

# INDIVIDUALIZACION DE UN FACTOR DE CORRELACION EN EL CALCULO DE LA ACELERACION SISTOLICA POR LA VALORACION CUANTITATIVA DE LA CURVA VELOCIDAD DOPPLER (\*)

P. POLA, A. DAL LAGO, M. SERRICCHIO, R. FLORE, P. TONDI

**Istituto di Clinica Medica (Direttore: Prof. R. Breda). Servizio di Angiologia Medica (Primario: Prof. P. Pola). Università Cattolica del Sacro Cuore. Roma (Italia)**

## Introducción

La importancia del empleo de los ultrasonidos en el campo de las enfermedades vasculares va continuamente en aumento, en especial en el sector cerebral.

La evolución y perfeccionamiento de los aparatos y de las técnicas de aplicación y una mejor experiencia de los investigadores, colocan al examen Doppler en una posición de claro prestigio en relación a los otros diagnósticos instrumentales (2, 12).

La aplicación del efecto Doppler en Medicina se ha ido desarrollando con alternadas vicisitudes y con variable crédito, a partir de los estudios de BROCKENBROUGH, que fue el primero en describir en 1970 el «test» oftálmico por compresión de la arteria temporal superficial y ha puesto en evidencia la importancia de dicho «test» en las obstrucciones y estenosis intensas de la arteria carótida interna (3).

Sucesivamente, con el examen de las otras arterias del sector cerebral extracraneano y el registro gráfico de la curva velocidad ha sido posible estudiar de modo directo la hemodinámica de la circulación cerebral (4, 6, 7, 8).

Algunas de las ventajas de tal método, conocido ahora por todos, son la no agresividad (no invasividad), la posibilidad de poderse repetir, el bajo coste social, el poderse practicar ambulatoriamente y la óptima credibilidad diagnóstica.

Credibilidad que, según varios autores, alcanza un 100 % en las obstrucciones carótideas y un 90-98 % en las estenosis hemodinámicamente significativas.

Se excluyen de este porcentaje las estenosis no hemodinámicamente significativas, es decir inferiores al 50 % de la luz vascular.

De cualquier modo, una credibilidad tan elevada no puede prescindir de

---

(\*) Traducido del original en italiano por la Redacción,

algunos presupuestos fundamentales, tales una óptima preparación teórico-práctica del examinador y una amplia experiencia con el Doppler.

Pero, incluso con estos presupuestos, la ultrasonografía Doppler será siempre un examen cualitativo, ligado a una valoración casi siempre morfológica y funcional de los datos obtenidos y por consiguiente caracterizada por una interpretación que puede ser distinta no sólo entre las varias escuelas sino incluso entre diferentes examinadores.

Por este motivo se ha intentado dar un valor cuantitativo a los datos obtenidos con este método.

Se han individualizado varios parámetros en la curva velocidad y se han puesto a punto numerosos índices cuyos valores permiten una buena credibilidad diagnóstica, como los propuestos por POURCELOT y por FRANCESCHI (1, 9, 5).

No obstante, basados sobre todo en el cálculo cuantitativo de la velocidad del flujo sanguíneo, no tienen en cuenta el factor tiempo, que por contra es considerado justamente por otros autores, como RUTHERFORD, quien con una ecuación de más variables obtiene un análisis cuantitativo en función de la velocidad y del tiempo (11).

Sin embargo, la complejidad de los cálculos relativos a tal ecuación la hacen poco aplicable desde el punto de vista práctico para un empleo sistemático.

Por tales motivos, las investigaciones en el campo de la ultrasonografía Doppler están todavía en pleno desarrollo.

La presente investigación, a partir de la valoración cuantitativa de algunos parámetros de la curva de velocidad, se propone establecer la credibilidad de alguno de ellos e individualizar aquellos más útiles para un rápido y preciso diagnóstico de las estenosis carótideas.

### **Materiales, métodos de información y características de los sujetos examinados**

Nuestra experiencia se basa en el estudio de 70 sujetos sanos y portadores de vasculopatías elegidos en el ámbito de una más amplia casuística.

