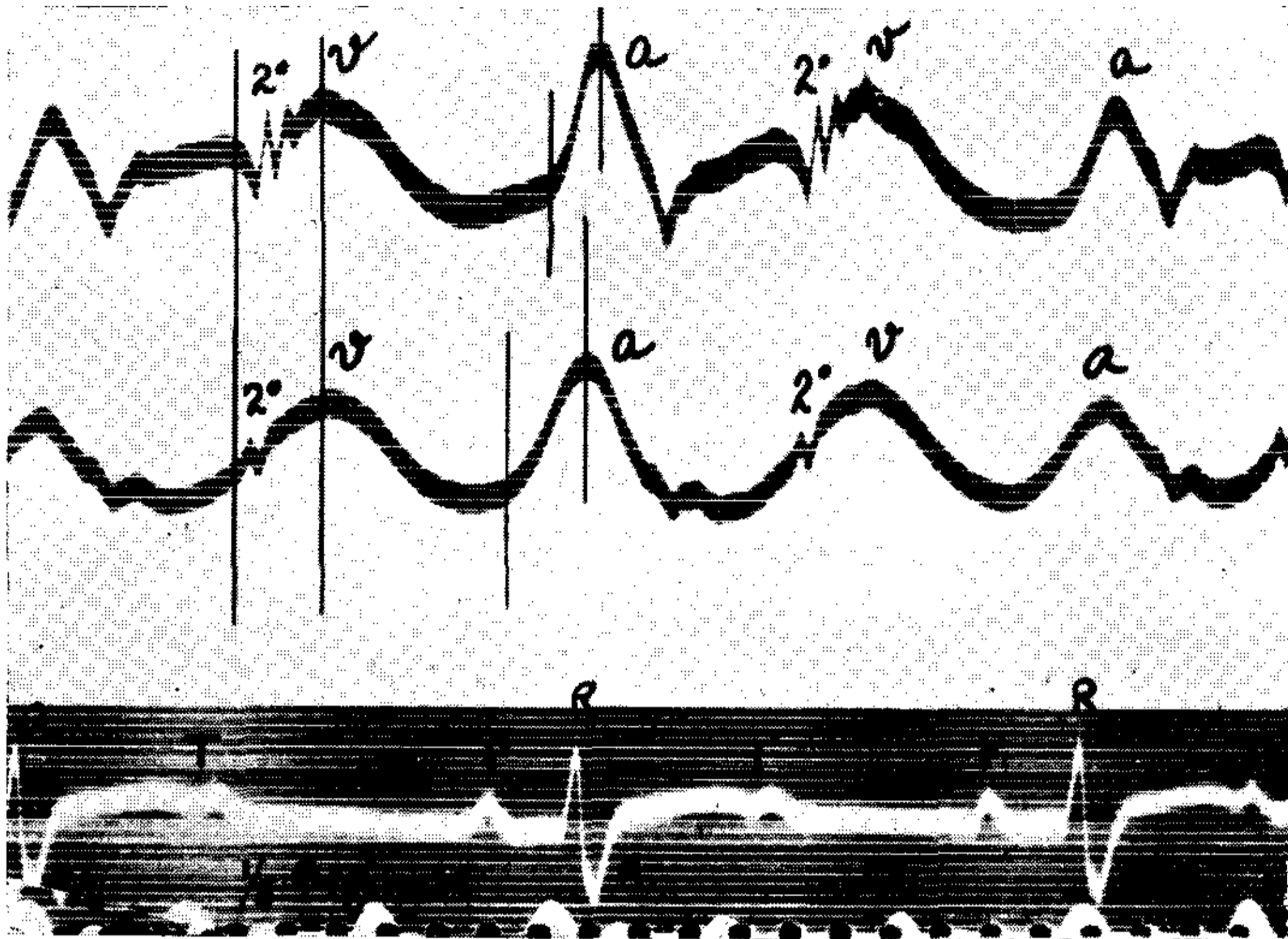


FIGURA 2. — Experimento N° 8 realizado en un perro. Electrocardiograma registrado simultáneamente con el pulso de la vena cava en dos puntos distantes 3.7 cms. uno de otro. Tiempo en quintos de segundos.

