

# Avances en la evaluación clínica de las arteriopatías

Ing. RICARDO L. ARMENTANO FEIJOO, ALEJANDRA I. CHRISTEN\*, Ing. MARCELO R. RISK, HUGO P. BAGLIVO<sup>Δ</sup>, RAMIRO SANCHEZ<sup>Δ</sup>, E. I. CABRERA FISCHER<sup>Δ</sup>○

Departamento de Investigación y Docencia, Fundación Favalaro, Buenos Aires

\* Para optar a Miembro Adherente de la Sociedad Argentina de Cardiología

Δ Miembros Titulares SAC. ○ Fellow ACC

Trabajo recibido para su publicación: 5/93. Aceptado: 11/93

Dirección para separatas: Ing. R. L. Armentano, Solís 453, (1078) Buenos Aires, Argentina

## Antecedentes

La terapéutica del paciente hipertenso debería consistir no sólo en disminuir la presión arterial sino en normalizar la distensibilidad arterial. Este hecho plantea la necesidad de contar con métodos no invasivos para evaluar las propiedades elásticas de la pared arterial y de una metodología de probada utilidad clínica.

## Material y método

En este trabajo se describirán las técnicas empleadas para el análisis de la distensibilidad arterial que pueden ser utilizadas en la práctica médica y en cada caso se las ilustrará con casos estudiados inéditos. Como las características parietales de las arterias son homologables a las de la pared del ventrículo izquierdo, las arterias deben ser analizadas sin olvidar las propiedades intrínsecas de sus paredes, tal como se lleva a cabo ante una miocardiopatía. Debe recordarse que la distensibilidad arterial es uno de los elementos que se oponen a la eyección ventricular izquierda, por lo que constituye un importante factor en la dinámica cardiovascular. Si una arteria es altamente distensible, menor resistencia opondrá al flujo sanguíneo, lo que se traducirá en un menor perjuicio a los elementos constitutivos de la pared vascular y en una menor poscarga ventricular.

## Resultados

Al llevar a cabo el análisis de la mecánica arterial, las mediciones instantáneas de presión-diámetro en cualquier arteria, a lo largo de un amplio rango de variación, reflejan en forma fidedigna el estado elástico de dicho vaso. La investigación experimental predomina en este campo, ya que las técnicas usadas no son aún aplicables a la clínica debido tanto a los aspectos éticos implícitos como a un desarrollo tecnológico limitado.

## Conclusiones

La metodología de evaluación de la mecánica arterial permitirá al cardiólogo conocer el grado real de compromiso arterial en un paciente dado; y al comprenderse su connotación diagnóstica, pronóstica y terapéutica, pasará a engrosar el arsenal de estudios complementarios no invasivos. *Rev Arg Cardiol* 1994; 62 (3): 249-255

**Palabras clave** Distensibilidad arterial media - Velocidad de onda del pulso - Rigidez arterial.

El estudio de las propiedades elásticas de la pared arterial se puede llevar a cabo en la clínica médica mediante la utilización de métodos que cumplan con una condición *sine qua non*: ser estudios no invasivos. A estos efectos, se utilizan transductores de presión y ultrasonidos, ideales para mediciones reiteradas o comparativas de presión y diámetro arterial. (1-3)

Esta metodología se utiliza desde hace poco más de dos décadas en los centros de investigación clínica más avanzados. Es de esperar que estos estudios se incorporen paulatinamente a la

rutina de la cardiología clínica para poder realizar el diagnóstico precoz de diversas patologías que afectan la mecánica de la pared arterial: hipertensión arterial, dislipidemias, arteriosclerosis, y otras. (4-6)

El interés de los estudios de la elasticidad arterial no es sólo científico, sino que existen patologías como el síndrome de Marfan, la osteogénesis imperfecta y la arteriosclerosis obliterante, entre otras, en las que la evaluación no invasiva permite determinar el grado de compromiso arterial causado por las mismas. (7-9)

