

La técnica de análisis de onda de pulso en la determinación del riesgo cardiovascular

FERNANDO M. CLARA*, MARIA L. CAYROL†, ADRIANA G. SCANDURRA‡, GUSTAVO J. MESCHINO‡, MIRIAM G. GARZILLO§, EDUARDO MOYANO§, ANIBAL R. INTROZZI¶¶

En 76 voluntarios de edades y condiciones diversas se efectuó un estudio de riesgo cardiovascular al que se le incorporó la técnica de análisis de forma de onda de pulso radial mediante registros incruentos de variación del diámetro arterial. Esta técnica se basa en el estudio de reflexiones de la onda de presión generadas en discontinuidades del sistema arterial y lechos arteriolares, cuyos retardos y amplitudes dependen de parámetros arteriales afectados por el envejecimiento y las enfermedades cardiovasculares. La calidad de los registros, obtenidos mediante tecnología propia, resultó similar a la lograda mediante tecnologías de mayor costo. Se brinda un panorama de sus posibilidades como herramienta para evaluar riesgo cardiovascular basado en las experiencias realizadas durante el estudio. Se obtuvo un patrón de variación de la forma de los registros con la edad. Los jóvenes presentaron una onda sistólica angosta y una onda diastólica de gran amplitud. Al aumentar la edad, la onda sistólica se fue ensanchando y la onda diastólica se fue reduciendo. En algunos casos la edad arterial no coincidió con la biológica mientras que en otros se observó la presencia de reflexión sistólica, potencial factor de riesgo. En individuos hipertensos se distinguieron diversos grados de deterioro de las propiedades elásticas arteriales, aun en los casos que presentaron niveles similares de presión arterial.

Rev Fed Arg Cardiol 2005; 34: 213-220

El estudio de riesgo cardiovascular se efectúa, tradicionalmente, mediante la toma de presión arterial, el interrogatorio sobre hábitos de vida y el análisis de lípidos en sangre. Sin descartar estas técnicas tradicionales se ha agregado a ellas una herramienta novedosa e incruenta, llamada análisis de onda de pulso, que brinda nuevas posibilidades en la evaluación y detección temprana de enfermedades cardiovasculares.¹ Desde fines de los años '90 se ha incrementa-

do notoriamente el número de publicaciones sobre este tema, en coincidencia con la aparición en el mercado de instrumental especializado que facilita la toma de registros y su procesamiento, y brinda resultados numéricos que permiten comparar parámetros arteriales de distintos individuos y estudiar su evolución.

El tonómetro es el transductor más utilizado. Se apoya sobre la zona de palpación del pulso radial o carotídeo y entrega una tensión proporcional al valor instantáneo de la presión intraarterial. Existen variantes, tales como los dispositivos pletismográficos, que registran el flujo volumétrico digital relacionado con la misma presión.²

La forma de onda de presión radial consta, básicamente, de una onda sistólica (OS) y de otra diastólica (OD) separadas por una incisura, con duraciones coincidentes con la sístole y la diástole cardíacas.³ La pendiente de caída de la OS se aproxima a una exponencial relacionada con la compliancia de las grandes arterias y la resistencia periférica.⁴ La OD puede ser descripta como una caída exponencial, de similar naturaleza que la caída de OS, a la que se superpone una oscilación amortiguada relacionada con la compliancia de las pequeñas arterias terminales y la inercia de la columna de fluido a lo largo del trayecto hacia ellas.⁵

Servicio Universitario de Salud, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP).

* Profesor Titular de la UNMDP. Investigador Director del Laboratorio de Bioingeniería de la UNMDP.

† Directora Médica del Servicio Universitario de Salud (UNMDP).

‡ Investigador del Laboratorio de Bioingeniería (UNMDP).

§ Médico del Servicio Universitario de Salud (UNMDP).

¶¶ Profesor Asociado de la UNMDP. Ex-docente Adjunto de Cirugía Cardiovascular de la Universidad de Buenos Aires (UBA). Especialista en Cirugía Vasculat Periférica, Instituto Nacional de Rehabilitación Psico-física del Sur, Mar del Plata.

Dirección postal: Fernando M. Clara. Independencia 387. 5000 Córdoba. Argentina

e-mail: fmclara@fi.mdp.edu.ar

Recibido: abril de 2005.

Aceptado: mayo de 2005.

