

Análisis matemático de las curvas de velocidad de flujo en arterias femorales

J. Ley Pozo* - M. E. Vega Gómez** - A. Aldama Figueroa* - M. Ochoa Bizet***

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

RESUMEN

Para perfeccionar el diagnóstico precoz de las lesiones aorto-ilácas se estudiaron 98 arterias de sujetos supuestamente sanos de diferentes edades y 41 arterias femorales de pacientes con obstrucciones de dicho sector comprobadas arteriográficamente. El análisis por series de Fourier arrojó diferencias altamente significativas entre ambos grupos, así como la comparación de algunos índices calculados automáticamente por el equipo Vasoscan VL. Aplicando métodos de la estadística multivariada se seleccionó el mejor conjunto de parámetros que permiten identificar a los enfermos de los sujetos sanos. Este procedimiento pudiera ser útil para el estudio fisiopatológico y podría aplicarse con fines diagnósticos manteniendo el carácter no invasivo.

SUMMARY

In order to improve the early diagnosis of the aortoiliac injuries, 98 arteries from several supposedly healthy patients (different ages) and 41 femoral arteries from patients with occlusion at this level (demonstrated by arteriography) were studied. The analysis from the Fourier's series showed highly significant differences between both groups, and so did the comparison of some indexes automatically measured by the Vasoscan VL equip.

By multivariate statistics methods was selected the main group of parameters that allows the differentiation between the ill patients and the healthy ones. This procedure can be useful for the physiopathological study and it may be used as a non-invasive method of diagnosis.

Introducción

Las enfermedades arteriales esteno-occlusivas constituyen actualmente un problema de salud para

nuestro país, por la elevada frecuencia con que aparecen y por la incapacidad que producen; de ahí surge la necesidad de perfeccionar el diagnóstico precoz de este tipo de lesiones (1-3).

Para dar solución a este problema se han empleado numerosos procedimientos no invasivos, entre los que se destacan el estudio de las curvas de velocidad de flujo ar-

terial y el análisis de su forma (4, 5). Al objeto de ayudar a interpretar estas curvas se han empleado diversos métodos matemáticos, por ejemplo: el análisis de componentes principales (6), la transformada de Laplace (7, 8), las series de Fourier (9), etc. Gracias a ellos se ha logrado mejorar el diagnóstico, pero aún se discute cuáles son los mejores indicadores, pues muchos criterios son parcialmente subjetivos, requieren de un complejo procesamiento matemático y en su mayoría no se han introducido en la práctica clínica.

En este trabajo se ha intentado identificar parámetros que caracterizan las curvas de velocidad de flujo en arterias femorales y que se modifican a consecuencia de las obstrucciones aorto-ilácas, con el objetivo de introducir estos elementos en el diagnóstico precoz no invasivo.

Material y método

En esta investigación se incluyeron 98 arterias femorales de sujetos supuestamente sanos, sin síntomas ni signos de insuficiencia arterial, seleccionados entre los trabajadores de una fábrica, quienes dieron su consentimiento para ser estudiados. Su edad promedio era de 38,4 años (con desviación típica de 13,7). De ellos 37 eran hombres y 19 mujeres.

El grupo de enfermos estuvo constituido por 31 pacientes con diagnóstico clínico y arteriográfico de obstrucción aorto-iláca (con diversos grados de estenosis), ingresados en el Servicio de Arteriología del Instituto Nacional de Angiología y Cirugía Vascular, con edad promedio de

* Médico especialista de 2º grado en Fisiología Normal y Patológica, Laboratorio de Hemodinámica.

** Investigadora auxiliar, Laboratorio de Hemodinámica.

*** Médico especialista de 2º grado en Angiología y Cirugía Vascular, Servicio de Arteriología.

51,3 años y desviación típica de 10,5 años. En total se estudiaron 41 arterias femorales patológicas.

Se tomaron registros durante 9 segundos de las curvas de velocidad de flujo en las arterias femorales comunes, con el paciente en reposo, en decúbito supino, mediante el equipo Vasoscan VL y usando una sonda de 8 MHz. Después del filtrado de las curvas mediante procedimiento descrito por los autores (10), el análisis por series de Fourier se hizo con programas confeccionados al efecto (11). Se calcularon los primeros cinco armónicos de cada una y, además, se anotaron los valores de velocidad sistólica máxima (Max A), velocidad al inicio de la diástole (Max D), índice de resistencia de Pourcelot (RP), índice de pulsatilidad de Gosling (PI) y ancho espectral (AE) (12, 13). Estos últimos cinco parámetros fueron calculados automáticamente por el propio equipo.

El procesamiento estadístico consistió en estudios de correlación con la edad dentro de los controles, comparación de medias entre las arterias normales y las patológicas y análisis discriminante para determinar la pertenencia a cada grupo según los resultados de las variables hemodinámicas consideradas.