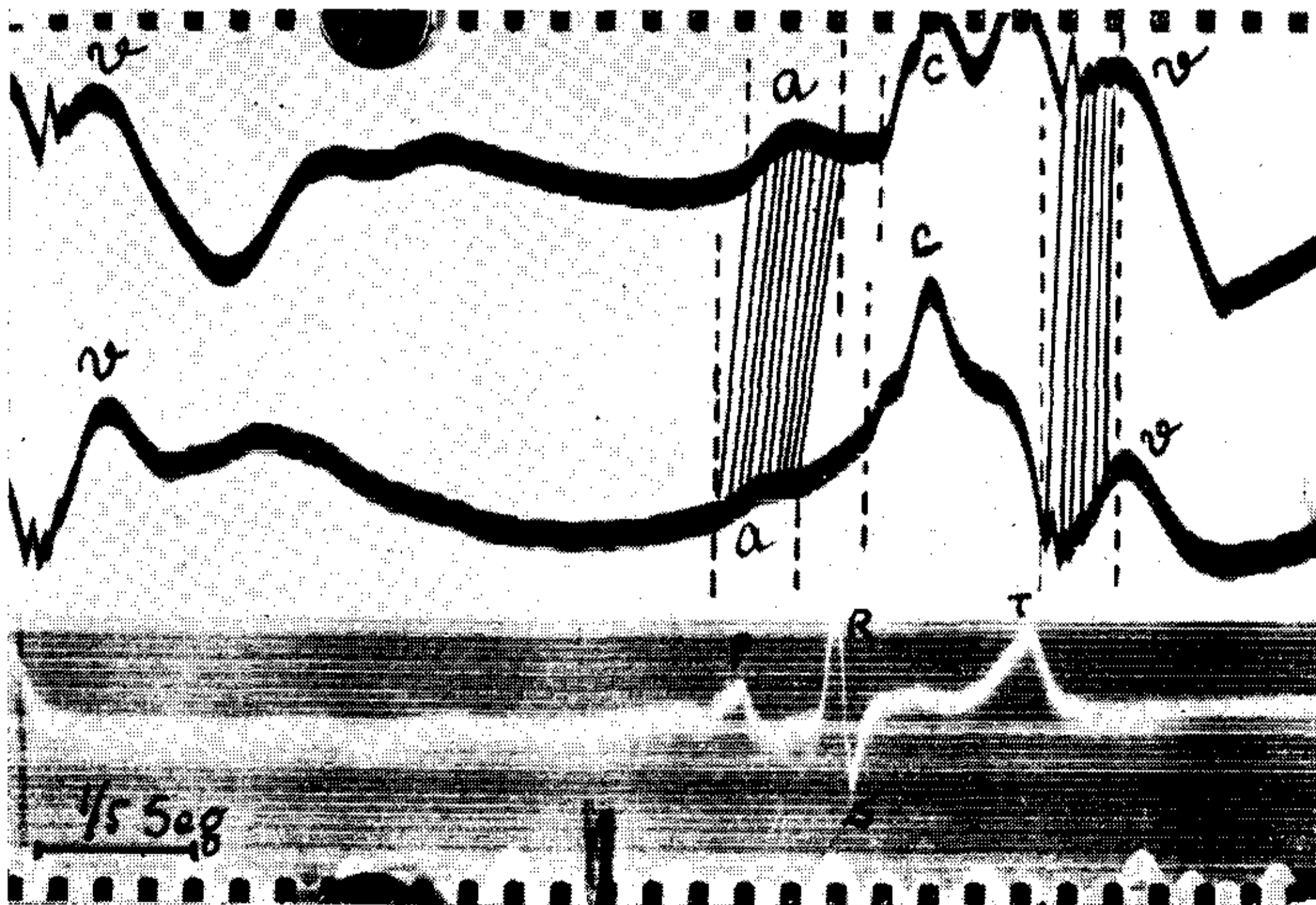


FIGURA 3. — Experimento N° 10 realizado en un perro. Electrocardiograma registrado simultáneamente con el pulso de la vena cava en dos puntos distantes uno de otro 5.2 cms. Las líneas llenas unen los punto equivalentes de ambas curvas. Su grado de oblicuidad objetiva la magnitud del retardo.

los trazados, simultáneamente con la segunda derivación del electrocardiograma, evitando prolijamente el paralaje. El registro se hace con el papel pasando a gran velocidad, lo cual si bien es cierto que hace que las ondas se inscriban muy aplanadas y sus puntos de referencia sean a veces difícilmente individualizables, permite conseguir, sin embargo, un menor margen de error en la medición (Fig. 2 y 3).