En muchos casos se observa una tercera onda sobre la pendiente de caída sistólica, y se la suele llamar segunda onda sistólica o reflexión sistólica (RS).¹ Esta es consecuencia de la onda sistólica que se propagó por la aorta, se reflejó en la zona inferior del cuerpo y arribó con cierto retardo a la zona de registro radial.⁶ Dicho retardo es función de la velocidad de propagación de la onda de presión en la aorta y las arterias de los miembros inferiores, que, a su vez, depende de la elasticidad de dichas arterias, incrementándose al avanzar la edad y los procesos hipertensivos. Este hecho permite cuantificar las propiedades elásticas arteriales del individuo.⁷ La pérdida de elasticidad arterial o el aumento de velocidad de la onda de pulso son factores de riesgo reconocidos.⁸

La OD posee un valor funcional importante. El miocardio se nutre durante la diástole, por lo cual una buena amplitud de OD mejora la perfusión miocárdica.⁹ Tal amplitud es función de las propiedades elásticas de arterias y arteriolas terminales y disminuye con la edad, razón por la cual puede ser considerada otro parámetro para determinar el envejecimiento arterial.¹⁰

La forma de la onda de pulso varía notoriamente con el envejecimiento natural. Básicamente, la OS es angosta en los jóvenes y se va ensanchando al avanzar la edad, en tanto que la amplitud de la OD disminuye continuamente, siendo prácticamente inexistente en los ancianos. La RS se observa en los niños, disminuye durante la adolescencia y vuelve a aumentar en la madurez.¹¹

Al avanzar la edad, el retardo de la RS disminuye, apareciendo cada vez más alta sobre la onda sistólica, hasta llegar a la parte superior, causando su ensanchamiento y formando frecuentemente una meseta en los ancianos.^{1,11}

Registros simultáneos de las presiones aórtica y radial muestran que a nivel aórtico la RS se encuentra menos retardada que a nivel radial.¹² Esto significa que si en el registro radial existe una RS cercana al vértice, en el registro aórtico la RS retornará en plena sístole y se sumará a la presión sistólica, resultando una presión aórtica mayor que la humeral. Este fenómeno se denomina *aumentación aórtica*, no es detectado por la toma convencional de presión arterial e impone una condición de trabajo desfavorable al ventrículo izquierdo y al sistema arterial.¹³ Por una parte el ventrículo debe vencer una presión mayor para mantener el mismo caudal, aumentando el consumo de oxígeno miocárdico. El aumento de la presión diferencial intensifica el estrés parietal sobre las grandes arterias, tendiendo a romper las láminas de elastina por un fenómeno denominado *fatiga mecánica*. Con el tiempo esta situación conduce a la hipertrofia del ventrículo izquierdo y al desarrollo de hipertensión por pérdida de las propiedades elásticas del sistema arterial.¹⁴ Por tal razón se considera a la *aumentación*

aórtica un factor de riesgo independiente de los convencionales.

La forma de presión aórtica puede obtenerse a partir del registro de onda de presión radial en base a un algoritmo matemático.¹⁵ Pero el registro radial permite también cuantificar este factor de riesgo de manera directa.¹⁶ Sencillamente, si no existe RS no existe *aumentación*, y el riesgo de desarrollar un evento cardiovascular es bajo. Si existe RS, pero la misma se halla alejada de la cúspide, el riesgo también es bajo. Si en cambio la RS se verifica próxima a la cúspide, a nivel aórtico ha coincidido con el máximo sistólico, generando el efecto de *aumentación e incrementado* el riesgo cardiovascular.

Dado el alto costo de la tecnología tonométrica usada actualmente para obtener los registros de presión, se ha desarrollado una técnica alternativa consistente en el registro de las variaciones de diámetro de la arteria radial mediante un transductor capacitivo aplicado sobre la zona de palpación del pulso. Las variaciones de diámetro radial son parecidas a las de presión, razón por la cual ambos tipos de registro y sus interpretaciones son similares.¹⁷

El propósito del presente trabajo es dar a conocer las posibilidades de la evaluación del estado del sistema arterial basada en registros de variación del diámetro arterial (VDA). Para obtener los mismos se utilizó tecnología disponible en nuestro medio, factible de ser utilizada en estudios de prevención de enfermedades cardiovasculares por nuestro sistema de salud pública.

MATERIAL Y METODO

Se eligió incorporar el análisis de VDA a un programa de detección de riesgo cardiovascular en una comunidad universitaria, población sedentaria y sujeta a niveles variados de estrés, cuya continuidad laboral permitirá efectuar un seguimiento durante períodos prolongados.

Cada estudio consistió en una encuesta convencional sobre hábitos de vida y antecedentes personales, toma de presión arterial y registros de VDA y ECG durante 50 segundos. La presión arterial se tomó como mínimo en dos oportunidades, a los 15 minutos de iniciado el estudio y al finalizar el mismo. Los registros de VDA obtenidos fueron posteriormente procesados para eliminar artefactos, y se calcularon índices de amplitud de onda diastólica y de ancho de onda sistólica. Los sujetos fueron clasificados como NT o HT, según el límite de 90/140 mmHg para las presiones diastólica y sistólica.