Resultados

En el Cuadro 1 aparecen los coeficientes de correlación lineal de los diferentes parámetros hemodinámicos con la edad, dentro del grupo control. Puede apreciarse una total ausencia de influencia del envejecimiento, debido a que todos los coeficientes están muy cercanos a cero y no difieren significativamente de éste ($p < 0,001$).

En el Cuadro 2 se muestran las comparaciones de las medias de los parámetros hemodinámicos estudiados en los dos grupos. Las diferencias fueron estadísticamente significativas en todos los casos, excepto para los coeficientes **b3** y **b5** de las

Cuadro 1
Coeficientes de correlación lineal entre la edad y los parámetros hemodinámicos en el grupo control

Parámetro	Coeficiente
a0	-0,11
a1	-0,11
a2	0,16
a3	-0,06
a4	-0,07
a5	-0,09
b1	-0,02
b2	0,04
b3	0,03
b4	0,01
b5	0,11
Max A	-0,14
Max D	-0,13
RP	0,12
PI	0,06
AE	0,23

Cuadro 2
Comparación de las medias de los parámetros hemodinámicos estudiados en los dos grupos

Parámetro	Control		Paciente		t	p
	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
a0	70,74	7,14	81,48	11,95	-5,37	0,001
a1	11,16	3,22	1,99	3,01	15,72	0,001
a2	-6,91	4,35	-2,85	2,14	-7,35	0,001
a3	-4,2	2,21	-1,87	1,38	-7,52	0,001
a4	-1,89	1,03	-1,00	1,29	-3,92	0,001
a5	-1,66	0,87	-0,85	1,38	-5,19	0,001
b1	11,26	4,18	8,66	4,93	2,96	0,001
b2	12,13	4,98	3,82	3,19	11,72	0,001
b3	0,44	1,20	0,73	1,14	-1,09	n.s.
b4	0,76	1,21	0,44	0,84	1,84	0,05
b5	0,35	1,28	0,19	0,94	0,87	n.s.
Max A	3,84	0,81	2,67	1,15	5,88	0,001
Max D	0,30	0,09	0,48	0,35	-3,25	0,001
RP	0,89	0,02	0,77	0,11	6,24	0,001
PI	8,38	3,22	2,43	1,53	14,7	0,001
AE	28,44	6,68	39,32	7,24	-8,18	0,001

series de Fourier. Esto significa que a través de ellos puede lograrse una buena diferenciación entre ambos grupos.

La función discriminante (F1), cuando se consideraron los parámetros correspondientes a las series de Fourier, fue la siguiente:

Cuadro 3

Comparación de los resultados obtenidos por las dos formas de evaluación hemodinámica con respecto a los hallazgos arteriográficos

		Según Arteriografía	
		Normales	Patológicas
Según Series de Fourier	Normales	94	3
	Patológicas	4	38
Según Vasoscan VL	Normales	97	2
	Patológicas	1	39

Cuadro 4

Valores de sensibilidad, especificidad y porcentaje de casos bien clasificados por los dos procedimientos

Procedimiento	Series de Fourier	Vasoscan VL
Sensibilidad	93%	95%
Especificidad	96%	99%
Casos bien clasificados	95%	98%

$$F_1 = \frac{a_0}{a_0 + b_1} = \frac{0,0174}{0,0534 + 0,0171} = 0,3651$$

Por otra parte, la correspondiente a los calculados directamente por el Vasoscan VL (F_2) fue:

$$F_2 = \frac{AE}{AE + RP} = \frac{1,6304}{1,6304 + 1,5186} = 0,5270$$

Sólo se incluyeron los que produjeron una mejoría significativa en la clasificación.

En el Cuadro 3 se comparan los resultados logrados al aplicar esas funciones matemáticas con respecto a los grupos reales de pertenencia de todos los individuos estudiados. En el Cuadro 4 pueden apreciarse los porcentajes de casos bien clasificados, sensibilidad y especificidad logrados al utilizar ambos procedimientos.

Discusión

Como dentro del grupo control se incluyeron sujetos de diferentes eda-

des se pudo evidenciar la ausencia de efecto del envejecimiento sobre los parámetros hemodinámicos estudiados. Por tanto, estos valores normales pueden emplearse para evaluar a los pacientes dentro de este rango de edades.

Por otra parte, la comparación entre las arterias femorales normales y las patológicas evidenció grandes diferencias significativas. De ahí que se hiciera un análisis discriminante para seleccionar el mejor conjunto de variables para clasificar estas curvas.