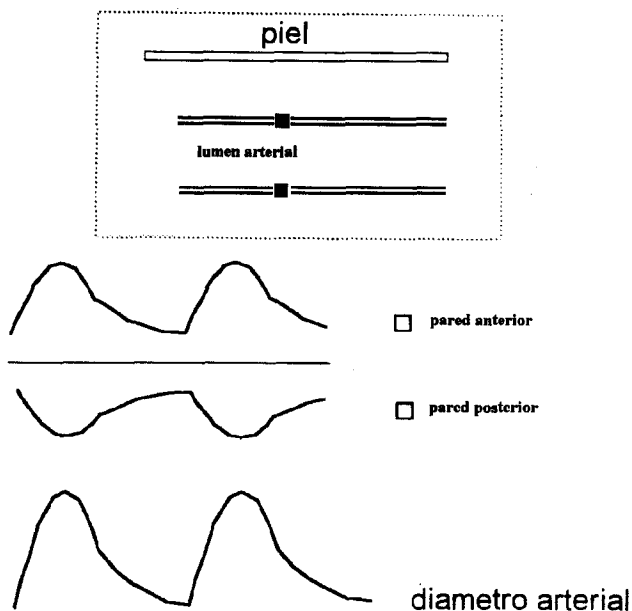


Fig. 1. En el esquema se observa la forma de determinación del diámetro a partir de los movimientos de las paredes arteriales (ver texto).

En este trabajo se explicarán las técnicas más actualizadas de evaluación clínica de las arteriopatías y la metodología empleada en clínica médica por nuestro grupo para la medición de la distensibilidad arterial en pacientes.

#### TECNICAS MODERNAS DE EVALUACION DE LA PARED ARTERIAL

En los últimos años varios grupos han estado trabajando para lograr la caracterización de las propiedades mecánicas intrínsecas de la pared arterial en forma no invasiva. (5, 10-16)

Hans Brunner y colaboradores avanzaron en el tema de la obtención de señales instantáneas de presión-diámetro arterial. (6, 16) Para sus

estudios realizaron mediciones con ultrasonidos a través del rastreo ecográfico, obteniendo datos acerca de la distensión y los movimientos arteriales.

Con ayuda del efecto Doppler, por medio de un transductor de señales (10 MHz) dispuesto en forma perpendicular a la arteria, se colocan dos marcadores electrónicos en las paredes arteriales (Fig. 1). Esta metodología se basa en el hecho que las paredes arteriales se mueven en dirección opuesta y como los trazadores utilizados por el ecocardiógrafo (Eco modo A) fueron ubicados en forma alineada, uno en pared anterior y el otro en pared posterior, al moverse las paredes es posible graficar dicho movimiento en función del tiempo. La diferencia entre estas dos señales informa las variaciones del diámetro arterial a lo largo del ciclo. Generalmente, se toman como referencias las arterias radial, femoral o carótida. Los marcadores permanecen en las paredes arteriales y a medida que llega la información de las modificaciones de los ecos, sus posiciones se ajustan automáticamente. Los datos obtenidos son computados a razón de 5.000 puntos/seg y almacenados simultáneamente, para poder procesarlos posteriormente. La señal ecoica puede ser calibrada con una resolución cercana a una micra, y se refleja en una pantalla o bien sobre papel registro.

La Figura 2 muestra el trazado temporal del diámetro arterial de un paciente normotenso al que se le estudió la arteria radial.

Simultáneamente al registro de los diámetros, se mide la presión arterial en las distintas fases del ciclo cardíaco mediante un dispositivo llamado Finapres (FINGER Arterial blood Pressure monitor). Utiliza un método descrito por Jan Penaz en Checoslovaquia para medir la presión arterial en forma no invasiva (1973). Por el principio del volumen pinzado, realiza

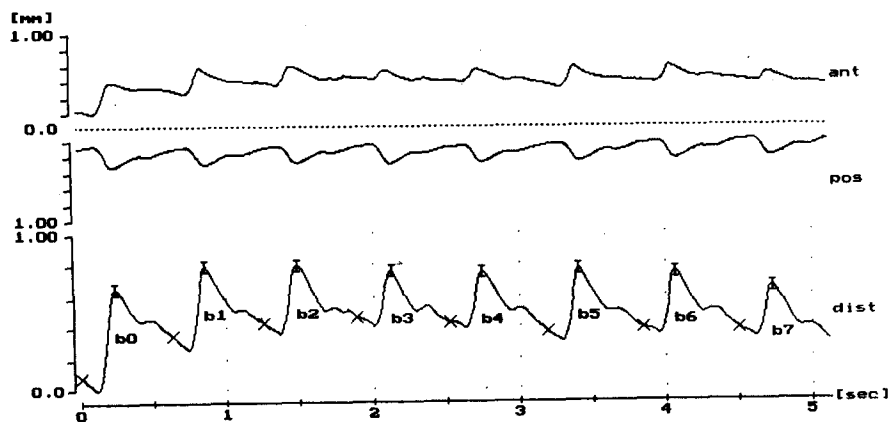


Fig. 2. El trazado muestra el caso de un paciente al que se le realizó la medición del diámetro instantáneo.

