

# Medición del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo por medio de la pletismografía digital (\*)

Por los Dres. RAUL CHIRIFE,\* VERÓNICA M. PIGOTT \*\*  
y DAVID H. SPODICK \*\*\*

## SUMARIO

Se comparan los valores del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo medidos sobre pletismogramas digitales, con los valores obtenidos de trazados simultáneos del pulso carotídeo, en diez personas sanas. La medición estuvo a cargo de varios observadores que trabajaron "a ciegas".

La medida en los pletismogramas se efectuó mediante extrapolaciones de las ramas de ascenso y de descenso rápidos de la onda principal; se determinaron así dos puntos ("u" y "d") que limitan el espacio de tiempo que corresponde al período de evacuación del ventrículo izquierdo; el punto "u" corresponde al comienzo del ascenso rápido, y el punto "d" (que precede a la escotadura dícrota), al fin del descenso rápido, coincidiendo con la incisura del carotidograma.

---

Lemuel Shattuck Hospital, División de Cardiología

Tufts University School of Medicine, Departamento de Medicina. Boston, Massachusetts, U.S.A.

\* Trabajo financiado por la National Aeronautics and Space Administration de los Estados Unidos de América.

<sup>1</sup> "Fellow" de Cardiología en el Lemuel Shattuck Hospital; Ayudante de Cátedra en la Tufts University School of Medicine.

<sup>2</sup> Investigadora Asociada, Lemuel Shattuck Hospital, División de Cardiología.

<sup>3</sup> Jefe de la División de Cardiología del Lemuel Shattuck Hospital; Profesor Asociado de la Tufts University School of Medicine; Catedrático de la Boston University School of Medicine.

Dirección de los autores: Lemuel Shattuck Hospital, División de Cardiología. 170 Morton Street, Boston, Massachusetts 02130, U.S.A.

Se encuentra un alto grado de correlación entre ambos métodos de medición del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo.

El valor medio hallado para la velocidad de propagación periférica de la onda pulsátil, está de acuerdo con los obtenidos por otros investigadores.

## INTRODUCCION

Desde hace casi un siglo se vienen estudiando intensamente los cambios de volumen de las extremidades producidos por variaciones de la corriente sanguínea y de la presión intravascular. Múltiples publicaciones aseguran el valor del pletismógrafo como instrumento para el diagnóstico de las enfermedades vasculares periféricas. La mayoría de estos estudios se refieren a la amplitud y a la forma de la onda pletismográfica y a su velocidad de propagación.

El presente trabajo describe un procedimiento para determinar el tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo mediante el pletismograma digital, y poder evaluar así, mediante el fenómeno periférico, un aspecto de la función cardíaca que se suele medir en curvas del pulso central.

Diversas investigaciones (5, 11) han demostrado claramente la importancia del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo (medido con técnicas incruentas) como índice del rendimiento cardíaco. La utilidad de este índice y la dificultad para obtenerlo en pacientes con trastornos respiratorios acentuados, en los traqueotomizados y en los grandes obesos, nos movió a buscar otro camino para los

casos en que el carótidograma, el fonocardiograma y el cardiograma apéxiano no se pueden obtener satisfactoriamente. En este estudio se toma como punto de comparación el tiempo de evacuación deducido del carótidograma según publicaciones anteriores (6).

Las pulsaciones sistólicas de las arterias y arteriolas periféricas producen cambios de volumen de las extremidades que se pueden registrar a casi todos los niveles del árbol vascular con diversos tipos de pletismógrafos (12, 13).

El tiempo de transmisión de la onda pulsátil aumenta con la longitud del miembro donde se toma el pulso (2). Esto se traduce por un retardo de la onda recogida en las partes distales del miembro, en relación con las tomas en puntos más cercanos al corazón.