Hemos medido así los retardos de la iniciación, vértice y terminación de las distintas ondas y de la huella del segundo ruido, del trazado distal con respecto al proximal. Conocido este retardo y la distancia que separa a los dos puntos de registro, es fácil calcular la velocidad con que se propagan en las venas del perro, los distintos accidentes del pulso venoso.

En total, hemos analizado los trazados de 17 experimentos. En los casos en que no ha sido posible individualizar con precisión alguna onda, se han tenido en consideración sólo aquellos accidentes que podían delimitarse exactamente. La terminación de *a*, el vértice de *c* y la iniciación y el final de *v*, no han podido ser marcadas con exactitud en un número de casos suficiente para permitir un cálculo estadístico significativo.

### RESULTADOS OBTENIDOS

Del análisis de los resultados que se condensan en el cuadro 2, hay dos hechos que llaman la atención. En primer lugar la escasa velocidad con que se propagan las ondas del pulso venoso si se la compara con la de las del pulso arterial y además la distinta velocidad de propagación de los puntos inicial, apical y terminal de cada onda.

En efecto, la velocidad máxima obtenida en los términos medios ha sido de 3.86 metros por segundo para el vértice de *v* y de 4.69 m. p. s. para la muesca del segundo ruido. El término medio más bajo correspondió a la iniciación de *v*, que se propaga con una velocidad de 0.85 metros por segundo. Individualmente, se ha encontrado en el caso 10 una velocidad de propagación del vértice de *v* igual a 10 metros por segundo y en el caso 8 para el segundo ruido 15.4 metros por segundo. Las velocidades más bajas correspondieron al caso 1 y fueron 0.51, 0.52, 0.54 metros por segundo.

En la arteria, la velocidad de la onda del pulso es considerablemente mayor. Según Bramwell, Hill y McSwiney<sup>4</sup>, ella oscila en sujetos normales, entre 5.2 metros por segundo a los 5 años de edad y 8.55 m. p. s. a los 80 años, variando entre 6.2 y 7.2 m. p. s. en la edad adulta comprendida entre los 20 y 40 años. Se ve pues que ella es muy superior a la cifra encontrada para la propagación de las ondas del pulso venoso.

CUADRO N° 2  
VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LAS DISTINTAS  
ONDAS

Casos	Inic. <i>a</i>	Vér- tice <i>a</i>	Final <i>a</i>	Inic. <i>c</i>	tice Vér- <i>c</i>	Inic. <i>v</i>	Vér- tice <i>v</i>	Final <i>v</i>	2º ruido
1	0.65	0.51		0.54		0.52	8.7		1.78
2	{1.29	1.73							
	{0.81	2.10					2.16		2.8
3	{1.40	1.08		2.3			7.—		2.—
	{1.17	0.93							
4		2.—							
5	1.6	1.02					2.85	1.90	2.85
6	1.12	0.97					1.94	1.16	5.8
7	1.96	1.11		2.5					6.1
8	0.80	2.55		2.04			3.05		15.4
9	{1.02	0.87				0.89			4.16
	{					0.86	1.35		
10	1.53	1.75	1.04	2.03			10.1	0.81	3.37
11	1.82	1.68		1.75	1.75			1.75	3.22
12	0.82	0.78							
13	0.60	0.75		0.65			0.95	0.60	1.54
14	1.17				3.07		3.63		3.63
15							3.44		5.3
16									8.6
17					1.80	1.15	1.15		3.8
T.M.	1.39	1.40		1.68	2.20	0.85	3.86	1.24	4.69
σ	±0.46	±0.56		±0.78			±3.05		±3.50
E.P.	±0.31	±0.37		±0.52			±2.05		±2.36
E.P.T.M.:									
	±0.08	±0.09		±0.21			±0.62		±0.63

Es necesario resumir cuáles son las condiciones físicas que regulan la velocidad con que se propagan las ondas pulsátiles. Moens<sup>5</sup> en 1878, las condensó en la siguiente fórmula  $V = \sqrt{\frac{E \cdot c}{2 \rho \cdot y}}$

donde  $V$  es la velocidad de propagación de la onda del pulso,  $E$  el módulo de elasticidad de la arteria para la expansión lateral,  $c$  el espesor de la pared arterial,  $\rho$  la densidad de la sangre e  $y$  el radio de la arteria al final de la diástole. Esta velocidad disminuirá pues, cuando el módulo de elasticidad y el espesor de la pared del vaso sean menores y cuando la densidad de la sangre y el diámetro de la luz vascular sean mayores. Bramwell e Hill<sup>6</sup> en 1922, relacionan la velocidad de la onda pulsátil con la elasticidad de la pared vascular en la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{3.57}{\text{porcentaje de aumento de volumen por mm. de Hg. de presión.}}}$$