Los resultados obtenidos mediante las series de Fourier fueron, en la práctica, similares a los alcanzados cuando se utilizaron únicamente los parámetros que calcula automáticamente el equipo Vasoscan VL, por lo que en la clínica se podrían emplear indistintamente. Aunque el cálculo de los coeficientes de las series de Fourier es mucho más complicado, quizás su uso podría apro-

tar más información desde el punto de vista fisiopatológico o podría lograr una mejor cuantificación del grado de estenosis, aspectos que aún quedan por investigar.

Aunque se han ensayado muchos de estos procedimientos para el estudio de las arterias carótidas (14-16), su uso en arterias periféricas podría mejorar la precisión diagnóstica de estos métodos. Con la introducción de los equipos de ultrasonido Doppler de onda pulsada con registro simultáneo de imagen en modo B («duplex scanning») (14, 17, 18) y con los instrumentos donde el flujo se codifica en colores (19) se han obtenido excelentes resultados en la evaluación hemodinámica de la circulación arterial periférica, pero ambos necesitan equipos mucho más costosos. A pesar de que no se han explorado todas las potencialidades de las funciones discriminantes de este trabajo, con ellas se han alcanzado buenos resultados y de forma más económica.

En **conclusión**, la técnica propuesta permite el estudio cuantitativo más objetivo y de forma incruenta de las arterias femorales, puede incorporarse a la práctica clínica con fines diagnósticos y podría ser útil para obtener información sobre diversos fenómenos fisiopatológicos de la enfermedad arteriosclerótica.

BIBLIOGRAFIA

1. ARBIELLE, P. et al.: L'échotomographie et l'analyse spectral du signal Doppler dans le bilan des lésions carotidiennes. «J. Mal. Vascul.», 9: 171, 1984.
2. FISCHER, M. et al.: Doppler-Frequenz-Spectrum-Analyse extrakranieller Carotisläsionen. «Dtsch. Med-Wochenschr.», 109: 947, 1984.
3. KRAUSE, H. et al.: Doppler power frequency spectrum analysis in the diagnosis of carotid artery disease. «Stroke», 15: 351, 1984.
4. BARNES, R. W. et al.: Real time Doppler spectrum analyzer: predictive value in defining operable ca-

- rotid artery disease. «Arch. Surg.», 117: 52, 1982.
5. BURNS, P. N.: The physical principles of Doppler and spectral analysis. «J. Clin. Ultrasound», 15: 567, 1987.
 6. WALTON, L. et al.: Prospective assessment of the aorto-iliac segment by visual interpretation of frequency analyzed Doppler waveforms: a comparison with arteriography. «Ultrasound Med. Biol.», 10: 27, 1984.
 7. SKIDMORE, R. et al.: Transfer function analysis of common femoral artery Doppler waveforms. «Br. J. Surg.», 66: 883, 1979.
 8. SKIDMORE, R. y WOODCOCK, J.: Physiological interpretation of Doppler-shift waveforms: III. Clinical results. «Ultrasound Med. Biol.», 6: 227, 1980.
 9. WOODCOCK, J. et al.: A new noninvasive technique for assessment of superficial femoral artery obstruction. «Br. J. Surg.», 59: 226, 1972.
 10. VEGA, M. E. et al.: Métodos para el filtrado de las curvas de velocidad de flujo arterial. En prensa, en «Rev. Cub. Invest. Biomed.».
 11. VEGA, M. E. et al.: Análisis de las curvas de flujo arterial mediante series de Fourier. En prensa, en «Ultrasónidos».
 12. PLANIOL, T. et al.: Etude de la circulation carotidienne par les méthodes ultrasoniques et la thermographie. «Revue Neurol.», 126: 127, 1972.
 13. GOSLING, R. G. et al.: Arterial assessment by Doppler shift ultrasound. «Proc. Roy. Soc. Med.», 67: 447, 1974.
 14. JACOBS, N. M. et al.: Duplex carotid sonography: criteria for stenosis, accuracy and pitfalls. «Radiology», 154: 385, 1985.
 15. PEARCE, W. H. et al.: Noninvasive vascular diagnostic testing. «Current Problems in Surgery», 20: 460, 1983.
 16. ZBORNIKOVA, V. et al.: Duplex scanning and periorbital pulsed Doppler in the diagnosis of external carotid artery disease: analysis of causes of error. «Clin. Physiol.», 5: 272, 1985.
 17. GARTH, K. E. et al.: Duplex ultrasound scanning of the carotid arteries with velocity spectrum analysis. «Radiology», 147: 823, 1983.
 18. BLACKSHEAR, W. M. et al.: Correlation of the hemodynamically significant internal carotid stenosis with pulsed Doppler frequency analysis. «Ann. Surg.», 199: 475, 1984.
 19. MERRIT, C. R.: Doppler color flow imaging. «J. Clin. Ultrasound», 15: 591, 1987.