Los cambios de volumen registrado por el pletismograma, teóricamente reflejan las variaciones volumétricas resultantes de todas las arterias y arteriolas del segmento de miembro introducido en el recipiente pletismográfico. Por eso, los trazados obtenidos en un miembro entero tienden a distorsionarse. En cambio, segmentos pequeños, como los dedos, en los que es más corta la distancia que deben cruzar las ondas a través del recipiente del pletismógrafo, proporcionan mejores curvas.

Pero, en cualquier caso, esta técnica no puede excluir la interferencia de factores como la elasticidad de las paredes arteriales, efectos de inercia, viscosidad de la sangre, etc., que progresivamente alteran la figura inicial de la onda pulsátil central, a medida que se va hacia la periferia del árbol vascular.

Por estas razones, en las curvas del pulso tomadas de segmentos pequeños de miembro, la técnica de medición de los intervalos sistólicos difiere de la empleada en los trazados del pulso carotídeo.

#### INSTRUMENTAL

Para obtener los pletismogramas se empleó un transductor a cristal Elena Schonander, modelo EMT 510 C.

La "constante de tiempo" del instrumento varía con el ajuste de su sensibilidad: 2 segundos para la más baja sensibilidad; 4 segundos, para la más alta. El dedil, estando lleno de aire, tiene 18 ml de capacidad; la cámara, 0,75 ml, y el tubo de conexión, 3,3 ml, totalizando 22 ml cuando el dedo no está dentro del capuchón. La calibración se efectúa mediante un dispositivo que permite introducir en el sistema un volumen definido de aire (0,1 ml).

Para recoger simultáneamente el trazado de las pulsaciones carotídeas se usó un transductor a cristal Sanborn. Se registró también al mismo tiempo, un fonocardiograma (filtro de 50 Hz), un electrocardiograma en segunda derivación y la primera derivada de la curva pletismográfica. Todos los transductores se conectaron a un polígrafo fotográfico Sanborn de 8 canales, modelo 568-100 A.

#### SUJETOS DE LA EXPERIENCIA

Se presentaron voluntariamente 10 hombres sanos, de 24 a 32 años de edad.

#### METODO

Estando cada sujeto en decúbito y en apnea espiratoria relajada, se le registraron por lo menos 10 latidos consecutivos. El pletismograma digital se tomó del índice o del dedo medio de la mano izquierda. Simultáneamente se registró el trazado del pulso carotídeo derecho, el fonocardiograma a nivel del 3er. espacio intercostal izquierdo (con filtro nominal de 50 Hz), el electrocardiograma y la curva de la primera derivada del pletismograma.

Las lecturas comparativas del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo deducido del carotidograma y del pletismograma, fueron efectuadas por tres observadores que trabajaban "a ciegas" en la siguiente forma: después de numerar 10 latidos consecutivos de cada tira de trazados, uno de los observadores medía las ondas con números pares, otro las con números impares, ambos de los 10 sujetos; el tercer observador medía las