El diagnóstico se ha basado en los datos clínicos y en el examen Doppler y confirmado por arteriografía tradicional.

De los 70 sujetos 21 son normales al control y 48 afectados de enfermedad aterosclerótica estenosante de las carótidas.

Hemos excluido de esta investigación a los que presentaban una obstrucción completa de la carótida, ya que la interpretación morfo-funcional del Doppler nos permite el diagnóstico en el 100 %.

Los enfermos incluidos pertenecen a todas las edades, a partir de los 20 años, con predominio de los que sobrepasan los 40; 16 de ellos eran del sexo femenino.

En cada uno se ha efectuado el examen Doppler en las carótidas comunes, externas, internas, en las oftálmicas y temporales superficiales, en ambos lados, y se ha practicado el «ophthalmic test».

Para la obtención de la curva velocidad hemos empleado un velocímetro Doppler bidireccional Mod. MX 300 S, de Montagex, utilizando una sonda

de 8 MHz y, cuando no es posible, para la carótida interna, una de 4 MHz, con calibre de 1 cm. correspondiente a una señal de frecuencia de 1.000 Hz. La velocidad de inscripción fue de 25 mm/seg.

En este trabajo, entre todas las arterias examinadas, hemos tomado en consideración la carótida común y la interna de un solo lado, calculando los parámetros de la figura 1.

En los sujetos afectados de vasculopatía hemos considerado el lado en el que el Doppler o la arteriografía mostraban alteración.

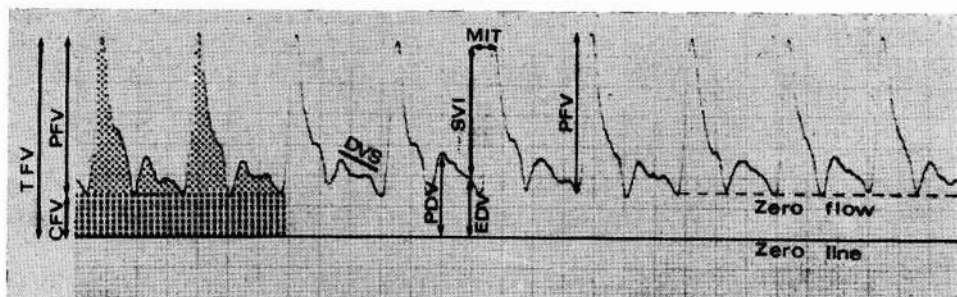


FIG. 1. — Parámetros:

- TFV = Velocidad de flujo total.
- PFV = Velocidad de flujo pulsátil.
- CFV = Velocidad de flujo continuo.
- PDV = Velocidad del pico diastólico.
- EDV = Velocidad del fin de la diástole.
- MIT = Tiempo de máximo aumento.
- SA = Aceleración sistólica  $PFV/MIT$ .
- DVS = Pendiente de la velocidad diastólica.
- $PFV/CFV$  = Relación entre flujo pulsátil y flujo continuo.

Entonces se ha procedido a confrontarlas con las arterias correspondientes de los sujetos normales, teniendo en cuenta que la comparación entre la arteria estenótica y la contralateral del mismo individuo vasculopático no puede resultar significativa, ya que esta última es presumible que esté también afectada por el mismo proceso patológico estructural, aunque no veamos variaciones de calibre.

Todos los datos han sido confeccionados y controntados por criterios estadísticos y matemáticos.

### Análisis de los datos y de los resultados

La comparación se ha efectuado para cada parámetro entre el grupo de 21 sujetos normales y el grupo de 49 afectos de estenosis carotídea, subdivididos en dos subgrupos: a) con estenosis de la carótida común (16 casos), b) con estenosis de la carótida interna (33 casos).

Se ha iniciado, pues, construyendo el diagrama de distribución de los valores de la velocidad de flujo total (TFV), en la carótida común (fig. 2) y en la carótida interna (fig. 3) en sujetos normales y sujetos estenóticos.

Al objeto de eliminar el diferente número de los distintos grupos, cada uno se ha calculado igual a 100.

La amplitud de los intervalos de transvariación (indicados con los símbolos  $x_A - x_B$ ) expresa el intervalo de los valores de la TFV, tanto de los sujetos normales como de los estenóticos.