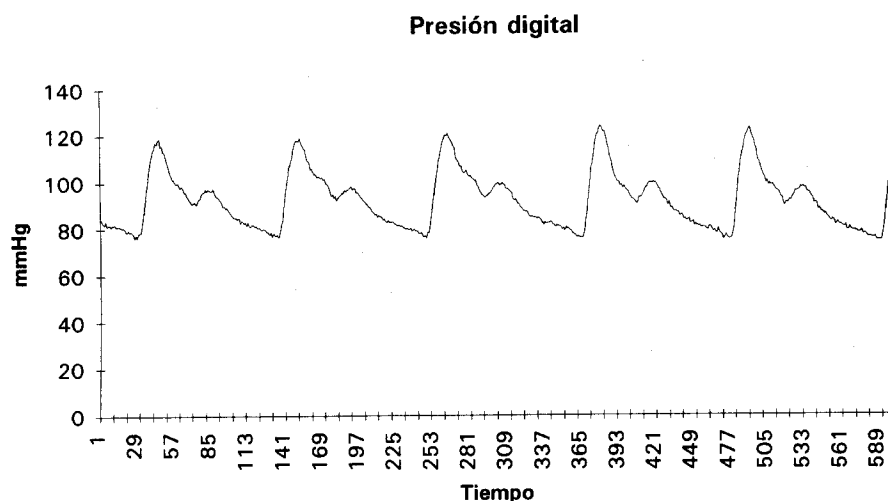


Fig. 3. El trazado muestra la señal calibrada de presión digital en un paciente.

una medición continua de presión de un dedo de la mano, obteniendo: la onda de presión, los valores de la presión sistólica, diastólica y media y la frecuencia cardíaca.

La técnica consiste en una presión aplicada desde el exterior a través de un manguito especialmente diseñado para adaptarse alrededor del dedo medio en la segunda falange. La presión aplicada se iguala a la presión arterial momento a momento, lo suficiente como para mantener impermeable a la arteria a lo largo del ciclo cardíaco. La pared arterial tiene, entonces, una presión transmural igual a cero y las arterias no varían de tamaño. Teniendo en cuenta este último cambio fisiológico, el volumen intraarterial no varía, y por lo tanto el fotopleletismograma que se obtiene en estas condiciones es constante.

En base a lo anterior, se determina el valor sistólico por medio del fotopleletismógrafo y se toma dicho valor como punto de referencia para

las variaciones posteriores. La presión del manguito varía en forma tal que el fotopleletismógrafo se mantenga constante en su punto de referencia. En consecuencia, la presión en el manguito es igual a la presión arterial a lo largo de todo un ciclo cardíaco. Se deduce que del ajuste y mantenimiento del punto de referencia depende el éxito en obtener los valores correctos de presión.

En la Figura 3 se observa un trazado de presión digital obtenido con el Finapres en un paciente normotenso en condiciones basales.

#### FORMA PRACTICA DE EVALUAR LA DISTENSIBILIDAD ARTERIAL EN CLINICA MEDICA

La distensibilidad arterial puede ser evaluada mediante la determinación del diámetro, la presión y la velocidad de la onda del pulso. Estos, en líneas generales, lo recomendado en la literatura sobre el tema. (17-19)

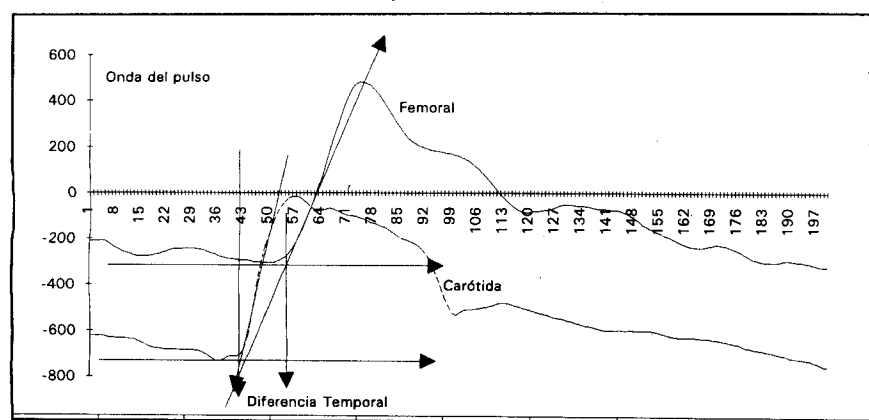


Fig. 4. La determinación de la velocidad de la onda del pulso puede ser hecha, entre otras formas, gráficamente, como lo muestra la figura.