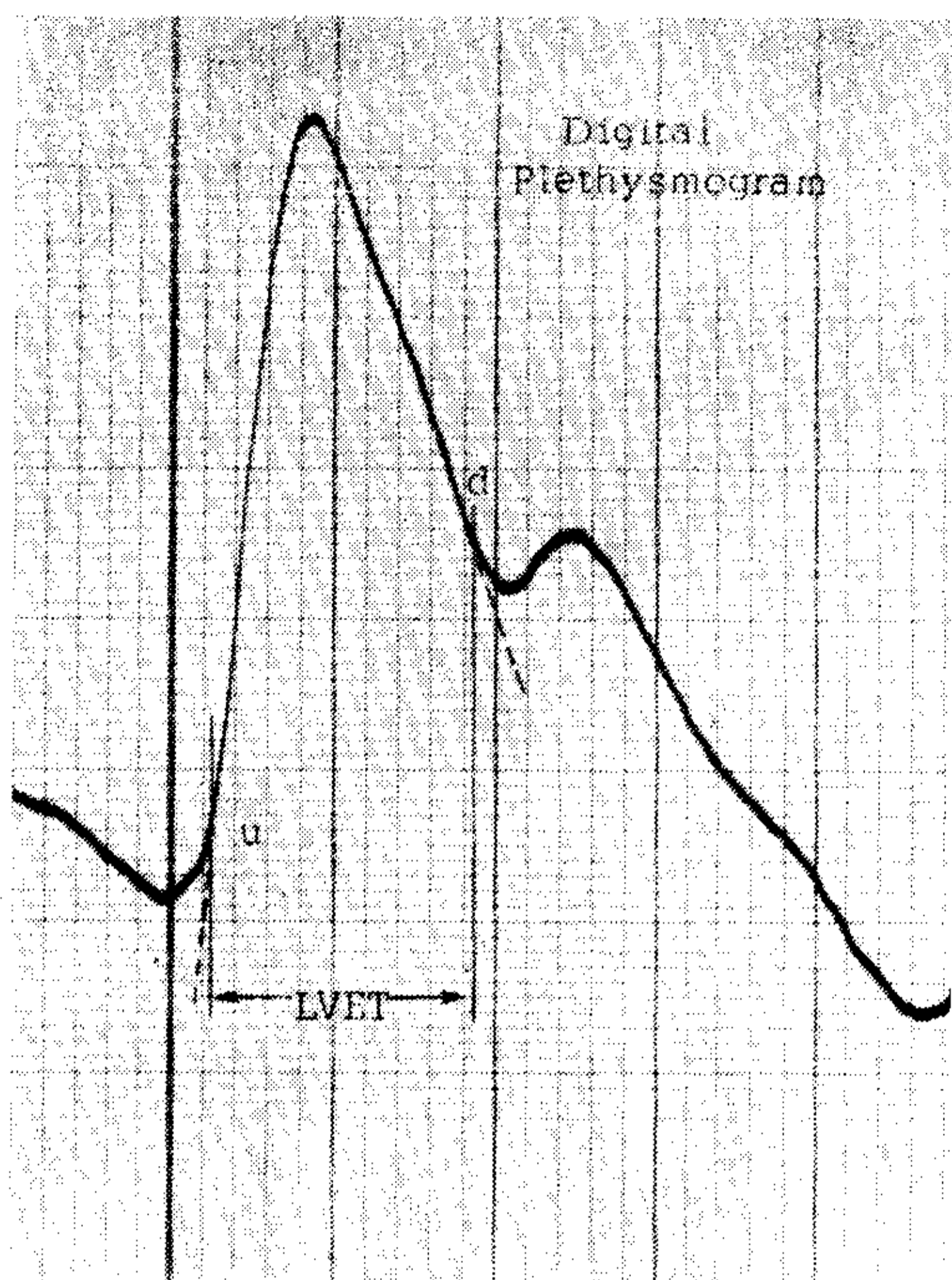


Fig. 1-e. — Pletismograma digital.

Las líneas de trazos muestran la extrapolación de las vertientes de ascenso y descenso rápidos, para hallar los puntos "u" y "d".

LVET: Tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo.

ondas pares de 5 sujetos, y las impares de los otros cinco.

Cada observador localizaba, en los latidos que le correspondían, el punto de comienzo del ascenso rápido de la curva y la incisura dicrota, tanto en el carótidograma como en el pletismograma. En el pulso carotídeo, el comienzo del ascenso rápido se marca al pie de la curva por el brusco adelgazamiento inicial del trazado; desde aquí hasta el nadir de la incisura se mide el tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo (6, 7).

En el trazado pletismográfico, el comienzo del ascenso rápido ("u") se determinaba por extrapolación de la rama ascendente hacia la línea de base (fig. 1-a); en la misma forma se determinaba el fin del descenso rápido (punto "d") (fig. 1-a) que en el pletismograma precede a la incisura dicrota. Empíricamente se encontró que estos dos puntos son las mejores marcas para la medida pletismográfica

del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo.

Para asegurar la "ceguera" de los observadores, cada uno de éstos, una vez fijados los dos puntos en cada uno de los latidos asignados, recién en un segundo tiempo procedía a las mediciones.