Las áreas de indeterminación expuestas en las figuras son, en nuestra

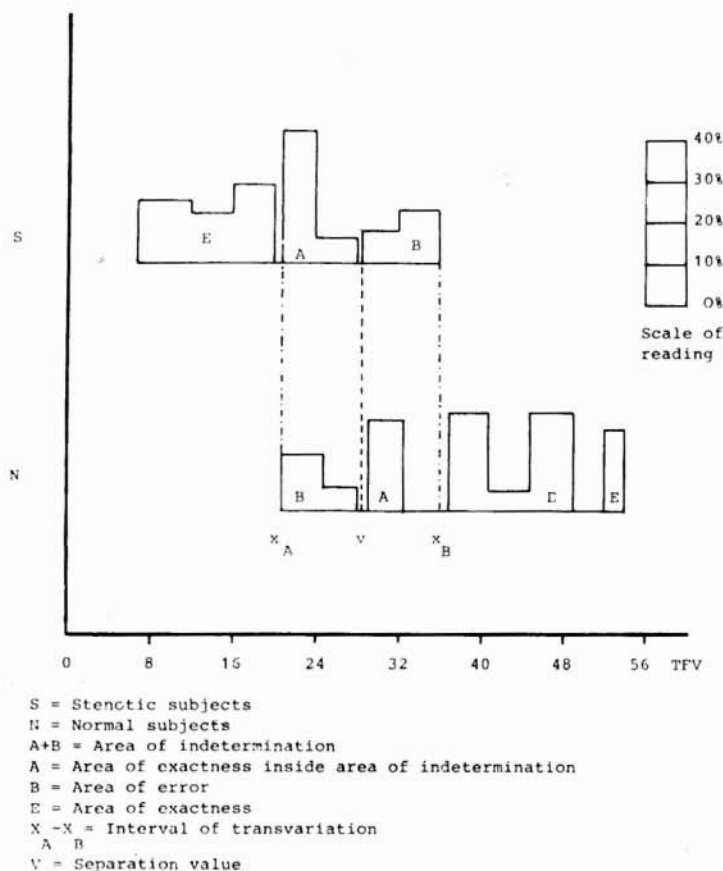


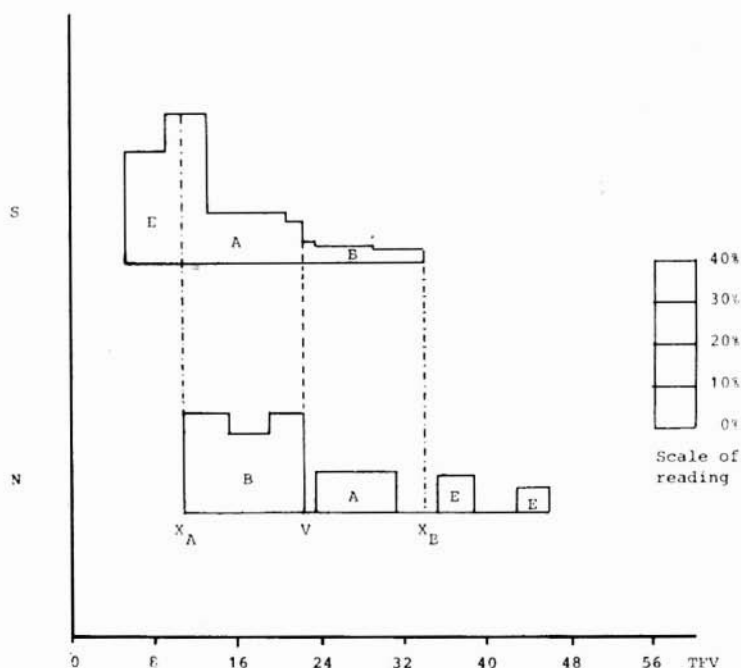
FIG. 2. — Distribución de los valores de TFV en los sujetos normales y en los sujetos patológicos (estenosis de la carótida común).

experimentación, en cuanto corresponde a la carótida común del 38 % en los sujetos normales y del 50 % en los estenóticos y en cuanto corresponde a la carótida interna del 86 % y 58 %, respectivamente.