Para obtener los registros de VDA se utilizó un sensor capacitivo, consistente en una placa metálica rectangular de 2 cm² que es apoyada sobre la zona de palpación del pulso radial. Conectando al paciente a potencial de masa queda formado un capacitor entre

TABLA 1

VALORES PROMEDIO \pm IC95% DE LA AMPLITUD RELATIVA DE LA ONDA DIASTOLICA AD Y DEL ANCHO AL 50% DE LA ONDA SISTOLICA AOS EN UN CONJUNTO DE 57 NORMOTENSOS, DE EDADES COMPRENDIDAS ENTRE 20 Y 69 AÑOS

NT década	20/30	30/40	40/50	50/60	60/70
Nº de muestras	9	11	14	19	4
Amplitud onda diastólica (%)	12,4 \pm 5,5	6,8 \pm 1,9	5,9 \pm 1,4	46 \pm 1,6	3,9 \pm 1,7
Ancho onda sistólica (mseg)	155 \pm 28	189 \pm 34	197 \pm 13	215 \pm 17	221 \pm 18

ambos. El movimiento de la pared arterial se transmite a la superficie de la piel, provoca el movimiento de la placa, y la capacidad varía al ritmo del ciclo cardíaco. Las variaciones de capacidad son transformadas en variaciones de tensión, constituyendo la salida del detector de VDA.

Los temblores fisiológicos del brazo del paciente actúan como artefactos superpuestos a la señal útil. Para reducirlos se empleó la técnica de promediación.¹ Para implementarla se utilizó como referencia temporal a la onda R del electrocardiograma (ECG), tomado en forma convencional simultáneamente con el de VDA. Los registros de VDA y ECG fueron digitalizados y adquiridos por una computadora personal y se los graficó en pantalla, se los almacenó y se los procesó.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se exponen los resultados obtenidos sobre 57 individuos normotensos, ordenados en base a cada década de vida. Para evaluar los registros de VDA se eligieron dos índices fáciles de determinar: la amplitud diastólica [AD (%)], tomada como diferencia entre el máximo diastólico y la base de la onda sistólica, expresada como porcentaje a la altura total de esta última, y el ancho de la onda sistólica [AOS (mseg)], tomado a una altura del 50% de la altura total. Obsérvese que al avanzar la edad disminuye la AD y aumenta el AOS. Fueron excluidos 4 sujetos normotensos con registros atípicos, considerándose que merecen aten-

ción especial, y también 3 individuos de 72, 82 y 84 años, dado que resultaron estadísticamente insuficientes para el análisis por décadas.

Los resultados se expresan como media \pm intervalo de confianza del 95%, detallándose en la misma Tabla la cantidad de muestras por grupo etáreo. Se utilizó el test de ANOVA de Kruskal Wallis (cinco grupos, un factor) resultando $p = 0,016$ para la variable AD y $p = 0,0029$ para AOS. Las diferencias fueron consideradas estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$.

Analizando los registros de manera individual uno de los resultados más llamativos consistió en que se encontraron individuos que presentaron reflexión sistólica o que carecieron de ella, con distintos matices intermedios, indicando la pertenencia a grupos bien diferenciados. Concretamente, un pequeño porcentaje de individuos normotensos (11%), de edades comprendidas entre 20 y 60 años, no presentó RS. En ellos la onda sistólica resultó relativamente angosta y la onda diastólica conservó una amplitud apreciable aun en los individuos de mayor edad (Figuras 1 y 2).

Un segundo grupo presentó RS con distintos grados de amplitud y ubicación sobre la pendiente de caída sistólica. La OD resultó de menor amplitud que en los individuos que carecen de tal reflexión. En los jóvenes la RS se presentó en una posición baja sobre la caída sistólica (Figura 3). Al aumentar la edad la posi-

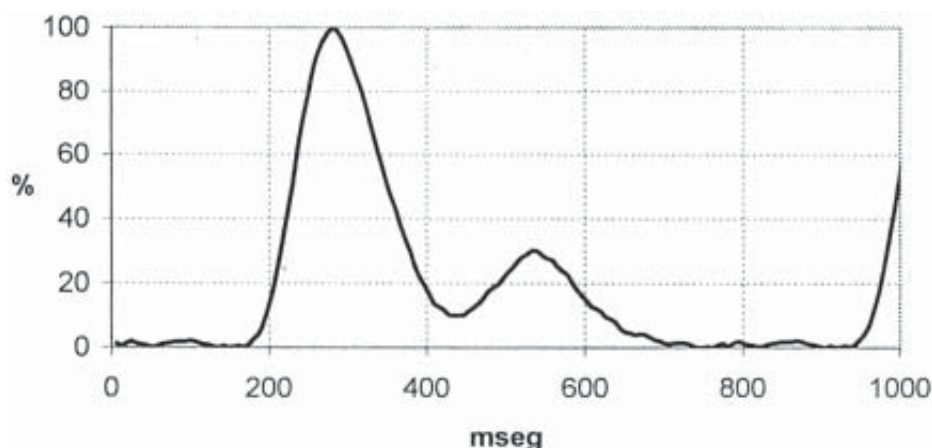


Figura 1. Registro de VDA de un joven sin OSS (edad: 18 años; presión arterial: 120/83 mmHg). La OS es muy angosta y la OD es muy amplia. No se observa ninguna alteración (reflexión) sobre la pendiente de caída sistólica. El máximo valor (100%) representa el diámetro sistólico y el mínimo valor (0%) el diámetro diastólico. El cero en la escala de tiempos coincide con la ocurrencia de la onda R del electrocardiograma.