El tiempo de transmisión del pulso se midió desde el componente aórtico del segundo ruido cardíaco (comienzo de su primera deflexión de alta frecuencia) hasta el punto "d" del pletismograma (así llamado por su proximidad a la incisura dicrota de la curva volumétrica) (fig. 1-b). La velocidad de propagación de la onda pul-



Fig. 1-b. — Trazado poligráfico típico que muestra, de arriba abajo:

- Primera derivada del pletismograma digital ( $dV/dt$ ).
- Pletismograma digital.
- Trazado del pulso carotídeo (In: incisura).
- Fonocardiograma (50 Hz).
- Electrocardiograma ( $D_2$ ).

Intervalos medidos:

- 1) Tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo deducido del pletismograma.
- 2) Tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo deducido del trazado del pulso carotídeo.
- 3) Tiempo de transmisión del pulso periférico.

sátil se calculó dividiendo la distancia entre la horquilla esternal y la punta del dedo, por el tiempo medio de transmisión del pulso en cada sujeto.

### RESULTADOS

Se efectuaron 300 mediciones del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo (150 sobre trazados carotídeos y otras tantas sobre pletismogramas) (Tabla 1).

La Tabla 2 muestra el análisis de la variancia. Se ve que no hay diferencia significativa entre los valores obtenidos por ambos métodos (carotidograma y pletismograma). Se nota además una diferencia altamente significativa entre los diferentes sujetos examinados, lo que era de esperar, ya que el tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo es influenciado por

la frecuencia cardíaca. Considerando todas las mediciones, hay una diferencia escasamente significativa ( $P \sim 0,05$ ) entre los tres observadores; esta diferencia es pequeña, sin importancia práctica, y se confunde con la que hay entre un latido y otro en las mediciones efectuadas por el mismo observador.

El tiempo medio de evacuación del ventrículo izquierdo, deducido del carotidograma, resultó de 286 milisegundos, con una desviación standard de  $\pm 16,1$  m/seg, valor muy aproximado al obtenido del pletismograma digital (285 m/seg  $\pm 15,6$ ). La desviación standard residual de las mediciones individuales resultó de 8,1 mseg, y el error standard previsible, de 3,8 mseg.