Considerando, por otra parte, como valor de separación (V) entre los dos grupos el valor central del intervalo de transvariación, el porcentaje de error, basado en el valor de separación, resulta de cualquier modo elevado, del 19 %

en carótida común, tanto para los normales como para los estenóticos, y del 67 % y 9 %, respectivamente, en la carótida interna (en las figuras, las áreas de error se indican con la letra B).

Al ser estos porcentajes muy elevados, deducimos que el parámetro TFV no permite una discriminación eficaz entre sujetos normales y sujetos estenóticos.



S = Stenotic subjects  
N = Normal subjects  
A+B = Area of indetermination  
A = Area of exactness inside area of indetermination  
B = Area of error  
E = Area of exactness  
 $X_A - X_B$  = Interval of transvariation  
V = Separation value

FIG. 3.— Distribución de los valores del TFV en los sujetos normales y en los sujetos patológicos (estenosis de la carótida interna).

Resaltamos, sin embargo, que los valores relativos a la carótida interna son por lo común más bajos que los relativos a la carótida común; para cada carótida, además, los estenóticos presentan valores medianamente inferiores respecto a los normales.

La distribución de los valores de la TFV hallados en las cuatro muestras no aparecen como de tipo Gaussiano. A tal propósito el  $X^2$  no ha resultado

TABLA I

Parámetros	Carótida común					Carótida interna				
	Intervalos de transvariación	Valores de separación	% errores		Estenó- ticos	Intervalos de transvariación	Valores de separación	% errores		Estenó- ticos
			Norma- les	Norma- les				Norma- les	Norma- les	
TFV	21	28,5	19	19	19	11	22,5	67	67	9
PFV	15	20,5	19	31	31	9	17	67	67	15
CFV	4	7	38	19	19	1,5	-6,75	88	88	9
PDV	8,5	13,75	24	25	25	5,5	17,75	84	84	6
EDV	3	9	16	38	38	2,5	8,25	84	84	6
MIT	2	2,75	10	6	6	2,5	3,7	5	5	21
SA	6	6,7	16	19	19	2,8	6,2	28	28	6
DVS	7	15	33	38	38	15,5	19,25	43	43	12
PFV/CFV	1,8	3,15	33	56	56	1,8	4,2	33	33	33

significativo en la carótida interna en los estenóticos, mientras lo es escasamente en los otros tres grupos.

Por tanto, no podemos aplicar los Tests  $t$  de Student y  $F$  de Fisher para afirmar la diversidad de distribución de los sujetos normales respecto a los estenóticos, tanto para la carótida común como para la interna.

Aplicamos por contra el Test de Wilcoxon que, en su calidad de Test no paramétrico, no depende de la forma de distribución de la población de origen. Con tal Test el valor obtenido para el parámetro TFV, en las dos muestra examinadas, en número de 21 y 16, es de 162 para la carótida común.

Considerando el nivel de fiabilidad del 99 %, los valores límite del Test que obtenemos consultando las tablas del mismo son 228 y 327. Estando los valores obtenidos por nosotros por debajo del extremo inferior ( $162 < 228$ ), concluimos que en la población de la que hemos tomado la muestra la distribución de los valores de tal parámetro en los sujetos normales es distinto de la distribución del propio parámetro en los estenóticos.

De forma análoga, en la carótida interna se obtiene un valor  $W = 783$ . A nivel de fiabilidad 99 %, obtenemos por las tablas los extremos (424-689).

En este caso, el valor obtenido es mayor del extremo superior ( $783 > 689$ ), de lo que se deducen las mismas conclusiones que de la carótida común.

Por consiguiente, la presencia o no de una estenosis influye en la distribución de los valores de la TFV. Tal efecto, sin embargo, no es tan importante como para permitir separar, basándonos en dicho parámetro, el grupo de sujetos normales de los estenóticos.

