

# Análisis matemático de las curvas de «Strain Gauge» en el diagnóstico de las TVP

María Eugenia Vega Gómez\* - Juan Ley Pozo\*\* - Alfredo Aldama Figueroa\*\*  
José A. Álvarez Sánchez\*\* - Delia Charles-Edouard Otrante\*\*\* - Amada Fernández Boloña\*\*\*\*  
Odalys Gutierrez Jiménez\*\*\*\*

Instituto Nacional de Angiología y Cirugía  
Vascular, La Habana (Cuba)

## RESUMEN

Es posible describir la caída de las curvas de flujo máximo venoso mediante una función exponencial, y pensamos que sería útil estudiar dichas curvas por su potencial valor diagnóstico. Para ello se estudiaron 55 pacientes del Cuerpo de Guardia del INACV con la sospecha clínica de trombosis venosa profunda (TVP) de los miembros inferiores. A todos se les realizó una flebografía anterógrada del miembro afectado y medición del flujo venoso mediante pletismografía de «strain gauge» en ambos miembros inferiores, las curvas obtenidas se digitalizaron y se calcularon los coeficientes correspondientes a una función exponencial. Los coeficientes de correlación lineal muy cercanos a uno evidencian que el ajuste a un modelo exponencial es adecuado. Por otra parte, los parámetros medidos permitieron diferenciar los grupos en estudio. Se obtuvo un 83,6% de casos bien clasificados con los criterios de TVP: flujo máximo de la pierna enferma menor del 40% que el de la sana y tiempo medio de vaciamiento relativo (TMr). Se podrían usar ambos indistintamente, pero parece más aconsejable seguir usando el del 40% porque su cálculo es más sencillo. El TMr podría utilizarse mediante un equipo capaz de calcularlo automáticamente para aumentar su eficiencia diagnóstica.

## AUTHOR'S SUMMARY

The plethysmographic strain gauge venous outflow curves were studied by means of an exponential function. The parameters analyzed made possible the establishment of differences between patients with and without DVT.

\* Investigadora Auxiliar, Dpto de Hemodinámica.

\*\* Médico especialista de segundo grado en Fisiología Normal y Patológica.

\*\*\* Subdirectora de Investigaciones.

\*\*\*\* Técnica en Hemodinámica Vascular.

## Introducción

Muchos estudios han evidenciado que aproximadamente el 50% de los pacientes con signos clínicos de TVP tienen flebografías normales mientras

que más de la mitad de las trombosis no son detectadas clínicamente (1,2). La flebografía continúa siendo el método diagnóstico más preciso; sin embargo, su carácter invasivo limita su uso como prueba de rutina ante una sospecha clínica de esta entidad (1,3,4 al 7).

Para suponer estas definiciones se han desarrollado nuevas técnicas de diagnóstico no invasivo, entre ellas las pletismográficas («strain gauge») (8 al 11). El parámetro más ampliamente empleado en las pletismografías de «strain gauge» para el diagnóstico de las TVP es el flujo máximo (9 al 13). Prácticamente todos los laboratorios vasculares, incluyendo el nuestro, poseen criterios diagnósticos basados en este indicador. Aunque su cálculo carece de complejidad, no está exento de errores de medición (12 al 14). También se ha planteado la posibilidad de describir la caída de las curvas de flujo máximo mediante una función exponencial, pero sin comprobación experimental (15).

Pensamos que sería útil describir las variaciones en la curva de flujo venoso mediante una función matemática de tipo exponencial, por la posibilidad de utilizar esta información para el diagnóstico.

## Material y método

Se estudiaron 55 pacientes provenientes del Cuerpo de Guardia del Instituto Nacional de Angiología y Ci-

rugía Vascular (INACV) con la sospecha clínica de TVP de los miembros inferiores.

Sus edades promedio fueron de 45,7 años.

A todos se les realizó una flebografía anterógrada en el miembro afectado y pletismografía de «strain gauge» en ambos miembros inferiores.