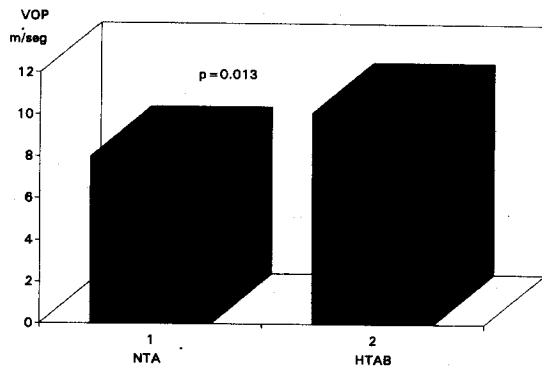


Fig. 5. El gráfico muestra un aumento de la velocidad de la onda del pulso (VOP) en el grupo de los pacientes con hipertensión *borderline* (HTAB), respecto del grupo normotenso (NTA).

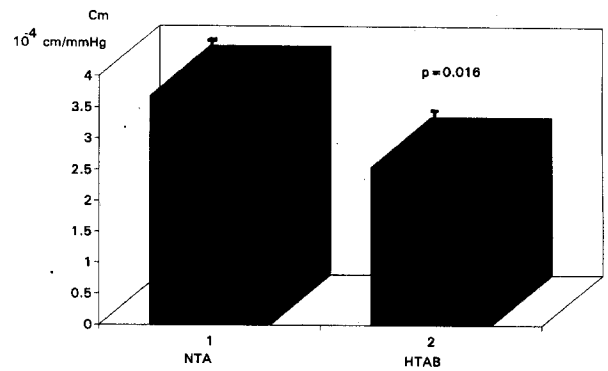


Fig. 6. El gráfico muestra un aumento de la *compliance* media (Cm) en el grupo de los pacientes con hipertensión *borderline* (HTAB), respecto del grupo normotenso (NTA).

La técnica consiste en medir la velocidad de la onda del pulso (VOP) usando dos señales de presión obtenidas simultáneamente en la carótida y la femoral. (19-21) Para ello se pueden usar mediciones simultáneas con dos tonómetros o dos transductores. De esta manera, por medio del registro no calibrado de ambas presiones sobre papel milimetrado a alta velocidad (100 o 150 mm/seg) y luego midiendo la distancia entre los dos captadores, se puede conocer la velocidad de la onda del pulso. Como se observa en la Figura 4, la diferencia de tiempo entre las dos señales se puede medir en forma gráfica y, contando con la distancia entre la carótida y la femoral, el cálculo es sencillo.

Existe otra manera más exacta de efectuar el cálculo de VOP utilizando un programa de adquisición de datos (conversión analógico-digital) de tal forma que se pueden archivar las señales arteriales en forma de columnas de valores numéricos, muy extensas por cierto, y luego mediante análisis de Fourier calcular el desfase entre ellas. Con este método se elimina el factor subjetivo en la determinación de los pies de la onda.

Simultáneamente con la medición de VOP se realiza una determinación de la tensión arterial con el método esfigmomanométrico, ya sea con manguito inflable y estetoscopio o por medición automática, que provee de valores digitales que pueden ser impresos en papel en forma alineada. Finalmente el diámetro humeral se determina con un ecocardiógrafo de alta resolución como los sugeridos en la literatura. (14).

En clínica se ha usado una fórmula de distensibilidad o *compliance* arterial media (Cm) en unidades en  $10^{-4}$  cm/mmHg:

$$Cm = (1334 \times Dm) / (2p \times VOP^2),$$

en donde DM es el diámetro arterial medio medido por ultrasonidos, p es la densidad de la sangre ( $p = 1,06$ ), y VOP la velocidad del pulso en m/seg. (15, 22).