Con objeto de determinar si existen uno o más parámetros que, considerados singularmente, permitan separar de modo eficaz el grupo de los normales de los estenóticos, tanto para la carótida común como para la interna, se han calculado para los parámetros tomados en consideración los extremos de los intervalos de transvariación, el valor central de tales intervalos, usado como valor de separación entre los de grupos, así como el porcentaje de errores cometidos en base al citado valor de separación, distintamente en los sujetos normales y en los estenóticos (tabla I).

De dicha tabla resulta que los porcentajes de error más bajos, en cuanto se refiere a ambas carótidas, se observan en los parámetros del tiempo de aumento máximo de la velocidad (MIT) en la Aceleración sistólica (SA).

De cualquier modo, ninguno de los parámetros indicados, considerados individualmente, puede ser tomado de referencia como criterio óptimo para separar los dos grupos.

A este respecto caben las siguientes consideraciones:

a) La presencia de una estenosis, en igualdad de otras condiciones, reduce la velocidad máxima de flujo sanguíneo; efecto que es tanto más marcado cuanto mayor es la diferencia entre la velocidad en el tiempo  $t$  y la velocidad en el tiempo  $t + 1$ . En nuestro caso, esto se verifica cuando se pasa de la velocidad del flujo continuo (CFV), valor mínimo, a la velocidad correspondiente al pico sistólico (TFV), valor máximo. Tal cantidad viene expresada por  $PFV = TFV - CFV$ .

b) La presencia de una estenosis, de modalidad igual a la anterior, produce por otra parte una dilatación de los tiempos necesarios para pasar de

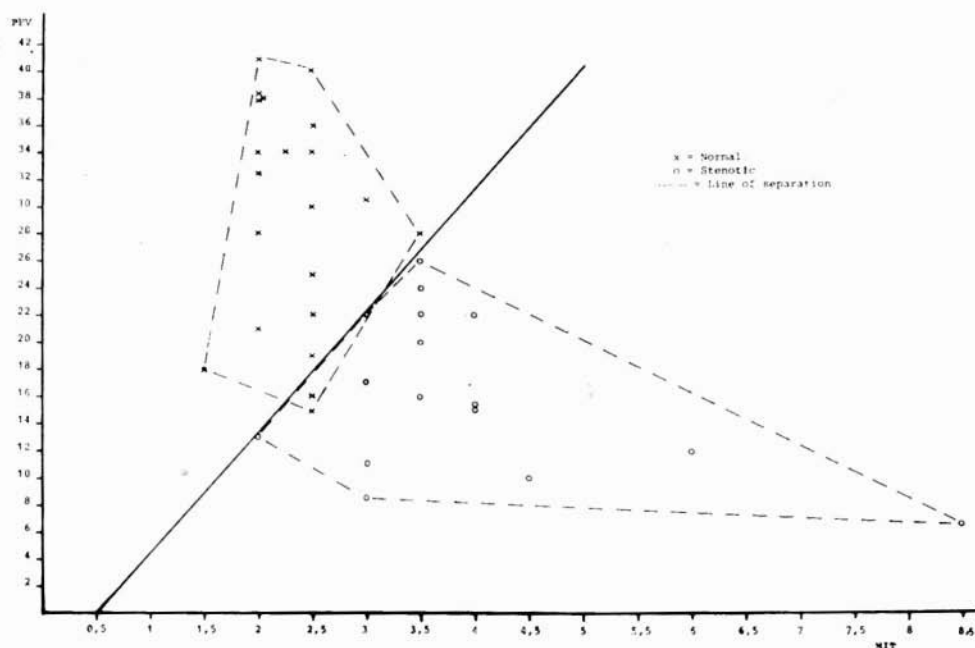


FIG. 4.—Arteria carótida común. Distribución de los valores del PFV y del MIT en el grupo de sujetos normales y en el grupo de sujetos con estenosis.