Las curvas se digitalizaron (tomando valores cada 0,6 s, en total 10 puntos) para calcular los coeficientes correspondientes a una función exponencial. Para ello se empleó el método de los mínimos cuadrados, considerando los pares ordenados (t, 1nV), donde: t: tiempo y V: volumen de sangre.

Se ajustaron los datos a un modelo matemático del tipo:

$$V=e^{-(mt+b)}$$

y se calculó el parámetro tiempo medio de vaciamiento (TM) como:

$$TM = \frac{-\ln 2}{m}$$

y el tiempo medio de vaciamiento relativo (TMr) como:

$$TMr = \frac{TM_e}{TM_s}$$

donde:

TM<sub>e</sub>: TM de la pierna supuestamente enferma

TM<sub>s</sub>: TM de la pierna supuestamente sana

El 40% de decrecimiento del flujo máximo de la pierna afectada respecto de la sana se aplicó como criterio hemodinámico de trastorno de la permeabilidad (14).

Se compararon las medias de los grupos con y sin TVP según la flebografía para las variables hemodinámicas consideradas. Por otra parte, se compararon los valores de la flebografía con los de TM, TMr y el criterio hemodinámico para los grupos en estudio.

## Resultados

Los coeficientes de correlación lineal fueron muy cercanos a uno en los grupos con y sin TVP (rango de -0,93 a -0,999).

En el Cuadro 1 aparecen las comparaciones de medias de los dos grupos en estudio para las variables

ser descrita por una ecuación cinética de primer orden de la forma:

$$(t) = e^{-mgh/KT} \quad (I)$$

y que no es más que la expresión matemática de la ley de **Boltzmann** que describe la distribución de las partículas en un campo de fuerza

Cuadro 1

### Comparación de medias de los grupos en estudio para las variables consideradas

Variable	Con TVP		Sin TVP		p
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
FM	10,10	4,23	27,73	12,7	0,0001
TM	4,38	1,53	2,48	0,7	0,0001
TMr	1,97	1,23	0,99	0,23	0,0001

consideradas. Puede apreciarse que en todos los casos las diferencias fueron estadísticamente significativas. Se consideraron como patológicos los valores de TM mayores de 3 segundos y de TMr mayores de 1,5.

La comparación de los resultados de la flebografía con los parámetros TM, TMr y el criterio hemodinámico del 40%, aparece en los Cuadros 2, 3 y 4 respectivamente.

## Discusión

Existen autores (15) que plantean que la curva de flujo máximo puede

potencial. Como la sangre es un fluido, es posible hacer una aproximación de la ecuación (I) para describir el comportamiento de las partículas que la conforman, y plantear:

$$F(t) = F_0 e^{-t} \quad (II)$$

por lo que sería posible determinar el valor del flujo en cada instante de tiempo. Sin embargo, eso no ha pasado de ser un planteamiento basado en la simple observación de la forma de la curva, pero sin comprobación experimental.

Cuadro 2

### Comparación de los valores de la flebografía con TM para los grupos en estudio

		TM		Total
		Negativo	Positivo	
Flebografía	Negativo	21	5	26
	Positivo	4	25	29
	Total	25	30	55

% de casos bien clasificados: 83,6.

Cuadro 3

**Comparación de los valores de la flebografía con los de TMr para los grupos en estudio**

		TMr		Total
		Negativo	Positivo	
Flebografía	Negativo	26	0	26
	Positivo	9	20	29
	Total	35	20	55

% de casos bien clasificados: 83,6.

Los coeficientes de correlación lineal muy cercanos a uno demuestran que el ajuste a un modelo exponencial es adecuado. Además, los parámetros medidos permitieron dis-

ciento de casos bien clasificados (83,63%) (Cuadro 2).

La variabilidad del TMr puede reducirse cuando se compara un individuo con él mismo, como en el

Cuadro 4

**Comparación de los valores de la flebografía con el criterio hemodinámico del 40% para los grupos en estudio**

		40%		Total
		Negativo	Positivo	
Flebografía	Negativo	24	2	26
	Positivo	7	22	29
	Total	31	24	55

% de casos bien clasificados: 83,6.

tinguir a los grupos en estudio (Cuadro 1).