La fig. 2 muestra la correlación entre los valores obtenidos por ambos

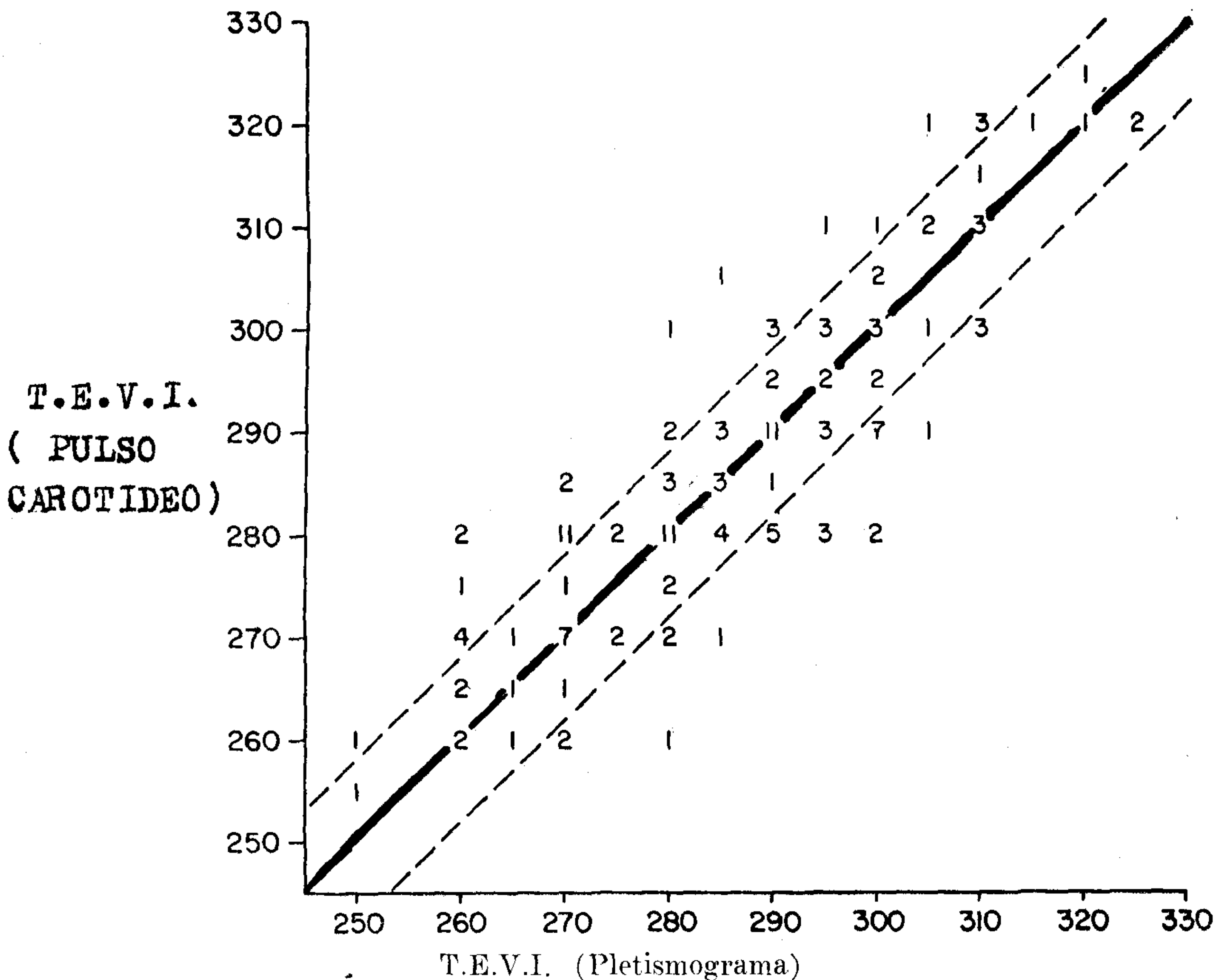


Fig. 2. — Correlación entre los valores del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo medidos sobre trazados del pulso carotídeo y los valores medidos sobre pletismogramas.

T.E.V.I. Tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo, expresado en milisegundos. La línea gruesa representa la correlación ideal con  $r=1$ . Las líneas de trazos marcan los límites para una desviación standard residual ( $\pm 8,1$  m/seg). Las cifras colocadas sobre las tres líneas indican el número de mediciones efectuadas.