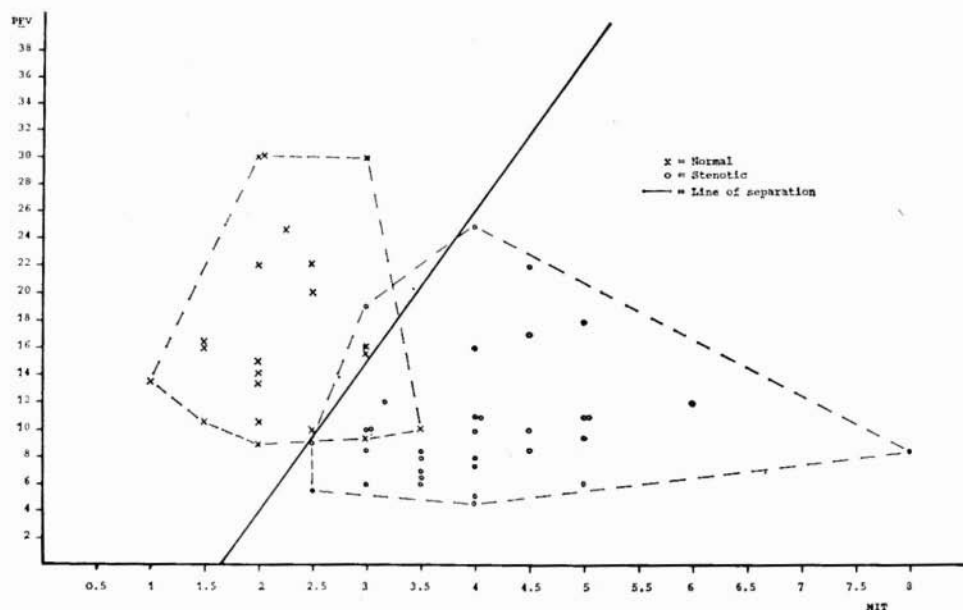


FIG. 5.—Arteria carótida interna. Distribución de los valores del PFV y del MIT en el grupo de sujetos normales y en el grupo de sujetos con estenosis.



una valor mínimo a uno máximo de la velocidad. En nuestro caso, precisará tomar como referencia el parámetro MIT.

Por tanto, se ha procedido a considerar conjuntamente los parámetros PFV y MIT al objeto de determinar un criterio óptimo de separación.

A tal fin, se han reportado en un sistema de ejes cartesianos los valores relativos a los dos grupos; y luego han sido trazados los contornos de las áreas de distribución.

Después se ha procedido, en correspondencia con los valores obtenidos por el parámetro MIT, a determinar la media con los valores correspondientes del PFV, ya en sujetos normales, ya en los estenóticos (10).

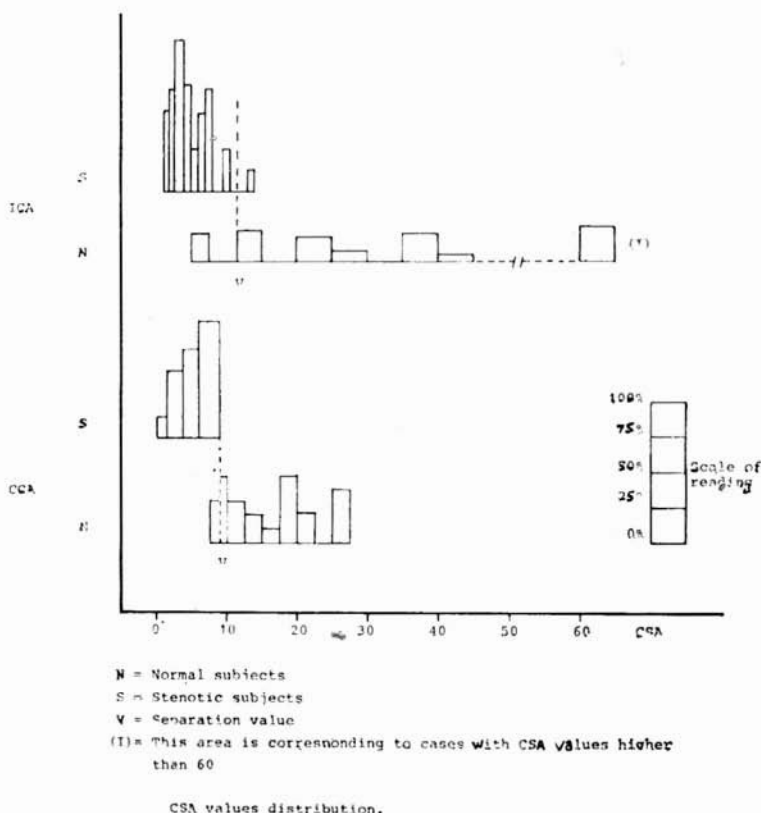


FIG. 6. — Distribución de los valores del CSA.

