

Rigidez arterial como marcador de daño vascular en pacientes con hipertensión arterial controlada

Arterial stiffness as marker of vascular damage in patients with controlled arterial hypertension

Dra. C. María Eugenia García Céspedes^{1*}

Dra. Marianela Copello Sánchez²

Dr. Alexander Pascau Simón¹

Dra. Josefa Bell Castillo¹

Dr. Lázaro Ibrahim Romero García³

Dr. Frank Emilio Perera Santana⁴

¹Hospital General Docente “Dr. Juan Bruno Zayas Alfonso”, Universidad de Ciencias Médicas. Santiago de Cuba, Cuba.

²Policlínico Docente “Armando García Aspuru”, Universidad de Ciencias Médicas. Santiago de Cuba, Cuba.

³Hospital Provincial Docente Clinicoquirúrgico “Saturnino Lora Torres”, Universidad de Ciencias Médicas. Santiago de Cuba, Cuba.

⁴Cardiocentro del Hospital Provincial Docente Clinicoquirúrgico “Saturnino Lora Torres”, Universidad de Ciencias Médicas. Santiago de Cuba, Cuba.

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: eugenia.garcia@infomed.sld.cu

RESUMEN

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y transversal de 27 adultos con hipertensión arterial controlada, seleccionados aleatoriamente en el Consultorio del Médico de la Familia No. 6 del Policlínico Docente “Armando García Aspuru” en Santiago de Cuba, durante el periodo de septiembre de 2015 a igual mes de 2016, con vistas a

determinar la alteración de la rigidez arterial en ellos. En la serie se obtuvo un predominio del sexo femenino (69,2 %) en relación con el masculino (30,7 %) y la edad media fue de 48,96 años; igualmente, se identificó un elevado porcentaje con obesidad premórbida (48,1), a la cual le siguió el sobrepeso, con 33,3 %, y el peso normal, con 18,3 %. Se encontró 19,0 % con índice de rigidez grave; condición más sensible y alarmante que el índice tobillo-brazo como marcador de daño vascular.

Palabras clave: rigidez arterial; lesión vascular; hipertensión arterial.

ABSTRACT

An observational, descriptive and cross-sectional study of 27 adults with controlled hypertension, randomly selected in the family's physician No. 6 of "Armando García Aspurú" Teaching Polyclinic in Santiago de Cuba was carried out during the period of September, 2015 to same month in 2016, aimed at determining the change of arterial stiffness in them. In the series a prevalence of the female sex was obtained (69.2 %) in connection with the male sex (30.7 %) and the mean age was of 48.96 years; equally, a high percentage was identified with premorbid obesity (48.1), followed by overweight, with 33.3 %, and normal weight, 18.3 %. A 19.0 % with severe stiffness index was found; a more sensitive and alarming condition than the index ankle-arm as marker of vascular damage.

Key words: arterial stiffness; vascular lesion; hypertension.

Recibido: 27/10/2018

Aprobado: 12/11/2018

Introducción

La hipertensión arterial (HTA) es una de las enfermedades causantes de elevadas tasas de morbilidad y mortalidad por entidades cardiovasculares, cerebrovasculares y renales crónicas, entre otras, a nivel mundial. Probablemente sea la afección crónica más

fácilmente diagnosticable, pues, aunque en muchos de los que la padecen es asintomática, el hecho de que la medición de la presión arterial se efectúe por un método sencillo e incruento permite detectar sus elevaciones anormalmente altas y conducir, con seguridad, ínfimas molestias y pocos recursos, a un diagnóstico de certeza.⁽¹⁾

Por todo esto, puede catalogarse a la HTA como una enfermedad y, a su vez, como un factor de riesgo cardiovascular, que constituye un considerable problema de salud por su magnitud (alta prevalencia en la población adulta), trascendencia (acción deletérea sobre aparatos y sistemas de vital importancia), cronicidad o larga duración (que requiere control y asistencia médica durante largo tiempo, quizás toda la vida a partir de su diagnóstico); y también de evidente vulnerabilidad por lo fácil de su diagnóstico y por la disponibilidad de recursos terapéuticos, tanto para su prevención como para su control.