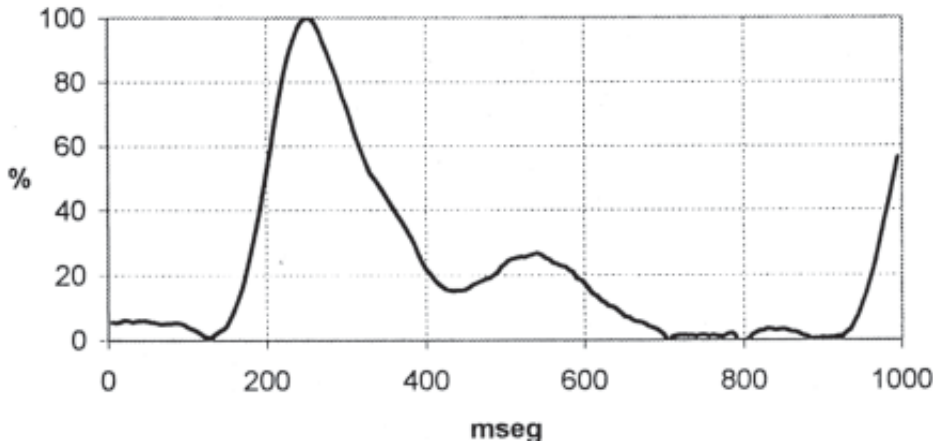


Figura 2. Adulto sin OSS (edad: 60 años; presión arterial: 130/80 mmHg). La OS es angosta y la OD es amplia. No se observa ninguna reflexión destacable sobre la caída sistólica.

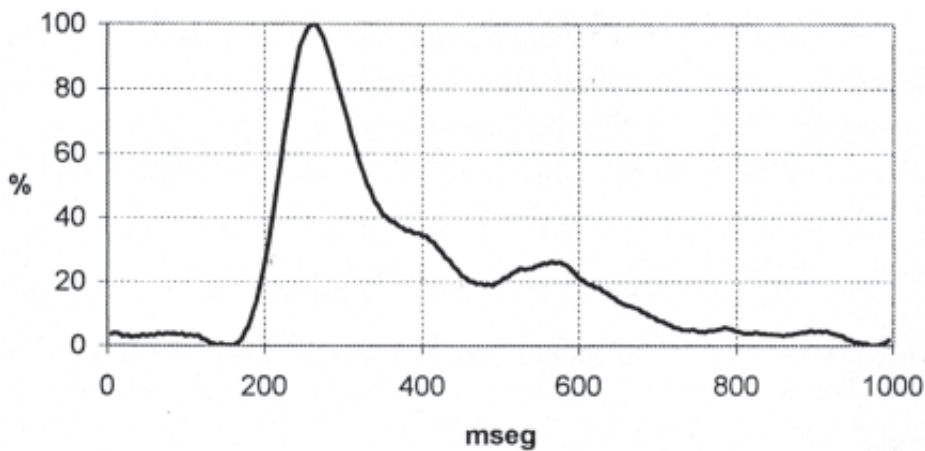


Figura 3. Joven con OSS (edad: 27 años; presión arterial: 129/75 mmHg). La parte superior de la OS es angosta, pero su base se ensancha por la presencia de una onda reflejada o reflexión sistólica RS que arriba casi al finalizar la pendiente de caída sistólica. La OD es menos amplia que en la Figura 1.

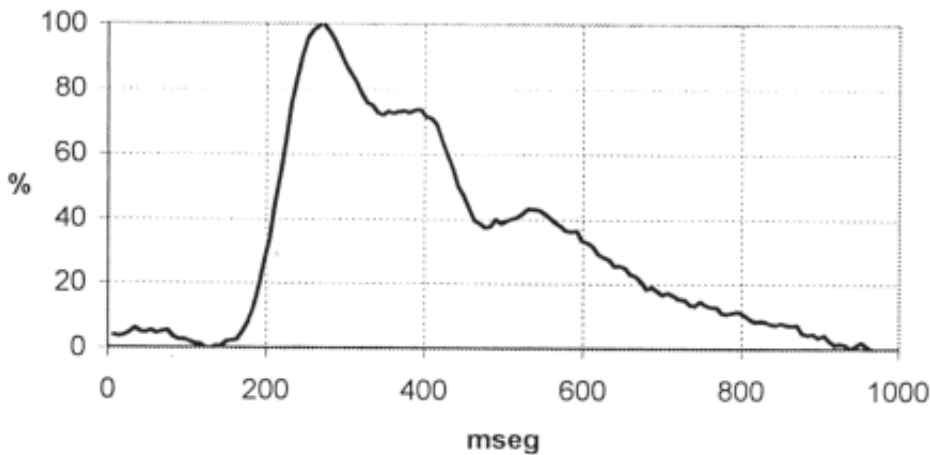


Figura 4. Adulto con OSS (edad: 38 años; presión arterial: 132/88 mmHg). La OS tiene un aspecto ancho debido a la presencia de una reflexión de mayor amplitud que arriba prematuramente durante la pendiente de caída sistólica. La OD es poco prominente.

ción de la reflexión sistólica fue ascendiendo y aumentando su amplitud, mientras que la OD fue disminuyendo, tal como se expone en la Figura 4.