A esta fórmula simple se llega partiendo de la ecuación de Bramwell e Hill, en donde el valor de la VOP depende de las derivadas de la presión y del volumen arterial, y del volumen y la densidad sanguíneos. (23)

Esta metodología fue aplicada a dos grupos de pacientes: uno normotenso ( $n = 6$ ) y otro con

Tabla 1  
Resultados

Grupo	Edad	Peso	PS	PD	PM	FC
NTA	33,6 ± 14,81	65,67 ± 5,89	119,33 ± 12,83	53,87 ± 6,18	80,00 ± 13,83	64,33 ± 8,64
HTAB	37,4 ± 11,95	77,05 ± 12,20	142 ± 17,86	82,1 ± 10,51	107,6 ± 13,59	73,00 ± 10,14
p	0,588	0,052	0,017	0,001	0,002	0,103

NTA: normotensión ( $n = 6$ ). HTAB: hipertensión *borderline* ( $n = 10$ ); PS: presión sistólica. PD: presión diastólica. PM: presión media. FC: frecuencia cardíaca (lat/min). La edad está expresada en años, el peso en kilogramos y la presión en mmHg.

hipertensión límite o *borderline* ( $n = 10$ ), definida ésta según la clasificación de la OMS. En la Tabla 1 se exponen los datos obtenidos. Los valores de presión media, sistólica y diastólica fueron significativamente mayores en el grupo de pacientes hipertensos *borderline* ( $p > 0,05$ ); no se observaron diferencias significativas en términos de edad y frecuencia cardíaca.

La Figura 5 muestra que los hipertensos *borderline* tuvieron un valor medio de VOP ( $10,13 \pm 1,79$  m/seg) significativamente mayor ( $p = 0,013$ ) que el de los pacientes normotensos ( $7,97 \pm 0,47$  m/seg).

La Figura 6 muestra que los hipertensos *borderline* tuvieron un valor medio de Cm ( $2,54 \pm 0,83 \cdot 10^{-4}$  cm/mmHg) significativamente mayor ( $p = 0,016$ ) que el de los pacientes normotensos ( $3,68 \pm 0,76 \cdot 10^{-4}$  cm/mmHg).

## COMENTARIOS

La distensibilidad es el parámetro más frecuentemente utilizado para evaluar la mecánica arterial y su representación gráfica por medio de las variaciones de dimensión en función de los cambios de presión o estrés ( $\Delta D/\Delta P$ ) de la pared arterial constituye un método adecuado para detectar situaciones fisiopatológicas. (5, 24, 25)

Existen estudios, como el del grupo de Hirai y colaboradores, que analizan la función arterial en un grupo de pacientes con infarto de miocardio. (4) La misma es evaluada con la ayuda de mediciones de las presiones sistémicas y rastreo ecográfico, con el que se obtienen los desplazamientos parietales de aorta abdominal y ambas carótidas.

Si bien existe un número considerable de metodologías para el diagnóstico de las arteriopatías, en especial la hipertensiva y la aterosclerótica, las técnicas que se describen en este trabajo tienen la ventaja de poder efectuar no sólo un diagnóstico precoz de las alteraciones sino además el seguimiento a lo largo de toda la evolución, ya sea bajo tratamiento o no, de la patología subyacente. Además, es altamente probable que estos métodos aporten la información que permitirá conocer en mayor profundidad la fisiopatología de la enfermedad arterial.

Desde otro punto de vista, como la distensibilidad de las arterias está relacionada con el consumo de oxígeno miocárdico, el seguimiento de las terapéuticas vasodilatadoras es fundamental en patologías tales como la enfermedad coronaria y la insuficiencia cardíaca. (18)

La importancia real de este tipo de análisis es que, tal como ya fuera publicado previamen-

te, si se consideran los valores de presión arterial en la abscisa y los valores de distensibilidad correspondientes en la ordenada, con ayuda de un algoritmo, es posible visualizar que para cualquier valor de presión el valor de distensibilidad es diferente si existe una alteración en las propiedades intrínsecas de la pared. (15) Esto es real aun cuando los valores de presión arterial sean normales, hecho no infrecuente en los hipertensos leves o *borderline*, e inclusive en los hipertensos tratados. Esto revela claramente que, en casos con presión intraluminal normal, la alteración parietal puede ser desenmascarada por la utilización de estos índices de la función arterial.