El campo para el estudio de la HTA resulta tan vasto, que entusiasma a los profesionales y a muchos de los especialistas, que con sus investigaciones contribuyen al mejor diagnóstico de la afección y de sus frecuentes complicaciones.⁽¹⁾

Para la prevención de la enfermedad cardiovascular resulta de gran interés disponer de un marcador incruento de la lesión vascular que permita su detección en la fase preclínica, particularmente cuando comienza la disfunción endotelial o durante los primeros cambios histológicos. En este sentido, en los últimos años se han desarrollado diversas técnicas no invasivas basadas en ecografías, dirigidas a determinar el grado de daño arterial en sujetos con factores de riesgo cardiovascular.

Cabe destacar la pletismografía, los marcadores de actividad endotelial, el índice de presiones tobillo-brazo, el grosor íntima-media carotídeo y las medidas de rigidez arterial. Hoy por hoy todavía no se han normalizado los métodos ni existe una certeza respecto a si la función endotelial evaluada en un territorio es representativa de otros lechos vasculares; por eso las guías de las sociedades europeas de HTA y cardiología, revisadas en 2007, no aconsejan su uso en la valoración clínica habitual de pacientes hipertensos. Sin embargo, diversos autores^(2,3) han concluido que esta valoración solo permite una estimación local o, lo más, regional de la pared vascular examinada y proponen el empleo de técnicas ecográficas de alta resolución para evaluar los cambios

funcionales en la elasticidad arterial. La mayoría de estos trabajos se han realizado en poblaciones adultas y concluyen que el incremento de la rigidez arterial es un buen factor pronóstico de episodios cardiovasculares, independiente de los factores clásicos.

Referente a lo anterior, la rigidez arterial se puede evaluar con la velocidad de onda de pulso (VOP), el índice de rigidez arterial ambulatorio y el índice de aumento (IA), para lo cual se han empleado métodos no invasivos por medio de diversas técnicas. En los hospitales de Santiago de Cuba actualmente se emplea la fotopleetismografía.

La fotopleetismografía es hoy día el método más aplicado y difundido para medir cambios de actividad arterial periférica, el cual se basa en la transmisión y reflexión de una banda de frecuencia de la luz infrarroja, donde la hemoglobina de la sangre puede absorberla en cierto nivel y, al estar la cantidad de volumen sanguíneo arterial sujeta a cambios por los latidos cardíacos, provoca en el registro temporal la así llamada onda de pulso arterial.

Por su parte, el equipo ANGIODIN® PD 3000 y sus accesorios, como el software auxiliar VAPLET®, es un dispositivo médico portátil, desarrollado en el Centro de Biofísica Médica de Santiago de Cuba.⁽⁴⁾ El equipo está registrado sanitariamente y destinado a complementar el diagnóstico de afecciones vasculares periféricas. Se encuentra instalado en todas las provincias de Cuba, en varios estados de Venezuela y en algunos otros países.

El análisis del contorno de la onda de volumen de pulso arterial (OVP) ha sido útil para el diagnóstico no invasivo de enfermedades cardiovasculares. Los orígenes fisiopatológicos que influyen en este contorno aún están siendo explorados.

Al respecto, el trabajo de Pascau Simón *et al*⁽⁵⁾ resultó en el hallazgo del nivel de coincidencia de un nuevo modelo conceptual simple, para caracterizar morfológicamente el contorno de cualquier clase de onda de volumen de pulso arterial. Como consecuencia, la forma del contorno de la OVP es alterada directamente según el estado patológico que presenten las capas de estas arterias, junto con la manera en que se propagan fuerzas hemodinámicas, desde el mismo corazón, expresadas en la onda de presión, flujo y volumen sanguíneo; por lo que surgió la siguiente pregunta: ¿Será útil la estimación de la rigidez arterial, observada en variables hemodinámicas, como

marcador funcional de daño vascular que precede a los cambios estructurales en pacientes hipertensos?