La fórmula de Moens nos hace ver más detalladamente cuáles son y cómo influyen los distintos factores que condicionan la velocidad de la onda. En cambio la de Bramwell e Hill tiene la ventaja de su mayor simplicidad y de que en un caso clínico cualquiera, conocida la velocidad con que se propaga la onda en un vaso, nos permite calcular directamente el porcentaje de aumento de volumen por milímetro de mercurio de aumento de presión en dicho vaso.

Es necesario tener en cuenta que en las arterias, la onda del pulso se propaga con una determinada velocidad sobre una masa líquida que se mueve más lentamente pero en la misma dirección. En términos absolutos, la velocidad de la onda del pulso debe pues medirse con relación a la velocidad de la corriente y ésta en relación a la arteria. "Por lo tanto, dice Bramwell<sup>7</sup>, cualquier valor determinado experimentalmente representará la suma de la velocidad de la onda en relación a la sangre y la de la sangre en relación a la arteria".

Con todas estas consideraciones es posible explicar por qué en las venas las ondas del pulso se propagan con mucha mayor lentitud que en las arterias. En primer lugar, la pared venosa tiene un módulo de elasticidad y un espesor mucho menores que la de las arterias. Además, el diámetro de las venas es siempre algo mayor que el de las arterias correspondientes. Por último, las ondas pulsátiles en las venas se propagan en sentido contrario al de la corriente sanguínea; aquí pues, un valor determinado experimentalmente, representará la velocidad de la onda, menos la velocidad de la corriente. Como se ve, si queremos deducir de los valores determinados experimentalmente, los verdaderos valores de la velocidad de propagación de la onda del pulso, debemos *restarle* la velocidad de la corriente en el caso del pulso arterial y *sumársela* en el caso del pulso venoso. Ahora bien, la velocidad de la corriente en las venas es muy poco menor que en las arterias respectivas. Según las investigaciones de Flek<sup>8</sup> ella oscila entre 215 y 243 mm. por segundo según la fase respiratoria, en la yugular externa y en 383 y 224 mm. p. s. en la cava superior; en la carótida estos valores oscilan entre 240 y 260 mm. p. s. Si se comparan estas cifras de la velocidad de la corriente en las venas, con las más bajas obtenidas por nosotros para la propagación de las ondas del pulso

en las mismas, vemos como aquéllas pueden tener una influencia apreciable en estos últimos resultados.

La misma distensibilidad de su pared y el mayor diámetro de la vena, hacen que en los distintos momentos de la actividad cardíaca y respiratoria o por variaciones del aflujo sanguíneo desde la periferia, la presión de la sangre dentro de la vena y el diámetro de esta última, sean variables. Por lo tanto, todos los factores físicos que se han resumido en la fórmula de Moens, pueden variar grandemente de un momento a otro y en esta forma cambiar las condiciones que determinan la velocidad de transmisión de las ondas. Con esto, quedaría en parte explicada la diferencia que encontramos entre las cifras correspondientes a la velocidad de las distintas ondas.

El accidente del pulso venoso que se propaga con mayor lentitud, es la iniciación de  $v$ , cuya velocidad es de 0.85 mts. por segundo; el escaso número de casos en que nos fué posible hacer el cálculo, quita a esta cifra significación estadística. Si recordamos que el origen de  $v$  es un accidente producido por el estancamiento de la sangre que, afluyendo de la periferia se va acumulando en la aurícula, nos explicamos perfectamente que su propagación sea tan lenta. Esta mayor lentitud de propagación de esta onda en relación a las otras, hace que, a medida que nos alejamos de la aurícula, ella se vaya aproximando cada vez más a la diástole (ver esquema de Ewing, página 3). Este ascenso de  $v$  es para nosotros, la única onda de estasis puro, ya que en su origen no intervienen otros factores mecánicos capaces de crear variaciones importantes de presión en el sistema.