A pesar de que el flujo máximo dio diferencias significativas entre los dos grupos, no resulta un parámetro ideal para establecer criterios diagnósticos, pues una pequeña diferencia en el instante en que se mide la pendiente puede provocar variaciones sustanciales en los valores de flujo que se obtienen (10, 11). Por eso, decidimos estudiar el TM para cuya determinación no es necesario partir de un volumen prefijado. En este caso se obtuvo un buen por

centaje de casos bien clasificados similar cuando se empleó el criterio del 40% (Cuadro 4) y el del TMr mayor que 1,5 (Cuadro 3).

Se podrían usar ambos indistintamente, pero parece más aconsejables en la práctica clínica seguir usando el del 40%, porque su cálculo es más sencillo. No obstante, la descripción y fundamentación del TM puede servir como base para la construcción de un equipo que por medios automatizados sea capaz de calcularlo, con lo que probablen-

te se incrementaría su eficacia diagnóstica.

Podemos pensar que el modelo exponencial describe la salida del flujo venoso en los miembros inferiores, lo que podría utilizarse en el diagnóstico de trastornos obstructivos.

## BIBLIOGRAFIA

1. YAO JST, et al: Noninvasive vascular diagnostic testing: Techniques and clinical applications. «Progress in Cardiovasc Dis». 26: 459-493, 1984.
2. PEARCE, WH, et al: Noninvasive vascular diagnostic testing. Current problems, «Surgery» 20: 509-519, 1983.
3. SUFIAN, S.: Noninvasive vascular laboratory diagnosis of deep venous thrombosis. «Amer Surg», 47: 254-258, 1981.
4. RUSSELL J. C., et al: The noninvasive venous vascular laboratory. A prospective analysis. «Arch. Surg.», 118: 1024-1027, 1983.
5. HANEL K. C., et al: The role of two noninvasive tests in deep venous thrombosis. «Ann. Surg.», 194: 725-730, 1981.
6. JOHNSON, W. C.: Evaluation of techniques for the diagnosis of venous thrombosis. «J. Surg. Res.», 16: 473-477, 1974.
7. LEPORE T. J., et al: Screening for lower extremity deep venous thrombosis. An improved plethysmographic and Doppler approach. «Am. J. Surg.», 135: 529-534, 1978.
8. BASART D. C. G., et al: Evaluation of impedance plethysmography as a single non-invasive test for the diagnosis of clinically suspected deep vein thrombosis. «Neth. J. Med.», 27: 197-201, 1984.
9. VOORHOEVEN, R., et al: Venous outflow measurement in the diagnosis of deep venous thrombosis. Principles and practice. «Neth. J. Surg.», 38: 6-10, 1986.
10. SUMNER D. S.: Mercury strain gauge plethysmography. «Noninvasive Diagnostic Techniques in Vascular Disease». Bernstein E. F (Ed). Third edition, Chap: 15, pp: 133-150, The CV Mosby Company, Saint Louis, 1985.
11. SUMNER, D. S.: Plethysmography in arterial and venous diagnosis.

- «Introduction to vascular ultrasonography», Second edition, Chap: 17, pp: 385-419, Grune & Stratton, 1986.
12. NIEDERLE, P. et al: Plethysmographic diagnosis of deep venous thrombosis. «Cor et Vasa», 16: 268-281, 1974.
13. BOCCALON, H.: Venous problem and the vascular laboratory. «Inter Angiol», 3 (suppl 1): 60-66, 1984.
14. VEGA, M. E., et al: Validación del ultrasonido Doppler y de la pletismografía de oclusión en el diagnóstico de la TVP. «Angiología», 40: 129-132, 1988.
15. HUISMAN, M. V., et al: A comparison of impedance plethysmography and strain gauge plethysmography in the diagnosis of deep venous thrombosis in symptomatic out-patients. «Thrombosis Research», 40: 533-541, 1985.
-