Métodos

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y transversal con vistas a determinar la rigidez arterial en pacientes con hipertensión arterial controlada, pertenecientes al Policlínico Docente “Armando García Aspuru” de la provincia de Santiago de Cuba, durante el periodo de septiembre de 2015 a igual mes de 2016.

El universo estuvo constituido por todos los adultos con edades superiores a los 18 años, dispensarizados en el grupo III de clasificación de la hipertensión arterial. Finalmente fue seleccionada una muestra aleatoria en el Consultorio del Médico de la Familia No. 6, cuyos pacientes dieron su consentimiento para participar en la investigación y realizarse todos los exámenes, tanto bioquímicos como los de hemodinámica vascular.

El cálculo de las variables hemodinámicas asociadas a la rigidez arterial se realizó mediante la fotopletomografía digital, a través de la señal de pulso arterial y del análisis de su forma, lo cual incluye la cuantificación de la simetría, amplitud de ascenso y estabilidad de las ondas de pulso y de la frecuencia cardíaca.

Los datos fueron procesados desde una tabla Excel versión 10 y como medidas de resumen se emplearon el porcentaje, para las variables cualitativas, y la media y la desviación estándar, para las cuantitativas.

Se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, para la comparación de medias entre muestras independientes, así como la prueba de independencia de la X^2 , para identificar alguna asociación estadísticamente significativa entre los criterios de interés seleccionados, para lo cual se tomó un nivel de significación $\alpha=0,05$.

Igualmente se utilizó la regresión lineal simple, exponencial y cuadrática, con el fin de establecer la relación funcional entre rigidez arterial y otras variables, específicamente los índices de presión tobillo-brazo.

Los valores comparativos de las variables hemodinámicas, por cada paciente, fueron representados por sus medias.

Resultados

La tabla 1 muestra un predominio del sexo femenino (69,2 %) en relación con el masculino (30,7 %). La media por edad se manifestó muy similar por cada sexo (49,5 para el femenino y 48,72 para el masculino). La edad media total fue de 48,96 años.

Tabla 1. Pacientes según sexo y rango de edades

Rango de edades	Sexo		Total
	Femenino	Masculino	
25 o menos		2	2
26 - 35	3		3
36 - 45	4		4
46 - 55	6	3	9
56 - 65	2		2
66 y más	3	3	6
Total	18	8	26
Media por edad	49,5	48,72	48,96

Se registraron diferencias significativas solo para la tensión arterial diferencial según sexos, con una media de 43,35 mmHg (probabilidad de 0,028); el resto de las variables no presentaron diferencias marcadas. Asimismo, predominaron los sujetos con obesidad premórbida (48,1 %), a la cual le siguió el sobrepeso, con 33,3 %, y el peso normal, con 18,3 % (tabla 2).

Tabla 1. Pacientes según sexo, cifras tensionales e índice de masa corporal.

Variables	Sexo			
	Femenino		Masculino	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Tensión arterial sistólica (mmHg)	127	12,93	136	14,08
Tensión arterial diastólica (mmHg)	83	10,03	84	11,88
Diferencial (TAS - TAD)	44	9,55	53	15,81
Índice de masa muscular (kg)	31,23	5,02	26,76	2,90

Al analizar las variables hemoquímicas (tabla 3), no se identificaron diferencias marcadas desde el punto de vista estadístico.