De los accidentes inherentes al pulso venoso, el que se propaga con mayor rapidez (3.86 m. p. s.) es el vértice de  $v$ . Esto está de acuerdo con su modo de producción. Durante los momentos finales de la sístole y en la protodiástole y período de relajación isométrica, la sangre se acumula en la aurícula cuyas válvulas están cerradas y en el sistema venoso que con ella comunica ampliamente. La presión en este sistema aurículo-venoso, asciende considerablemente alcanzando valores relativamente altos: en las curvas de depresión auricular de Straub<sup>9</sup>, es en este momento cuando la presión en la aurícula es mayor; en algunas de las de van Zwaluwenburg y Agnew<sup>2</sup>, ocurre lo mismo, mientras que en otras ella es mayor durante la sístole auricular; esto mismo se observa en las



curvas de Wiggers<sup>10</sup> y de Orías<sup>11</sup>. En el momento en que el llenamiento es máximo y la presión más considerable, se abren las válvulas aurículoventriculares produciendo un descenso brusco de la presión en todo el sistema mencionado. El vértice de  $v$  representa pues, un cambio de presión y como tal se trasmite al sistema venoso con una velocidad considerable, que en un experimento ha alcanzado a 10.1 m. p. s. y que en todos ha sido mayor que la de los demás accidentes propios del pulso venoso.

La iniciación de  $a$ , el vértice de  $a$  y el final de  $v$  se propagan con una velocidad menor y que es sensiblemente la misma para todos ellos (1.39, 1.40 y 1.24 m. p. s. respectivamente). En el momento en que ellos ocurren, las condiciones físicas dentro del sistema venoso no son tan constantes como en los casos anteriores. Además, ellos no son fenómenos tan simples; los consideramos como accidentes mixtos, producidos por cambio de presión y de volumen en la aurícula y vena. Por eso su velocidad de propagación es uniforme, siempre mayor que la de los de estancamiento y menor que la de los de presión.

De los accidentes del pulso venoso que no le son inherentes sino que se suman a él teniendo otro origen, nos interesa especialmente la marca del segundo ruido. Su velocidad de propagación es la mayor (4.69 m. p. s. término medio). Esto se explica por las condiciones propias del fenómeno que se transmite; es perfectamente lógico que las vibraciones sonoras se propaguen con mucha mayor velocidad que las otras, aunque las condiciones del medio transmisor sean malas.

Para la iniciación y el vértice de  $c$ , hemos encontrado cifras intermedias (1.68 y 2.20 m. p. s.); la primera no tiene con las de la iniciación y el vértice de  $a$  diferencias estadísticamente significativas. Respecto a la segunda, por haberla registrado en un número reducida de casos, tampoco podemos sacar conclusiones con valor estadístico.

Como se ve, son dos los factores que hacen que la velocidad con que se propaga el pulso venoso varíe de una onda a otra. Por una parte la variabilidad de las condiciones de la vena como aparato transmisor, según sea su grado de llenamiento. Por otra parte —seguramente el más importante— el distinto origen y mecanismo de producción de las ondas.

## RESUMEN

Se ha medido experimentalmente en el perro con método eficiente, la velocidad con que se propagan las distintas ondas del pulso venoso. En general, éstas se propagan mucho más lentamente que las del pulso arterial. En los términos medios, la velocidad de propagación oscila entre 0.85 y 4.69 metros por segundo.

Se ha encontrado que los distintos accidentes del pulso venoso no se propagan con la misma velocidad.

La iniciación de  $v$  que es un fenómeno puramente de estancamiento, se propaga muy lentamente (0.85 m. p. s.). El vértice de  $v$  que es una variación pura de presión, se propaga mucho más rápidamente (3.86 m. p. s.). La iniciación, vértice y final de  $a$  y el final de  $v$ , que son accidentes mixtos de presión y de volumen, se propagan con una velocidad intermedia (1.39, 1.40 y 1.24 m. p. s.). De los accidentes del flebograma que no son estrictamente venosos, el segundo ruido se propaga más rápidamente debido a sus mismas cualidades físicas (4.69 m. p. s.). La onda  $c$  tiene una velocidad de propagación que estadísticamente podemos considerar igual a la de las ondas mixtas ya mencionadas (1.68 m. p. s.).