En los ancianos, la RS comenzó inmediatamente después del vértice o máximo sistólico. Simultáneamente, la amplitud de la OD resultó mínima, tal como se observa en la Figura 5.

El grupo de normotensos que presentó reflexión sistólica marcada es el más numeroso y hemos hallado en él una gran variedad de situaciones, desde adul-

tos de la quinta década que presentan OS ancha y redondeada y baja OD, alteraciones que corresponden a edades avanzadas (Figura 6), hasta adultos de la séptima década que conservan la RS a una altura intermedia y la OD bien pronunciada.

Entre los voluntarios que accedieron al estudio hubo 19, de edades entre 30 y 70 años, que presentaron niveles de presión arterial superiores a 90/140 mmHg, a los que se clasificó como hipertensos o como posibles hipertensos y se los excluyó estadísticamente del gru-

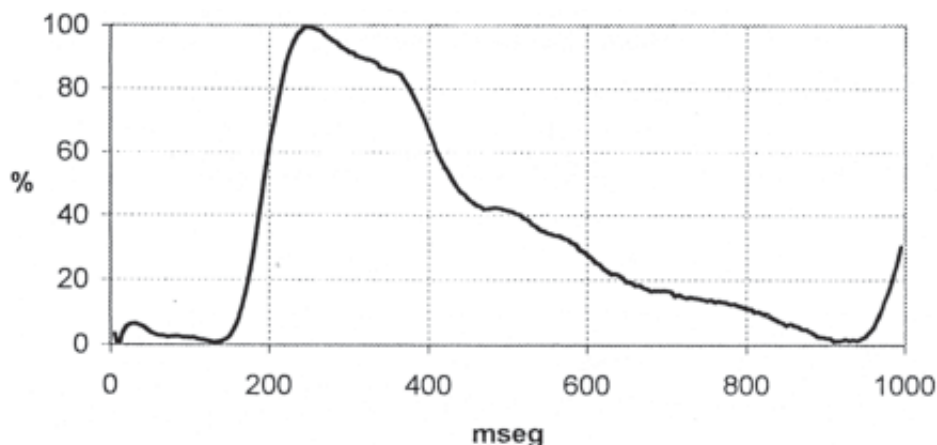


Figura 5. Registro de un anciano normotenso (edad: 84 años; presión arterial: 138/88 mmHg). La OS es ancha y tiende a formar una meseta superior. Se debe a una reflexión que retorna en plena sístole a la raíz aórtica. La OD es casi inexistente.

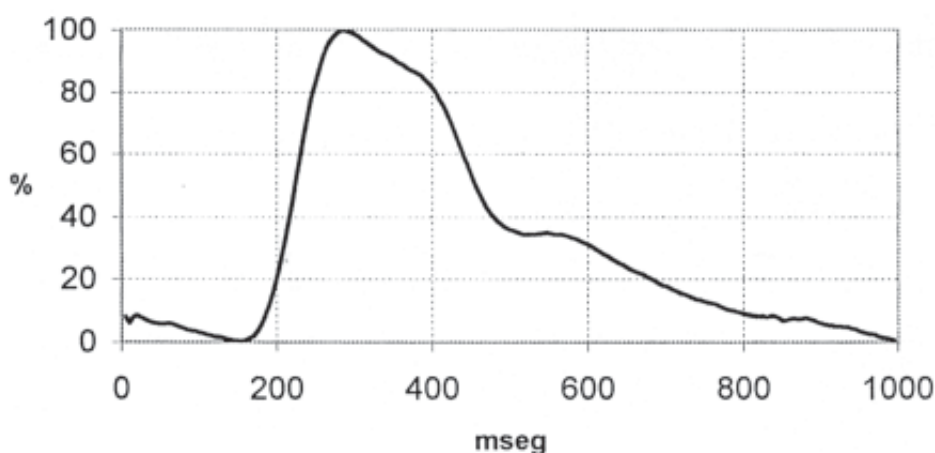


Figura 6. Adulto normotenso (edad: 51 años; presión arterial: 135/86 mmHg) con características de envejecimiento arterial prematuro. La onda sistólica es ancha y tiende a formar una meseta en su parte superior. La onda diastólica posee muy baja amplitud. Estas alteraciones son propias de la edad avanzada.