La VOP y la Cm son valores que se complementan con los de las presiones; pero esto no significa que sean menos importantes sino que caracterizan estados normales o alterados de elementos diferentes. En el caso de la presión, no se abundará en los distintos factores que intervienen en su variación; pero en cuanto a la VOP y la Cm, están influidas por factores intraparietales y no intraluminales. (3, 26)

En la población estudiada en este trabajo, las diferencias observadas muestran claramente que existe una alteración precoz en las propiedades mecánicas de la pared arterial en el grupo con hipertensión *borderline*. Se devela así una alteración que no puede ser sospechada sin la ayuda de los índices de función arterial; éstos se constituyen así en herramientas de gran utilidad, semejantes a otras con las que el cardiólogo ya está familiarizado: los índices de función ventricular izquierda.

Es de esperar que los índices de función arterial tengan en nuestro medio el mismo grado de utilización que tienen en la experimentación básica, o en centros europeos en donde se los aplica desde hace más de quince años en poblaciones numerosas. (3, 7, 11, 27)

Se concluye que en la población con hipertensión *borderline* analizada se demuestra un aumento significativo de la VOP y una disminución también significativa de la Cm, lo que implicaría una alteración precoz de las propiedades mecánicas de la pared arterial en estos pacientes.

## SUMMARY

### PROGRESS IN CLINICAL EVALUATION OF ARTERY DISEASE

#### Background

Lowering the arterial pressure and normalizing the arterial compliance should be included in the therapeutic approach of the hypertensive patient. Therefore, non-

invasive methods are needed to evaluate the elastic properties of the arterial wall as well as an accurate methodology with proved clinical use.

#### Material and method

The techniques employed for arterial compliance analysis used in clinical practice are described in this work and each one is illustrated with inedit studied cases. As the characteristics of the arterial wall are comparable with the ones of the left ventricular wall, arteries must be analyzed taking into account the intrinsic wall properties, as it happens when a myocardio-pathy is studied. On the other hand, arterial compliance is one of the factors against the left ventricular output, so it represents an essential element in the cardiovascular dynamics. When the arterial resistance against blood flow decreases the constituents of the vascular wall are exposed to less damage.

#### Results

Analyzing the arterial mechanics, the instantaneous pressure-diameter measurements from any artery, through a wide range of variation, show the elastic characteristic of this vessel. The experimental investigation prevails in this field, as the techniques used are not applicable to patients because of ethical aspects and limited technological development.

#### Conclusions

The methods of arterial mechanical evaluation will provide the cardiologist with the comprehension of the actual arterial characteristics of his patients; and this kind of evaluation, being part of the group of non-invasive studies, will be useful in diagnosis, prognosis and therapeutic.