## BIBLIOGRAFIA

1. *Morrow, W. S.* — "Arch. f. die Gess. Physiol.", 1900, 79, 442.
2. *Van Swaluwemburg, J. y Agnew, J.* — "Heart", 1911-1912, 343.
3. *Ewing Ephraim, M.* — "Am. Jour. of Physiol.", 1914, 33, 158.
4. *Bramwell, C. J., Hill, A. V. y McSwiney, W. A.* — "Heart", 10, 233.
5. *Moens, A. I.* — Die Pulskurve. E. J. Brill. Leiden 1878. citado en 7.
7. *Bramwell, C. J.* — Physical properties of arteries in health and disease. En *Cowdry, Arterioesclerosis, a survey of the problem.* 1933, McMillian C<sup>o</sup>, pág. 77.
8. *Flek, S.* — "Zeit. f. Kreislauff". 1934, 25, 504.
9. *Straub, H.* — "Deutsch. Arch. f. Klin. Med.", 1920, 133, 253.
10. *Wiggers, C. J.* — The pressure pulses in the cardiovascular system. 1928.
11. *Orias O.* — Registro e interpretación de la actividad cardíaca. "El Ateneo", Buenos Aires.

## RÉSUMÉ

Chez le chien l'on mesure expérimentalement avec une méthode correcte, la vitesse par laquelle se propagent les différentes ondes du pouls veineux. En general celles-ci se propagent plus lentement que celles du pouls artériel. En moyenne, la vitesse de propagation oscille entre 0.85 et 4.69 mètres par seconde.

L'on trouva que les differents accidents du pouls veineux ne se propagent

pas avec la même vitesse. L'initiation de  $v$ , qui est exclusivement un phénomène d'éstase, se propage très lentement (0.85 m.p.s.). Le sommet de  $v$  qui est une variation de pression, se propage beaucoup plus rapidement (3.86 m.p.s.). L'initiation, le sommet et la fin de  $a$  et la fin de  $v$ , qui sont des accidents mixtes de pression et de volume, se propagent avec une vitesse moyenne (1.39, 1.40 et 1.24 m.p.s.). Des accidents du phlebogramme qui ne sont pas strictement veineux, le second bruit se propage plus rapidement à cause de ses qualités physiques (4.69 m.p.s.). L'onde  $c$  a une vitesse de propagation qui peut être considérée, statistiquement, égale à celle des ondes précitées (1.68 m.p.s.).

### SUMMARY

Velocity of propagation of the different waves of the venous pulse were measured in the dog with an efficient method. In general their propagation is much slower than those of the arterial pulse. The averages vary between 0.85 and 4.69 m. per sec., the different accidents of the venous pulse having different velocities of propagation.

The beginning of the  $v$  wave, being a stagnation phenomenon, propagates very slowly (0.85 m. per sec.) The apex of the  $v$  wave which is purely a pressure variation propagates much more rapidly (3.86 m. per sec.) The beginning apex and end of  $a$  and the end of  $v$  which represent a mixture of pressure and volume variations have a medium velocity of propagation (1.39, 1.4 and 1.24 m. per sec. respectively). Of the accidents of the venous pulse which are not properly of venous origin, the second sound is the more rapidly propagated due to its proper physical characteristic (4.69 m. per sec.). The  $c$  wave has a velocity of propagation which statistically can be considered as equal to that of the mixed waves already mentioned (1.68 m. per sec.).

### ZUSAMMENFASSUNG

Man nahm bei einem Hund experimentelle Messungen vor, um die Schnelligkeit festzustellen mit der sich die verschiedenen Wellen des venösen Pulses fortplanzen. Im allgemeinen, pflanzen sie sich viel langsamer als beim arteriellen Pulsfort. Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung beträgt im Durchschnitt 0,85 bis 4,69 Meter pro Sekunde.

Man hat dabei gefunden, dass die verschiedenen Wellen sich nicht mit der gleichen Geschwindigkeit fortplanzen.

Der Beginn von  $V$ , ein ausschliessliches Stauungsphänomen, leitet sich sehr langsam fort (0,85 m.p.S.) Die Spitze von  $V$ , die eine Druckänderung darstellt, setzt sich bedeutend schneller fort (3,86 m.p.s.). Der Beginn, die Spitze und das Ende von  $a$  und das Ende von  $v$ , die gemischte Veränderungen von Druck und Volumen darstellen, leiten sich mit einer mittelmässigen Geschwindigkeit fort (1,39; 1,40 und 1,24 m.p.S.). Von den Veränderungen des Phlebogramms die nicht rein venöser Art sind, leitet sich der 2. Ton, wegen seiner physikalischen Eigenschaften, schneller fort (4,69 m.p.s.). Die  $c$ -Welle hat eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit die wir statistisch mit der von den bereits erwähnten gemischten Wellen gleichstellen können (1,68 m.p.S.).