

Valoración Latido a Latido de la Onda de Presión Arterial Durante las Fases de Valsalva

C. R. Arbeitman^{##1}, L. J. Cymberknop^{*&}, M. R. Alfonso^{*&} y R. L. Armentano^{*&}

[#]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, Argentina

¹clarbeitman@yahoo.com.ar

^{*}Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Favaloro, Buenos Aires, Argentina

[&]Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina

Abstract—The Valsalva Maneuver (VM) is a physiological test used for the evaluation of baroreflex and cardiovascular autonomic functions. Both blood pressure, pulse pressure, heart rate, electrocardiogram, and cardiac sounds can be monitored in order to determine normal and abnormal responses. In this work, changes in augmentation index (AIx), which represents the effect of the reflected wave in primary arterial blood wave were quantified during VM. Pressure waveforms were recorded in the radial artery (using the applanation tonometry technique) at the different phases of hemodynamic regulation, in healthy subjects. Volunteers were classified on the basis of three patterns of autonomic response. In all cases, beat to beat AIx increment was characterized at the beginning of the maneuver until late phase II. The index showed its maximum value at the end of the sustained pressure period, and then started to decrease until its baseline value, during the recovery phase. These findings may be useful in future assessments to identify mild autonomic dysfunction and / or typical and atypical distinctive AIx variations patterns, both in health and disease.

Resumen—La maniobra de Valsalva (MV) es una prueba fisiológica utilizada en la evaluación de barorreflejos y funciones autonómicas cardiovasculares. El monitoreo de la presión arterial, presión de pulso, frecuencia cardíaca, y sonidos cardíacos se utilizan comúnmente para determinar las respuestas normales y anormales de la maniobra. En el presente trabajo se cuantificaron los cambios del índice de aumento (AIx), el cual representa el efecto de la onda arterial reflejada en la onda arterial primaria. Se registró la morfología de presión en la arteria radial (mediante la técnica de tonometría por aplanamiento) durante la MV en las diferentes fases de regulación hemodinámica, en sujetos sanos. Los voluntarios fueron clasificados sobre la base de tres patrones de respuesta autonómica. Para todos los casos se pudo caracterizar latido a latido el incremento del AIx desde el comienzo de la maniobra hasta la fase II tardía. Dicho índice alcanzó un máximo al final del periodo de mantenimiento de presión, y luego experimentó un descenso hasta alcanzar su valor basal durante la fase de recuperación. Estos hallazgos podrían ser de utilidad en futuras evaluaciones para la identificación de disfunción autonómica leve y/o patrones de variaciones de AIx típicos y atípicos distintivos, tanto en individuos sanos como en portadores de diversas patologías.

I. INTRODUCCIÓN

La acción de los distintos barorreflejos juega un rol esencial en la regulación nerviosa de la presión arterial (*PA*). Mediante mecanismos de integración de estos reflejos (a nivel del sistema nervioso central) se generan cambios compensatorios en la frecuencia cardíaca (componente vagal) y en la resistencia vascular periférica total (com-

ponente simpático adrenérgico), responsables de la variabilidad de *PA* latido a latido [1]. En numerosos estudios se ha demostrado la existencia de un deterioro neuropático de la sensibilidad barorrefleja en patologías cardiovasculares varias y su utilidad como valor pronóstico [2-3]. En este sentido, la valoración clínica del barorreflejo arterial puede realizarse de manera no invasiva mediante la maniobra de Valsalva (*MV*). La misma consiste en una espiración forzada contra la glotis cerrada -o por extensión a una resistencia- de lo cual se desprenden dos métodos: a) no instrumental, donde el paciente inspira y «puja» durante 10 a 15 segundos, soltando el aire bruscamente y b) maniobra instrumentada, donde el paciente exhala el aire hacia una boquilla conectada a una columna de mercurio. [4]. Esta técnica proporciona un índice indirecto de la función simpática vasoconstrictora basada en la caracterización de la respuesta de *PA*. Asimismo, el análisis de dicha respuesta puede arrojar patrones normales diferenciados según la función autonómica se encuentre equilibrada, aumentada o suprimida [5].

El objetivo del presente trabajo consistió en efectuar una descripción “latido a latido” de la variación de *PA*, durante *MV* no instrumental, en sujetos voluntarios sanos. Estos últimos se clasificaron en virtud de los distintos patrones de respuesta autonómica dicha maniobra y se evaluaron los cambios instantáneos experimentados por la morfología de *PA* durante las distintas fases del periodo.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

A. Selección de sujetos

Se seleccionaron para el estudio -previo consentimiento verbal- 5 jóvenes sanos, de sexo masculino, sin antecedentes cardiovasculares, con edades entre 20 y 35 años. Primeramente, se les efectuó una anamnesis con el fin de obtener información demográfica. A continuación se llevaron a cabo tomas esfigmomanométricas de *PA*, el registro de la derivación bipolar I del electrocardiograma (*ECG*) y determinaciones tonométricas en la arteria radial, antes, durante y después de realizada la maniobra de Valsalva. El protocolo se desarrolló utilizando equipamiento para adquisiciones múltiples diseñado por nuestro laboratorio [6], mientras que el procesamiento de las señales obtenidas se llevó a cabo a partir de algoritmos desarrollados bajo plataforma MatLab® (Mathworks Inc., Natick, EUA).