Tabla 3. Análisis de variables hemoquímicas

Variables hemoquímicas	Mínimo	Máximo	Media	DS*
Glucemia (mmol/L)	3,90	6,60	5,2500	0,67365
Colesterol total (mmol/L)	3,30	7,10	5,1385	1,01433
Lipoproteínas de alta densidad-c (mmol/L)	0,90	7,10	2,8231	1,94634
Triglicéridos (mmol/L)	0,40	2,50	1,0346	0,49311
Creatinina (mm/L)	45,00	108,00	75,7308	19,00433
Microalbuminuria (g/24h)	0,00	19,83	2,8696	5,33485
Eritrosedimentación (mm/L)	3,00	20,00	9,8462	4,83067
Hemoglobina (g/L)	112,00	149,00	129,6923	9,95096

* DS: desviación estándar

En la tabla 4 se precisan los estimados promedios de las variables hemodinámicas, medidas con el ANGIODIN®. Respecto a las medias de cada variable, las distribuciones de sus valores fueron aproximadamente normales, excepto la de índice tobillo-brazo (ABI, siglas del inglés). Esto se verificó por el índice de Kurtosis, que deben estar lo más cerca posible de 0. De esta forma, se puede corroborar que las medias presentan valores representativos de las muestras.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos (media y DS) de las variables hemodinámicas calculadas desde las ondas de pulso

Variables hemodinámicas	Mínimo	Máximo	Media	DS*	Kurtosis
ABI (0 - 1)	0,5	1	0,73	0,17	-1,495
Tensión arterial media (ms)	152	318	232,73	42,4	0,118
Índice de rigidez (m/s)	5,2	15,0	8,49	3,33	-0,554
Tono vascular (%)	15	67	38,47	13,5	0,570
Edad vascular (años)	13,00	78	58,7	20,7	-0,221

* DS: desviación estándar

En la variable ABI ningún paciente presentó situación grave, pero la mayoría poseía estenosis leve; típica en pacientes con hipertensión arterial controlada. Sin embargo, en la variable IR sí se presentaron casos graves, con 19 % de aparición (tabla 5).

Tabla 5. Análisis de frecuencia de la clasificación realizada a la variable ABI y de IR

	Clasificación	Frecuencia	%	% Acumulativo
Variable IR	IR grave	5	19,2	61,5
	IR moderado	4	15,4	76,9
	IR normal	6	23,1	100,0
	Total	26	100,0	
Variable ABI	Estenosis grave			
	ABI normal	5	19,2	61,5
	Estenosis leve	10	38,5	100,0
	Total	26	100,0	

Existió una dependencia entre los cambios de las variables ABI e IR, con alta significación estadística ($p=0,004$ menor que 0,05), por lo que se evidenció una aceptable dependencia entre las clases establecidas de índice tobillo-brazo e IR.

El análisis de regresión fue realizado entre los valores numéricos de IR y ABI. Se encontró que no existía un aceptable coeficiente de determinación para la regresión lineal ($R^2=0,18$), debido a que algunos pacientes presentaron una manifestación fisiológica atípica, que alteraba la relación; por ejemplo, la función protectora de un paciente (hombre de 71 años) se activó para mejorar la perfusión de miembros inferiores ($ABI=0,75$), con el aumento de la diferencia de presión a 80 mmHg, debido al deterioro vascular permanente, expresado con un IR grave (14,3 m/s). Otro caso fue una

paciente de 61 años con estenosis leve (ABI=0,79), pero con IR grave (15 m/s), que presentó un contorno de las ondas de pulso típico de personas diabéticas (ondas sinusoidales), pues ella padecía diabetes mellitus de tipo 2 desde hacía más de 5 años.

Discusión

Se plantea una mayor prevalencia de la hipertensión arterial para el sexo masculino. En la bibliografía se notifica que la HTA predomina en los hombres hasta los 40 años de edad y a partir de esa edad en el sexo femenino, lo cual se atribuye a cambios en las características hormonales; incluso existe un aumento de la frecuencia después de la edad posmenopáusica, la que se duplica en relación con los hombres.⁽¹⁾

En Cuba, la prevalencia de hipertensión arterial desde el año 2013 hasta el 2015 ha ido en incremento, pues las cifras respectivas así lo reflejan: 208,9; 214,9 y 217,5 en tasas de 1 000 habitantes de población, con predominio del sexo femenino y de los grupos etarios de 60-64 años y de 65 y más, así como del grupo de edad laboral de 25-59 años.⁽⁶⁾

Con referencia a lo anterior, Roca Goderich⁽⁷⁾ informa que en los Estados Unidos de Norteamérica la prevalencia de HTA en los hombres puede llegar hasta 34 % y que en las mujeres estaría alrededor de 30 %.