#### BIBLIOGRAFIA

- Simon AC, Safar ME, Levenson JA, London GM, Levy BI, Chau NP. An evaluation of large arteries compliance in man. *Am J Physiol* 1979; 237 (5): 550-554.
- Flaud P, Bensalah A, Counord JI, Levenson J, Simon A. A new geometric procedure for in vivo pulsed Doppler evaluation of velocity distribution inside the diametrical section of large arteries in humans. *Ann Biomed Eng* 1990; 18: 519-531.
- Simon A, Levenson J, Dard S. Mesure du diamètre, du débit et de la compliance artériels. En: Simon A, Levenson J, Dard S. Compliance artérielle. Une nouvelle approche de l'hypertension. 1: Compliance artérielle, rôle physiopathologique et méthodes d'étude. Paris, Librairie Maloine et Laboratoires Merck Sharp & Dohme-Chibret, 1984: 47-61.
- Hirai T, Sasayama S, Kawasaki T, Yagi S. Stiffness of systemic arteries in patients with myocardial infarction. A noninvasive method to predict severity of coronary atherosclerosis. *Circulation* 1989; 80: 78-86.
- Liu Z, Ting CT, Zhu S, Yin FCP. Aortic compliance in human hypertension. *Hypertension* 1989; 14: 129-136.
- Perret F, Mooser V, Hayoz D, Tardy Y, Meister JJ, Etienne JD y col. Evaluation of arterial compliance-pressure curves, effect of antihypertensive drugs. *Hypertension* 1991; 18 (Suppl II): II77-II83.
- Levenson JA, Simon AC, Fiessinger JN, Safar ME, London GM, Housset EM. Systemic arterial compliance in patients with arteriosclerosis obliterans of the lower limbs. Observations on the effect of intravenous propranolol. *Arteriosclerosis* 1982; 2 (3): 266-271.
- Hirata K, Triposkiadis, F, Sparks E, Bowen J, Wooley CF, Boudoulas H. The Marfan syndrome: abnormal aortic elastic properties. *J Am Coll Cardiol* 1991; 18: 57-63.
- Kalath S, Tsipouras P, Silver FH. Increased aortic root stiffness associated with osteogenesis imperfecta. *Ann Biomed Eng* 1987; 15: 91-99.
- Liu Z, Brin KP, Yin FCP. Estimation of total arterial compliance: an improved method and evaluation of current methods. *Am J Physiol* 1986; 251: 588-600.
- Levenson JA, Peronneau PA, Simon A, Safar ME. Pulsed Doppler: determination of diameter, blood flow velocity, and volumic flow of brachial artery in man. *Cardiovasc Res* 1981; 15 (3): 164-170.
- Simon AC, Laurent S, Levenson JA, Bouthier JE, Safar ME. Estimation of forearm arterial compliance in normal and hypertensive men from simultaneous pressure and flow measurements in the brachial artery, using a pulsed Doppler device and a first-order arterial model during diastole. *Cardiovasc Res* 1983; 17 (6): 331-338.
- Simon AC, Levenson JA, Safar ME. Le rôle des gros troncs artériels dans une nouvelle approche physiopathologique et pharmacologique de l'hypertension artérielle. *Triangle, Journal Sandoz des Sciences Médicales* 1984; 24 (3): 157-165.
- Buntin CM, Silver FH. Noninvasive assessment of mechanical properties of peripheral arteries. *Ann Biomed Eng* 1990; 18: 549-566.
- Armentano R, Simon A, Levenson J, Chau NP, Megnien JL, Pichel RH: Mechanical pressure versus intrinsic effects of hypertension on large arteries in humans. *Hypertension* 1991; 18: 657-664.
- Hayoz D, Rutschmann B, Perret F, Niederberger M, Tardy Y, Mooser V y col. Conduit artery compliance and distensibility are not necessarily reduced in hypertension. *Hypertension* 1992; 20: 1-6.
- Levenson JA, Simon AC, Maarek BE, Gitelman RJ, Fiessinger JN, Safar ME. Regional compliance of brachial artery and saline infusion in patients with arteriosclerosis obliterans. *Arteriosclerosis* 1985; 5: 80-87.
- Simon AC, O'Rourke M, Levenson J. Arterial distensibility and its effect on wave reflection and cardiac loading in cardiovascular disease. *Coronary Artery Disease* 1991; 2: 1111-1120.
- Ting CT, Chang MS, Wang SP, Chiang BN, Yin FCP. Regional pulse wave velocities in hypertensive and normotensive humans. *Cardiovasc Res* 1990; 24: 865-872.
- Levenson J, Simon AC, Bouthier JD, Benetos A, Safar ME. Postsynaptic alpha-blockade and brachial artery compliance in essential hypertension. *J Hypertens* 1984; 2: 37-41.
- Simon A, Merli I, Filitti V, Levenson J. Rôle des facteurs mécaniques dans les phénomènes de vieillissement artériel associés à l'hypertension humaine. *Ann Cardiol Angéol* 1991; 40 (6): 329-334.
- Chau NP, Simon A, Vilar J, Cabrera Fischer E, Pithois-Merli I, Levenson J. Active and passive effects of antihypertensive drugs on large artery diameter and elasticity in human essential hypertension. *J Cardiovasc Pharmacol* 1992; 19: 78-85.
- Bramwell JC, Hill AV. The velocity of the pulse wave in man. *Proc R Soc Lond (Biol)* 1922; 93: 298-306.
- Simon A, Levenson J. La compliance artérielle joue-t-elle un rôle dans la physiopathologie de l'hypertension artérielle? *La Presse Méd* 1986; 15: 2243-2246.
- Cabrera Fischer EI, Barra JG, Armentano RL, Stutzbach PG, Risk MR, Cierito M y col. Avances en el estudio de la

- mecánica arterial. Ref Fed Arg Cardiol 1991; 20 (2): 103-109.
26. Guyton AC. Gran circulación (circulación mayor). En: Guyton AC. Tratado de fisiología médica. Madrid, Ed EMALSA, 1985 (6ª ed): 262-275.
27. Cabrera Fischer EI, Levenson J, Barra JG, Armentano RL, Pichel RH, Simon A. Preventive effect of chronic converting enzyme inhibition on aortic stiffening induced by renovascular hypertension in conscious dogs. Cardiovasc Res 1993; 27 (6): 1039-1044.