Una vez conseguida una serie de puntos, en relación con los distintos valores del MIT, se ha efectuado una interpolación analítica y, si no es posible, la interpolación gráfica entre ellos, de forma que se pueda determinar una línea de separación (figs. 4 y 5).

Basándonos en los parámetros de dicha línea del tipo  $y = ax + b$ , se ha

efectuado la transformación  $a = \frac{y}{x + \frac{b}{a}}$ , donde  $y = \text{PFV}$ ,  $x = \text{MIT}$ ,  $\frac{b}{a} = \text{coefi-}$

ciente de corrección del MIT,  $a = \text{valor de separación}$ .

Se ha podido calcular, después, un nuevo parámetro llamado Aceleración sistólica correcta (SA), definido por la relación entre la velocidad del flujo pulsátil (PFV) y el tiempo de máximo aumento (MIT) disminuido del factor de correlación.

Los valores de tal factor, obtenidos experimentalmente, son — 0,5 y — 1,63 respectivamente para la carótida común y la carótida interna, en tanto que los valores de separación entre los grupos de los sujetos normales y los de los estenóticos son 9 y 11 respectivamente.

En pocas palabras, podemos decir que un valor de ASC superior a 9 de carótida común y a 11 en carótida interna indica que el sujeto es normal y un valor inferior indica que está afecto de estenosis (fig. 6).

Como es obvio, valores del MIT inferiores a 1,63 en la carótida interna y a 0,5 en la carótida común indican que el sujeto debe considerarse seguramente entre los normales.

Los porcentajes de exactitud así obtenidos, lo mismo que los procedimientos de cálculo se exponen en la tabla II.

**TABLA II**

	Fórmula	Valor de separación	Porcentajes de exactitud	
			Normales	Estenóticos
Carótida común	PFV/(MIT-0,5)	9	90,5	100
Carótida interna	PVF/(MIT-1,63)	11	90,5	97

Se comprende, pues, que dicho parámetro CSA, aun considerando lo simple del cálculo, pueda ser utilizado para determinar con notable fiabilidad la presencia o no de una estenosis.

### Fiabilidad de los resultados

Al objeto de determinar hasta qué medida los resultados así obtenidos pueden depender de la casualidad en la elección de las muestras, se hacen las siguientes consideraciones:

1) La distribución de los valores de la Aceleración Sistólica correcta no permite afirmar con certeza que sea del tipo normal en la población de origen.

2) Los posibles distintos valores de  $p$  (porcentaje de sujetos cuya Aceleración Sistólica correcta se halla en el interior del «range» de discriminación

que hemos obtenido) en la población de origen tienen la misma posibilidad de comprobarse.

Calculamos, así, los valores de la función de verosimilitud en los distintos valores de  $p$  y aplicamos la metodología de la inducción Bayesiana, suponiendo que las probabilidades son a priori iguales entre ellos.

Los resultados nos permiten afirmar, con una fiabilidad del 99 %, que:

1) Al menos el 73 % de los individuos normales presenta valores del CSA que caen dentro del «range» de discriminación determinado por nosotros, ya sea para la carótida común como para la interna.

2) Al menos el 76 % de los individuos con estenosis de la carótida común presenta valores del CSA que caen dentro del «range» de discriminación determinado por nosotros.

3) Al menos el 1,83 % de los individuos con estenosis de la carótida interna presenta valores del CSA que caen dentro del «range» de discriminación determinado por nosotros.

Cabe, pues, concluir que el método de discriminación propuesto permite separar con notable eficacia los sujetos sanos de los afectados por estenosis de la carótida común o de la carótida interna.

Además y no menos importante, la aplicación del nuevo parámetro cuantitativo ASC ha permitido reducir al mínimo los errores ligados a las diferencias interpretativas de los distintos examinadores, mejorando, así, la reproducibilidad del método.