En una investigación realizada por González Sánchez *et al*⁽⁸⁾ se estudiaron 276 adolescentes y existió un predominio del grupo etario de 10-14 años (59,4 %), el color de la piel blanco (60,9 %), sin diferencias en cuanto al sexo; también 23,2 % presentó sobrepeso y obesidad, 2,9 % hipertensión arterial y 14,5 % prehipertensión.

Durante las últimas 2 décadas ha sido significativo el incremento del sobrepeso y la obesidad en la población cubana, lo cual sugiere un incremento en el riesgo cardiovascular. En esta serie se observó una mayor frecuencia de la obesidad premórbida, seguida del sobrepeso y el peso normal, lo que constituye un alarmante problema de salud, que también ha sido identificado por otros autores cubanos, como Alfonso Guerra.⁽⁹⁾ La prevalencia de obesidad crece alarmantemente, por lo que se

debiera impeler a los profesionales de la salud y a los gestores a implantar medidas urgentes para prevenir la aparición de complicaciones.

En un estudio⁽¹⁰⁾ desarrollado en Holguín, la prevalencia de obesidad abdominal fue de 22,31 %, con predominio en el sexo femenino (77,77 %), y tasas de prevalencia de exceso de peso (19,83 %), hipertensión arterial (14,05 %), hipertrigliceridemia (30,58 %), lipoproteínas de alta densidad (HDL)-colesterol bajo (23,14 %) y síndrome metabólico (8,26 %).

Sin embargo, la prevalencia de sobrepeso estimada en la población adulta española (de 25–64 años) es de 39,3 % (con un intervalo de confianza -IC- de 95 %; 35,7-42,9 %), la de obesidad general de 21,6 % (IC: 95 %; 19,0-24,2 %), con 22,8 % (IC: 95 %; 20,6-25,0 %) entre los varones y 20,5 % (IC: 95 %; 18,5-22,5 %) entre las mujeres, y aumenta con la edad.⁽¹¹⁾

Rodríguez Domínguez,⁽¹²⁾ en su serie de 687 estudiantes relacionada con el sobrepeso y la obesidad, encontró una asociación estadísticamente significativa con el sexo; además, 96 (13,9 %) tenían sobrepeso y 64 (9,3 %) eran obesos, la circunferencia de la cintura mostró una posible situación de riesgo en 98 de ellos (14,2 %) y una franca atipicidad en 56 (8,1 %), con un percentil mayor de 97.

En las variables hemoquímicas hay que significar que la función de la dislipidemia en la génesis de la enfermedad coronaria es generalmente aceptada y que la obesidad y la dislipidemia están estrechamente asociadas en la mayoría de los pacientes; por consiguiente, el valor de la reducción de peso y, por ende, de los lípidos sanguíneos es innegable como medida preventiva en la enfermedad cardiovascular. Tal como se comunica en estudios sobre dislipidemias y obesidad, la elevación de los triglicéridos fue la alteración más significativa, lo cual además coincidió con lo referido por León Álvarez *et al.*,⁽¹³⁾ quienes encontraron valores medios más altos de colesterol total y colesterol-no HDL en los pacientes hipertensos (4,6 mmol/L y 3,6 mmol/L, respectivamente).