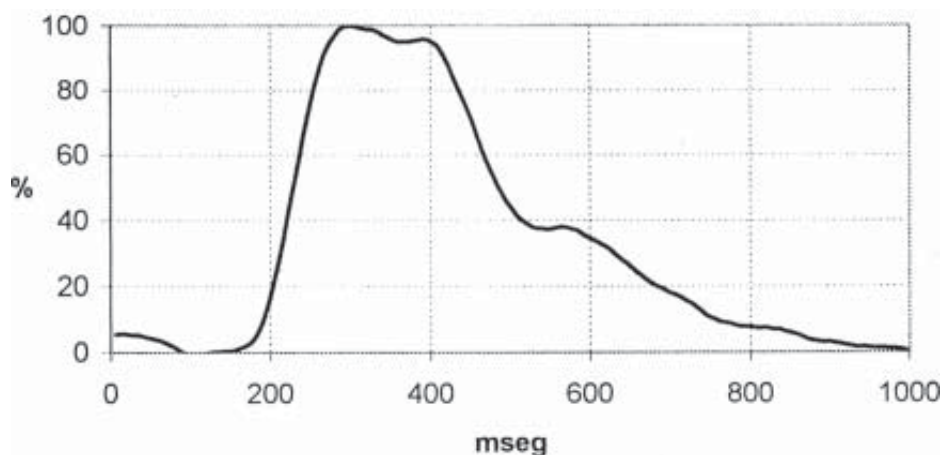


Figura 7. Adulto hipertenso (edad: 50 años; presión arterial: 142/90 mmHg). Presenta una reflexión en la cúspide de la onda sistólica que indicaría que está desarrollando aumentación aórtica. La onda diastólica tiene muy baja amplitud.

po de NT. En la Tabla 2 se exponen los valores de AD y de AOS para este grupo. Los valores medios resultaron levemente desfavorables para los HT jóvenes y adultos en comparación con el grupo NT. En cambio se encontró una notoria disminución de propiedades elásticas (< AD y > AOS) para los HT de edades superiores a 60 años.

En la Figura 7 se expone el caso de un individuo HT de la sexta década cuyas propiedades elásticas arteriales se encuentran notoriamente disminuidas. Com-

párese este registro con los de la Figura 2 (adulto de la misma década) y de la Figura 6 (anciano de la novena década).

DISCUSION

Las variaciones de diámetro son originadas por variaciones de la presión arterial, aunque su relación no es lineal.¹⁷ Por tal causa, los registros de VDA pueden ser interpretados de manera similar a los registros de presión obtenidos mediante tonometría.

TABLA 2

VALORES PROMEDIO \pm IC95% DE LA AMPLITUD RELATIVA DE LA ONDA DIASTOLICA AD Y DEL ANCHO AL 50% DE LA ONDA SISTOLICA AOS, EN UN CONJUNTO DE 19 HIPERTENSOS DE EDADES COMPRENDIDAS ENTRE 30 Y 69 AÑOS

HT década	20/30	30/40	40/50	50/60	60/70
Nº de muestras	0	4	4	6	5
Amplitud onda diastólica (%)		6,1 \pm 3,9	4,7 \pm 3,6	4,1 \pm 5,1	0,3 \pm 4,1
Ancho onda sistólica (mseg)		206 \pm 60	227 \pm 70	235 \pm 71	300 \pm 53

En los jóvenes la compliancia arterial es elevada y la velocidad de propagación de la onda de presión (VPOP) es baja. La RS o 2ª OS llega muy retardada a la región radial, de modo tal que coincide con la onda diastólica, se suma a ella y le proporciona gran amplitud.^{3,6} Al aumentar la edad disminuye la elasticidad en las grandes arterias y aumenta la VPOP. La RS llega a la zona radial durante la caída sistólica, perdiendo amplitud la oscilación diastólica.³

En los ancianos la VPOP es tan alta que la RS coincide con el vértice sistólico, razón por la cual la onda sistólica es ancha. Su onda diastólica es apenas perceptible o, a veces, inexistente.⁶ El desarrollo de ateromas contribuye a la producción de reflexiones prematuras que agravan la situación anterior.¹⁸

La RS observada en ciertos jóvenes no se debería a un aumento de la velocidad de propagación por deterioro de la elasticidad arterial sino a la existencia de una zona de reflexión próxima a la raíz aórtica. Estos jóvenes presentaron OS angosta y OD grande, características distintivas de la juventud.

En base a lo expuesto, el grupo de individuos que no presenta reflexión sistólica sería el de mínimo riesgo, dado que en los mismos no puede producirse aumentación aórtica y el acoplamiento ventricular opera en condiciones óptimas. Estos poseen los mayores valores de AOD y los menores valores de AOS.