Prácticamente, el parámetro propuesto, al ser fácilmente cuantificable, permite dar una interpretación unívoca a cualquier trazado a la vez un fácil control de la evolución de la enfermedad arterial en el tiempo.

## RESUMEN

Los autores proponen un nuevo parámetro de valoración: La Aceleración Sistólica Correcta (ASC), que demuestra un porcentaje de exactitud del 100 % en las estenosis de la carótida común y del 97 % en las estenosis de la carótida interna. Tal parámetro ha sido formulado en el curso de una investigación pensada en individualizar uno o más parámetros fiables de la curva de velocidad ultrasonográfica.

El estudio se ha efectuado en tres grupos de sujetos: normal, con estenosis de la carótida común y con estenosis de la carótida interna.

Entre los parámetros conocidos los más fiables han resultado ser el Tiempo de máximo aumento (MIT) y la Aceleración Sistólica (SA).

Una mejoría en la fiabilidad diagnóstica se ha obtenido con la formulación del nuevo parámetro ASC, propuesto por los autores.

## SUMMARY

A new parameter on the evaluation of the Velocity curve Doppler, namely Correct Systolic Acceleration, for the Carotid stenosis study in proposed: 100 % of exactitude.

## BIBLIOGRAFIA

1. BARSOTI, J.; POURCELOT, L.; GRECO, J.; PLANIOL, T. H.; KNIFFU, H. Y., y CASTELLANI, L.: Utilisation de l'effet Doppler en pathologie et chirurgie vasculaire périphérique. «Ann. Chir. Thorac. Cardiovasc.», 11: 387, 1972.
2. BOUDIN, G.; GUILLARD, A., y ROMION, A.: Confrontation examen Doppler-artériographie en pathologie artérielle cervicale. «Nouv. Presse Méd.», 6: 2423, 1977.
3. BROCKENBROUGH, E. C.: Screening for the prevention of stroke: Use of a Doppler flowmeter. Pamphlet from the «Information and Education Resource Support Unit of the Washington/Alaska Regional Medical Program-1970».
4. DE BRAY, J. M.; DAUZAT, M.; TISEIRE-GIROD, F.; DAVINROY, M., y EMILE, J.: L'effet Doppler appliqué a l'étude des artères vertébrales. «Nouv. Presse Med.», 7: 39, 1978.
5. FRANCESCHI, C.: Doppler et carotides. «Journ. des Maladies Vasculaires», 3: 217, 1978.
6. GERAUD, J.; BES, A.; GERAUD, G., y GÜELL, A.: Ultrasonographie par effet Doppler dans les thromboses et sténoses de la carotide interne. «Bull. Acad. Nat. Med.», 161: 16, 1977.
7. MARCADE, J. P.: L'exploration transcutanée de l'artère vertébrale par effet Doppler. Technique. Résultats en pathologie vertébro-sous-clavière. «Journ. des Maladies Vasculaires», 3: 212, 1978.
8. MIKOL, M.: Intéret et limites de l'exploration des carotides par l'effet Doppler. «Journ. des Maladies Vasculaires», 3: 212, 1978.
9. PLANIOL, T. H., y POURCELOT, L.: Étude de la circulation carotidienne au moyen de l'effet Doppler. «Traité de Radiodiagnostic», Tomo 13, 1, 1972, Masson et Cie. Édit. Paris.
10. RIZZI, A.: Montecarlo studies on robustness. «Istituto di Statistica e Ricerca Sociale, Università di Roma C. Gini - C. I. S. U.», pág. 10, 1979.
11. RUTHERFORD, R. B.; HIATT, W. R., y KREUTZER, E.: The use of velocity wave form analysis in the diagnosis of carotid artery occlusive disease. In «Noninvasive Cardiovascular Diagnosis». Ed. by University Park Press, pág. 75, 1978.
12. WISE, G.; BROCKENBROUGH, E. C.; MARTY, R., y GRIEF, R.: The detection of carotid artery obstruction: A correlation with arteriography. «Stroke», 2, 105, 1971.