Se ha demostrado que a valores más altos de colesterol-HDL, existe menor riesgo de aparición de aterogénesis; incluso una de las metas en el tratamiento de pacientes hipertensos, que ha demostrado disminución del riesgo cardiovascular global, es el incremento de los valores del colesterol-HDL. A pesar de que en esta investigación no se hallaron diferencias significativas, sí se han identificado diferencias entre grupos de

estudio en cuanto a los valores de colesterol total y colesterol-no HDL, por lo que es importante significar que la relación del colesterol total con el riesgo cardiovascular es continua.⁽¹⁴⁾

Cabe señalar que se ha demostrado que la medida ecográfica de la rigidez arterial es un procedimiento sensible para detectar daño vascular de manera más precoz que el grosor íntima-media carotídeo.⁽¹⁵⁾

Una presión arterial elevada a lo largo del tiempo puede dar lugar a procesos de remodelado vascular por fenómenos de hipertrofia e hiperplasia, generando cambios estructurales que pueden producir, de manera intrínseca, rigidez arterial, lo que se traducirá en tasas más elevadas de velocidad de onda de pulso en pacientes hipertensos.⁽¹⁵⁾

Manzano *et al*⁽¹⁶⁾ presentan los interesantes resultados del estudio VITAMIN, en el que se investigó la prevalencia del ABI, disminuido en 493 sujetos sin antecedentes de enfermedad cardiovascular, atendidos en servicios de medicina interna. Los autores plantean que 1 de cada 5 sujetos sin diabetes y 1 de cada 3 diabéticos presentan una enfermedad arterial periférica. Estas prevalencias son llamativamente altas debido, sin duda, al elevado riesgo basal de su población (la mitad eran personas clasificadas como de alto riesgo) y, por lo tanto, no son representativas de la población general.

En una investigación⁽¹⁷⁾ que incluyó más de 1 000 participantes mayores de 60 años, sin enfermedad cardiovascular conocida ni diabetes, la prevalencia de un ABI disminuido fue de 3,8 %, con 9 % de la población catalogada como de alto riesgo. Por tanto, aunque todavía no conocemos la prevalencia real de un índice tobillo-brazo disminuido en Cuba, está claro que se incrementa al aumentar el riesgo cardiovascular de la población, independientemente de las tablas que se utilicen para calcularlo.

Se comprobó que existe dependencia entre las clasificaciones establecidas de ABI e IR. Esto concuerda con lo expuesto por Allen *et al*,⁽¹⁸⁾ quienes compararon el ABI con la forma de la onda de pulso en miembros inferiores, lo que dio una efectividad de 91 %, una sensibilidad de 93 % y especificidad de 89 %. La diferencia de la presente serie con respecto a lo anterior radica en el método de definir daño vascular partiendo de la onda de pulso. Los autores de este artículo consideran que el método definido por Chowienczyk *et al*,⁽¹⁹⁾ en 1999, Millasseau *et al*,⁽²⁰⁾ en 2006, y Pascau *et al*,⁽⁵⁾ en 2011, es

más efectivo porque se estima la rigidez arterial a nivel aórtico, al usar la talla de la persona y la relación temporal entre la onda directa y refleja.

Este último resultado se correspondió con los de otros trabajos publicados,^(2,3,15) donde se utiliza alguna medida de rigidez arterial comparada con las técnicas *gold standard* para el diagnóstico de insuficiencia arterial periférica, como es la prueba índice de presión tobillo-brazo.

En la actual investigación dos pacientes presentaron el índice de rigidez arterial alterado, con síntomas de “claudicación intermitente”, cosquilleo y calambre en ambos miembros inferiores; también, una de las pacientes era diabética, lo que constituía otro factor de riesgo, además de la hipertensión arterial. Lo anterior muestra que con la prueba de rigidez arterial se pudieran prevenir estas u otras complicaciones en personas hipertensas, y actuar sobre ellas.

Debe destacarse que el ABI es el método de oro para medir daño vascular, más factible para la atención primaria y la secundaria;⁽¹⁶⁾ pero se requiere un personal calificado, con mayor exigencia que la necesaria preparación para medir el IR por la técnica de fotopletomografía, mediante equipos portátiles como el ANGIODIN® PD 3000.