El grupo más numeroso que presenta RS marcada sería potencialmente el de mayor riesgo, pues al avanzar la edad se llegará a una situación en la cual la reflexión retorne en plena sístole y produzca aumentación aórtica, con las consabidas implicaciones en el consumo de oxígeno, en el desarrollo de hipertrofia ventricular y en el aumento del estrés parietal.¹⁸

Los adultos normotensos que presentaron alteraciones notorias que no corresponden a su edad ni a su condición, tales como el de la Figura 6, mostrarían un deterioro arterial prematuro. En tal ejemplo, la OS redondeada indica la existencia de una reflexión precoz que retorna en plena sístole, consecuencia del aumento de la VPOP por pérdida de elasticidad de las arterias principales. El contraste con otros casos de edades similares, como el de la Figura 2 que presenta características elásticas conservadas, se explicaría por diferencias genéticas y de estilos de vida. En muchos

de estos casos la simple modificación de estos últimos ha permitido detener, e incluso revertir, el deterioro.¹⁹

A pesar del bajo número de muestras, y sin pretender establecer valores estadísticos, se aprecia que, en general, el conjunto de hipertensos presentó disminución de AD y aumento de AOS respecto de los NT. En ellos el aumento del tono vasoconstrictor en lechos arteriales distales aumenta la amplitud de la reflexión sistólica.¹⁸ Por otra parte, la mayor presión aumenta el tensado de la pared aórtica e incrementa la velocidad de propagación de la onda de pulso, haciendo que la reflexión sistólica retorne a la raíz con menor retardo, tendiendo a coincidir con la sístole y a generar aumentación aórtica.¹⁸

Se observa también que los HT jóvenes presentaron características elásticas similares a las de los NT de igual edad. En cambio todos los HT de edades superiores a 60 años evidenciaron una brusca disminución de tales propiedades. Tales similitudes y diferencias se explicarían en base al tiempo de establecimiento del proceso hipertensivo. En los HT jóvenes sería reciente, y no habría afectado las propiedades elásticas. Se trataría de individuos cuyo único inconveniente consistiría en una resistencia periférica más elevada que la normal, y serían totalmente recuperables. En los HT de edades mayores el proceso hipertensivo prolongado habría alterado la estructura de la pared arterial, acelerando el proceso de envejecimiento natural y brindando a los registros un aspecto similar al de edades más avanzadas.

Se destaca que la técnica utilizada permitió distinguir entre distintos tipos de hipertensos que poseen valores parecidos de presión arterial, brindando información adicional a la medición de la presión arterial convencional. Esto coincide con estudios efectuados en base a registros de presión tonométricos.²⁰ La existencia o no de aumentación aórtica establecida en base a registros de onda de pulso radial permite personalizar el suministro de medicación. Medicamentos como el losartan disminuyen la aumentación aórtica mientras que el atenolol no afecta a las reflexiones, aunque ambos reducen los niveles de presión humeral a valores tolerables similares.⁶ Son clásicas las experiencias con trinitrato de glicerilo, que modifica poco los valores máximo y mínimo de presión arterial radial pero

reduce la amplitud de la RS. Con ello disminuye la aumentación aórtica y se reducen las exigencias a la función ventricular.^{8,9,21}

El hallazgo de individuos normotensos que presentan alteraciones en el registro de VDA podría explicarse por la existencia de cambios en la compliancia arterial independientes de los niveles de presión, consecuencia de un proceso degenerativo prematuro que alteraría la función pulsátil.¹⁰

El estado del sistema arterial es consecuencia de diversas variables. Es indiscutible que la edad y la HTA lo deterioran inexorablemente, pero existen otros factores, como los genéticos, el estrés, la calidad y los hábitos de vida, que hacen que el deterioro pueda ser mayor o menor que el esperable, constituyendo cada individuo un caso único. El análisis de la onda de pulso es una herramienta promisoría para determinar la edad arterial de normotensos asintomáticos y para tomar medidas preventivas en caso de detectarse anormalidades. Asimismo permite cuantificar el deterioro vascular en hipertensos, adecuar la medicación y evaluar su efectividad a través de un seguimiento. La única contrariedad operativa en la metodología utilizada consiste en la dificultad de registro de VDA cuando el diámetro de la arteria radial es muy pequeño, tal como ocurre en algunas mujeres y en los niños, o cuando existe una capa de tejido graso subcutáneo muy gruesa (individuos extremadamente obesos).

Cabe aclarar, finalmente, que el análisis pudo haber sido efectuado utilizando técnicas tonométricas. Pero hemos registrado una variable distinta (diámetro arterial) utilizando una técnica que usa tecnología disponible y de bajo costo, que nos ha permitido obtener registros similares a los obtenidos mediante tonometría y extraer conclusiones semejantes, alentando la factibilidad de su aplicación en nuestro medio.