TABLA 1 — Resultados numéricos

Pt	C	Observador 1										Observador 2										Observador 3									
		1	3	5	7	9	$\bar{x}$	2	4	6	8	10	x	1	3	5	7	9	$\bar{x}$	2	4	6	8	10	x	1	3	5	7	9	$\bar{x}$
1	C	310	290	290	290	290	288	290	280	280	290	280	286	290	280	280	280	280	290	280	270	270	280	286	290	280	280	290	290	286	
	P	310	300	305	290	310	297	300	280	280	290	270	286	290	270	270	260	260	260	260	270	270	260	286	290	280	280	290	278		
2	C	210	320	310	300	320	312	315	320	320	300	325	316	310	320	310	300	320	310	300	320	320	310	312	310	300	300	320	312		
	P	210	325	310	310	310	313	310	315	320	300	320	313	300	305	310	295	310	295	310	305	310	295	310	310	295	310	310	304		
3	C	280	290	270	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280		
	P	295	290	285	290	290	290	270	285	285	300	280	284	295	295	280	280	280	280	280	295	280	280	280	280	280	280	280	286		
4	C	290	300	290	290	290	292	290	285	280	295	285	287	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290		
	P	295	295	300	300	300	298	295	285	290	290	290	290	285	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	292		
5	C	310	310	300	300	295	303	305	300	300	300	295	300	320	310	305	295	295	300	300	295	290	295	300	305	295	295	295	305		
	P	305	305	300	295	295	300	300	290	290	280	290	290	310	295	285	285	280	280	280	290	290	285	290	290	295	295	300	296		
6	C	300	290	300	300	285	295	290	305	280	295	290	292	280	300	280	295	290	290	300	290	300	290	292	280	290	290	280	290		
	P	290	290	300	305	270	291	280	300	280	300	300	292	300	310	310	300	300	310	310	310	280	292	292	300	310	280	270	294		
7	C	270	270	275	270	265	270	285	270	280	275	280	278	285	270	280	275	280	275	280	270	280	270	274	285	280	280	260	274		
	P	270	260	280	275	260	269	280	270	270	265	270	271	270	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	250	260		
8	C	280	270	280	280	280	278	280	285	285	275	270	279	280	280	285	275	270	270	270	270	270	270	279	280	280	270	270	276		
	P	290	270	270	285	280	279	290	285	280	280	281	280	280	270	270	270	270	270	270	270	270	270	281	280	270	270	272			
9	C	265	270	265	260	260	264	275	280	260	255	270	268	270	270	260	255	270	260	260	265	260	268	260	260	260	260	264			
	P	265	285	270	280	270	274	270	280	265	250	265	266	260	270	260	260	260	260	260	265	260	266	260	260	260	260	264			
10	C	290	280	270	270	285	279	280	280	265	289	285	278	280	290	270	285	280	290	285	280	290	278	270	270	290	280	282			
	P	290	275	275	280	285	281	270	275	260	285	280	274	270	280	260	285	280	270	280	280	270	274	270	270	290	290	278			

C: Tiempo de evacuación del V.I. medido sobre el carotidograma (en m/seg).

P: Id. id. medido sobre el pletismograma digital.

Pt: Paciente.  $\bar{x}$ : Media aritmética.

TABLA 2 — Análisis de la variancia

Fuente de variación	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	Cociente	Razón F	P
Total .....	69,325	299			
Pacientes .....	49,934	9	5548	84,8	< 0,001
Observadores .....	589	2	294	4,5	< 0,05
Internación carotidograma-pletismograma .....	44	1	44	0,67	
Residuo .....	18,758	287	65,4		

Desv. St. de una medida individual = 8,1 mseg.

Error St. =  $\sqrt{D.S.^2 \cdot (1-r^2)}$  = 3,8 mseg.

métodos. El índice de correlación lineal resultó muy bueno ( $r = 0,88$ ). La línea gruesa, levantada a  $45^\circ$  sobre el eje de abscisas, representa la correlación lineal perfecta ( $r = 1$ ); las dos líneas de trazos paralelas, señalan los límites correspondientes a una desviación standard de las mediciones individuales (8,1 mseg).

En el grupo de personas examinadas, jóvenes y sanas, el **tiempo medio de transmisión de la onda pulsátil resultó de 149 mseg**, con una desviación standard de  $\pm 17$ , y la velocidad media, de  $6,24 \text{ m/seg} \pm 1,49$ .

#### DISCUSION

El valor de 0,88 que se encontró para  $r$  indica un alto grado de correlación entre los dos métodos empleados para la medición del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo (trazado del pulso carotídeo y pletismograma digital) (fig. 2). Esta correlación habría sido aún mayor si no influyera la dispersión natural de los valores del período de evacuación debida a la diferente frecuencia cardíaca, y a otras peculiaridades de los sujetos observados, así como de los observadores.

El error standard residual de 3,8 m/seg significa que si medimos el tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo por medio de pletismogramas en un número dado de sujetos, el 95 % de los valores hallados corresponderá a los valores obtenidos por carotidogramas simultáneos  $\pm 7,6 \text{ m/seg}$  (= 2 E.S.).