Resulta oportuno referir que en esta casuística existieron casos en los que el sistema cardiovascular aumentó la diferencia de presión arterial para garantizar la perfusión y el metabolismo en las zonas más distales, debido, precisamente, a un deterioro de la respuesta arterial periférica de la microcirculación, lo que entonces condujo a IR graves. Por último, se reflejó la importancia de determinar la rigidez arterial para prevenir complicaciones cardiovasculares en pacientes con HTA controlada, lo que significa una aceptada dependencia entre los valores clasificados de las variables índice de presiones tobillo-brazo e índice de rigidez arterial ($p=0,004$); salvo casos específicos que presentaron alteraciones que influyeron en la rigidez arterial, se acepta una regresión parabólica, mediante la función cuadrática, entre las variables IR y ABI.

Referencias bibliográficas

1. Pérez Caballero MD, León Álvarez JL, Dueñas Herrera A, Alfonzo Guerra JP, Navarro Despaigne DA, de la Noval García R, et al. Guía Cubana de diagnóstico, evaluación y tratamiento de la hipertensión arterial. Rev Cubana Med. 2017 [citado 19/10/2018]; 56(4). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75232017000400001
2. Forcada P, Melgarejo E, Echeverri D. Cuantificación de la rigidez arterial: de lo básico a lo clínico. Rev Colomb Cardiol. 2015 [citado 19/10/2018]; 22(2): 69-71. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-pdf-S0120563315000789>
3. Huerín MS, Masson Juárez WM, Goldring J, Martín Lobo L, Perrone SV, Sosa Liprandi A. Impacto del ejercicio supervisado en la rigidez arterial. Insuficiencia Cardíaca. 2014 [citado 19/10/2018]; 9(1). Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/3219/321930870003/>
4. Cuadra M, Corzo A, Pascau A, Ferrer O, García JC, Hernández D, Aldama A. ANGIODIN® PD 3000, sistema micro-controlado para el diagnóstico de afecciones circulatorias periféricas. Actas del Primer Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica; 11-14 Nov 1998; Mazatlán, México. Ciudad de México: CORAL; 1998.
5. Pascau Simón A, Fernández-Britto Rodríguez JE, Allen J. Nuevos modelos conceptual y matemático para el contorno de la onda de volumen de pulso arterial. Rev Cubana Invest Biomed. 2011 [citado 19/10/2018]; 30(4). Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/ibi/vol30_4_11/ibi07411.htm
6. Alfonso Príncipe JC, Salabert Tortoló I, Alfonso Salabert I, Morales Díaz M, García Cruz D, Acosta Bouso A. La hipertensión arterial: un problema de salud internacional. Rev Med Electrón. 2017 [citado 19/10/2018]; 39(4): 987-94. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000400013
7. Roca Goderich R. Hipertensión arterial. En: Noya Chaveco ME, Moya González N. Roca Goderich R. Temas de Medicina Interna. 5 ed. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2017. p. 379-94.