SUMMARY

THE PULSE WAVE ANALYSIS TECHNIQUE IN THE DETERMINATION OF CARDIOVASCULAR RISK

A cardiovascular risk study was made involving 76 volunteers of diverse ages and conditions. The pulse wave analysis technique based on bloodless register of radial artery diameter variations was incorporated. This technique consists on the analysis of reflections of the wave of pressure generated in discontinuities of the arterial system. Delays and amplitudes of reflections depend on arterial parameters that are affected by aging and cardiovascular diseases. The quality of the registers was similar to those obtained by means of more expensive technologies. The contributions of this technique as a tool for cardiovascular risk evaluation are presented, according to experiences carried out during the study.

When morphology of the registers was analyzed, an age-pattern was found. Young subjects presented a narrow systolic wave and a great amplitude diastolic wave. When age was increased, systolic wave was wider and diastolic wave was decreasing. In some cases the arterial age did not match biological age. In other cases the presence of systolic reflection, a potential risk factor, was observed. In hypertensive individuals different degrees of arterial elastic properties deterioration were observed, even in cases presenting similar arterial pressure levels.

Bibliografía

- O'Rourke MF, Pauca A, Giang XJ: Pulse wave analysis. *J Clin Pharmacol* 2001; 51: 507-522.
- Millasseau SC, Patel SJ, Redwood WR y col: Pressure wave reflection assessed from the peripheral pulse: is a transfer function necessary? *J Hypertens* 2003; 41: 1016-1020.
- Duprez D, Kaiser D, Whitwam W y col: Determinants of radial artery pulse wave analysis in asymptomatic individuals. *Am J Hypertens* 2004; 17: 647-653.
- Manning T, Shykoff B, Izzo J Jr: Validity and reliability of diastolic pulse contour analysis (Windkessel Model) in humans. *Hypertension* 2002; 39: 963-968.
- Rietzschel E, Boeykens E, Marc L y col: A comparison between systolic and diastolic pulse contour analysis in the evaluation of arterial stiffness. *Hypertension* 2001; 37: 15-22.
- Nichols WW: Clinical measurement of arterial stiffness obtained from noninvasive pressure waveforms. *Am J Hypertens* 2005; 18: 3S-10S.
- Watt TB, Burrus CS: Arterial pressure contour analysis for estimating human vascular properties. *J Appl Physiol* 1976; 40: 171-176.
- Mahmud A, Feely J: Antihypertensive drugs and arterial stiffness. *Exp Rev Cardiovasc Ther* 2003; 1: 65-78.
- Söderström S, Sellgren J, Aneman A y col: Interpretation of radial pulse contour during fentanyl/nitrous oxide anesthesia and mechanical ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 2002; 46: 866-874.
- McVeigh GE, Bratteli CW, Morgan DJ y col: Age-related abnormalities in arterial compliance identified by pressure pulse contour analysis: aging and arterial compliance. *Hypertension* 1999; 33: 1392-1398.
- Kelly R, Hayward C, Avolio A y col: Noninvasive determination of age-related changes in the human arterial pulse. *Circulation* 1989; 80: 1652-1659.
- Vlachopoulos C, Hirata K, O'Rourke MF: Pressure-altering agents affect central aortic pressures more than is apparent from upper limb measurements in hypertensive patients. The role of arterial wave reflections. *Hypertension* 2001; 38: 1456-1460.
- O'Rourke MF, Staessen JA, Vlachopoulos C y col: Clinical applications of arterial stiffness, definitions and reference values. *Am J Hypertens* 2002; 15: 426-444.
- Izzo J, Shykoff B: Arterial stiffness: clinical relevance, measurement, and treatment. *Rev Cardiovasc Med* 2001; 2: 29-34, 37-40.
- Segers P, Carlier S, Pasquet A y col: Individualizing the aorto-radial pressure transfer function: feasibility of a model-based approach. *Am J Physiol (Heart Circ Physiol)* 2000; 279: H542-H549.
- Millasseau SC, Patel SJ, Redwood WR y col: Pressure wave reflection assessed from the peripheral pulse: is a

ARTICULOS ORIGINALES

- transfer function necessary? *J Hypertens* 2003; 41: 1016-1020.
17. Tardy Y, Meistert J, Perron F y col: Non-invasive estimate of the mechanical properties of peripheral arteries from ultrasonic and photoplethysmographic measurements. *Clin Phys Physiol Meas* 1991; 12: 39-54.
 18. Dart A, Kingwell B: Pulse pressure. A review of mechanisms and clinical relevance. *J Am Coll Cardiol* 2000; 37: 975-984.
 19. Tanaka H, Safar M: Influence of lifestyle modification on arterial stiffness and wave reflections. *Am Heart J* 2005; 18: 137-144.
 20. Schofield R, Schuler B, Edwards D y col: Amplitude and timing of central aortic pressure wave reflections in heart transplant recipients. *Am Heart J* 2002; 15: 809-815.
 21. Jiang XJ, O'Rourke MF, Jin WQ y col: Quantification of glyceryl trinitrate effect through analysis of the synthesized ascending aortic pressure waveform. *Heart* 2002; 88: 143-148.

Personalizad vuestras simpatías, despersonalizad vuestras hostilidades.

W. R. INGE