El valor hallado para la velocidad media de propagación de la onda pulsátil ( $6,24 \text{ m/seg} \pm 1,49$ ), corresponde ajustadamente a los valores obtenidos por otros autores en grupos similares de sujetos, pero usando técnicas distintas:  $6,95 \text{ m/seg} \pm 0,79$  (2), y  $6,48 \text{ m/seg}$  (14).

#### CONCLUSIONES

1. La pletismografía digital proporciona un método fiel para la medición del tiempo de evacuación del ventrículo izquierdo.

2. La velocidad media de la onda pulsátil, calculada por el tiempo de transmisión al pulso periférico (medido entre el componente aórtico del 2º ruido y el punto "d" del pletismograma), es prácticamente igual a la determinada por otros métodos.

**Agradecimiento:** Expresamos nuestra gratitud al Dr. Hugo Muench, del Departamento de Bioestadística, por su valioso asesoramiento en la parte estadística.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Burch, G. E.: Digital Plethysmography. Modern Medical Monographs, Grune & Stratton, New York, 1954.

2. Simonson, E.; Koff, S.; Keys, A. and Minckler, J: Contour of the toe pulse, reactive hyperemia, and pulse transmission velocity, group and repeat variability, effect of age, exercise and disease. Amer. Heart. J., 50:260, 1955.

3. Burch, G. E.; Cohn, A. E. and Neumann, C: A study by quantitative methods of the spontaneous variations in volume of the finger tip, and postero-superior por-

tion of the pinna of resting normal white adults. *Am. J. Physiol.*, 136:433, 1942.

4. Burch, G. E.; Ray, C. T. and Berenson, G. S.: A study of the volume-time course of the pulse wave of the finger tip. *Am. Heart J.*, 43:844, 1952.

5. Weissler, A. M.; Peeler, R. G. and Roehll, W. H.: Relationships between left ventricular ejection time, stroke volume, and heart rate in normal individuals and patients with cardiovascular disease. *Amer. Heart J.*, 62:367, 1961.

6. Spodick, D. H. and Kumar, S.: Left ventricular ejection period. *Amer. Heart J.*, 76:70, 1968.

7. Spodick, D. H.; Dorr, C. A. and Calabrese, B. F.: Detection of cardiac abnormality by clinical measurement of left ventricular ejection time. *J.A.M.A.*, 209:239, 1969.

8. Stafford, R. W.; Harris, W. S. and Weissler, A. M.: Left ventricular systolic time intervals as indices of postural circulatory stress in man. *Circulation*, 61:485, 1970.

9. Kumar, S. and Spodick, D. H.: Study of the mechanical events of the left ventricle by atraumatic techniques: Comparison of methods of measurement and their significance. *Amer. Heart J.*, 80:401, 1970.

10. Flessas, A.; Kumar, S. and Spodick, D. H.: Effects of the Valsalva maneuver on the cardiac systolic intervals: Beat-to-beat versus timed analysis. *Amer. Heart J.*, 80:522, 1970.

11. Harrison, T. R.; Dixon, K.; Russell, R. O. Jr.; Bidway, P. S. and Cleman, H. N.: The relationship of age to the duration of contraction, ejection and relaxation of normal heart. *Amer. Heart J.*, 67:189, 1964.

12. Weaver, J. P. A. and Evans, A.: A plethysmograph with an air capacitance system. *J. Appl. Physiol.*, 23: 591, 1967.

13. Hocherman, S. and Palti, Y.: Correlation between blood volume and opacity changes in the finger. *J. Appl. Physiol.*, 23: 157, 1967.

14. Schimmler, W.: Zur Pathophysiologie der Pulswellengeschwindigkeit. *Munch. Med. Wschr.*, 109:181, 1967.

Señores

Revista Argentina de Cardiología

Paraná 489 - Piso 10 - Ofic. 57 (49-2955)

Adjunto cheque-giro postal sobre Buenos Aires, para que me suscriban por el año 1971 a la Revista Argentina de Cardiología.

Nombre .....

Dirección ..... F. C. ....

Localidad ..... Provincia .....

.....  
FIRMA