8. González Sánchez R, Llapur Milián R, Díaz Cuesta M, Illa Cos MR, Yee López E, Pérez Bello D. Estilos de vida, hipertensión arterial y obesidad en adolescentes. *Rev Cubana Pediatr.* 2015 [citado 17/10/2018]; 87(3): 273-84. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75312015000300003
9. Alfonso Guerra JP. Obesidad. *Rev Cubana Salud Pública.* 2013 [citado 17/10/2018]; 39(3): 424-5. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21428801001>
10. Diéguez Martínez M, Miguel Soca PE, Rodríguez Hernández R, López Báster J, Ponce de León D. Prevalencia de obesidad abdominal y factores de riesgo cardiovascular asociados en adultos jóvenes. *Rev Cubana Salud Pública.* 2017 [citado 17/10/2018]; 43(3): 396-411. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662017000300007
11. Aranceta-Bartrina J, Pérez-Rodrigo C, Alberdi-Aresti G, Ramos-Carrera N, Lázaro-Masedo S. Prevalence of general obesity and abdominal obesity in the Spanish adult population (aged 25–64 years) 2014–2015: The ENPE Study. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed).* 2016 [citado 17/10/2018]; 69(6): 579–87. <http://www.revespcardiol.org/en/prevalence-of-general-obesity-and/articulo/90453786/>
12. Rodríguez Domínguez L, Díaz Sánchez ME, Ruiz Álvarez V, Hernández Hernández H, Herrera Gómez V, Montero Díaz M. Factores de riesgo cardiovascular y su relación con la hipertensión arterial en adolescentes. *Rev Cubana Med.* 2014 [citado 19/10/2018]; 53(1): 25-36. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/med/vol53_1_14/med04114.htm
13. León Álvarez JL, Guerra Ibáñez G, Yanes Quesada MA, Calderín Bouza RO, Gutiérrez Rojas A. Disfunción endotelial en hipertensos de reciente diagnóstico. *Rev Cubana Med.* 2014 [citado 19/10/2018]; 53(4): 417-29. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75232014000400006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
14. Stone NJ, Robinson JG, Lichtenstein AH, Bairey Merz CN, Blum CB, Eckel RH, et al. 2013 ACC/AHA Guideline on the Treatment of Blood Cholesterol to Reduce Atherosclerotic Cardiovascular Risk in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation.*

2014 [citado 19/10/2018]; 129(25 Suppl 2): 1-45. Disponible en: <https://www.ahajournals.org/doi/pdf/10.1161/01.cir.0000437738.63853.7a>

15. Gómez-Marcos MA, Recio-Rodríguez JI, Patino-Alonso MC, Agudo-Conde C, Rodríguez-Sánchez E, García-Ortiz L. Parámetros de rigidez arterial en sujetos hipertensos y diabéticos comparados con controles. Rev Esp Cardiol. 2012 [citado 19/10/2018]; 65(4): 384-7. Disponible en: <http://www.revespcardiol.org/es/parametros-rigidez-arterial-sujetos-hipertensos/articulo/90113969/>

16. Manzano L, García-Díaz JD, Gómez-Cerezo J, Mateos J, del Valle F, Medina-Asensio J, et al. Valor de la determinación del índice tobillo-brazo en pacientes de riesgo vascular sin enfermedad aterotrombótica conocida: estudio VITAMIN. Rev Esp Cardiol. 2006; 59(7): 662-70.

17. Vicente I, Lahoz C, Taboada M, Garcia A, San Martin MA, Terol I, et al. Prevalencia de un índice tobillo-brazo patológico según el riesgo cardiovascular calculado mediante la función de Framingham. Med Clin (Barc). 2005; 124(17):641-4.

18. Allen J, Overbeck K, Nath AF, Murray A, Stansby G. A prospective comparison of bilateral Photoplethysmography versus the ankle-brachial pressure index for detecting and quantify in glower limb peripheral arterial disease. J Vasc Surg. 2008; 47(4):794-802.

19. Chowienczyk PJ, Kelly RP, MacCallum H, MillasseauSC, Andersson TL, Gosling RG, et al. Photoplethysmographic assessment of pulse wave reflection blunted response to endothelium-dependent beta 2-adrenergic vasodilation in type II diabetes mellitus. J Am Coll Cardiol. 1999; 34(7): 2007-14.

20. Millasseau SC, Ritter JM, Takazawa K, Chowienczyk PJ. Contour analysis of the photoplethysmographic pulse measured at the finger. J Hypertens. 2006; 24(8): 1449-56.

^AExcepcionalmente este artículo ha sido publicado con seis autores, por la transcendencia de un estudio de este tipo, en el que cada autor tuvo un considerable aporte.



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).