B. Registro Esfigmomanométrico de la *PA*

Se determinaron las presiones arteriales sistólica (**PAS**) y diastólica (**PAD**) a partir de un esfigmomanómetro aneroides, dos veces antes de iniciar la experiencia y posteriormente a la maniobra. Previamente a comenzar el estudio, los sujetos se mantuvieron durante 10 minutos en reposo en posición supina, sin encontrarse en período postprandial inmediato y en ausencia de retención urinaria. Las fases 1 y 5 de Korotkoff se utilizaron para definir la **PAS** y **PAD**, respectivamente.

C. Mediciones Tonométricas de PA

Posteriormente a la determinación de **PAS** y **PAD**, se continuó con las mediciones de **PA** mediante tonometría por aplanamiento en la arteria radial, con el fin de obtener su variación morfológica durante la maniobra. Para ello, se localizó mediante tacto el sitio de registro, determinado por el canal del pulso. Se utilizó el mismo brazo que el empleado en las determinaciones de **PA**, siguiendo las recomendaciones del consenso de la European Society of Hypertension [7]. El equipamiento utilizado dispone de un tonómetro ajustable a la muñeca, constituido esencialmente por un sensor piezorresistivo de elevada respuesta en frecuencia (1200 Hz, Konigsberg Inc., Pasadena, EUA). Dicho tonómetro se colocó sobre la arteria radial (Fig. 1) y la mayor sensibilidad a la presión intra-arterial se ajustó experimentalmente, aplicando mayor o menor presión al sensor por el operador, hasta conseguir la máxima señal de salida. Finalmente, se adquirieron 20 latidos basales, a una frecuencia de muestreo de 500 Hz.



Fig. 1. Tonometría de aplanamiento en arteria radial. Se desarrolló un dispositivo especial para sujetar el sensor con el fin de evitar la intervención del operador durante la adquisición de datos.

D. Maniobra de Valsalva

Luego se registrar mediciones tonométricas basales sobre la arteria radial durante 30 segundos, se solicitó al sujeto que realice una maniobra de Valsalva, tan profunda como le fuera posible, durante al menos 10 segundos. Las ondas de presión se registraron antes, durante y hasta 60 segundos post fase de liberación.

La respuesta hemodinámica de la maniobra puede dividirse en cuatro fases [8-10]:

- Fase I (de presión): la inspiración inicial y posterior esfuerzo por expulsar el aire contra la glotis cerrada, produce un aumento de la presión intratorácica. En el primer instante aumenta de manera rápida el llenado ventricular izquierdo y se incrementa el gasto cardíaco izquierdo, la presión sistólica, la presión diastólica con aumento de la presión de pulso. La consecuente bradicardia refleja es característica de esta fase.
- Fase II (de mantenimiento de presión): al sostener la espiración forzada durante 10 segundos; se produce dis-

minución gradual de la presión arterial y de la presión de pulso, mientras que la presión diastólica se mantiene fija por aumento de las resistencias vasculares periféricas junto con taquicardia refleja. Se eleva la frecuencia cardíaca y las resistencias vasculares periféricas.

- Fase III (de liberación): caída inmediata de la presión al expulsar el aire de manera brusca. La presión retorna rápidamente a niveles basales. En las cavidades izquierdas, la expansión y aumento del llenado de las cavidades derechas junto con la ausencia de presión intratorácica, disminuye el llenado ventricular que transitoriamente baja su presión arterial y su presión de pulso.
- Fase IV (de recuperación o sobreestimulación): Recuperación paulatina del gasto cardíaco y de la presión arterial. Se mantienen elevadas las resistencias vasculares periféricas. Esto aumenta el volumen expulsado, lo cual inhibe a los barorreceptores (que fueron activados en la fase II), terminando con la estimulación alfa y beta adrenérgica.

E. Evaluación de la Respuesta de PA

En el presente trabajo, se caracterizó latido a latido la maniobra de Valsalva, a partir de la determinación de los siguientes parámetros:

- Variación de la presión arterial sistólica (**PAS**): las fluctuaciones de **PAS** se determinaron para clasificar las respuestas adquiridas durante la maniobra, representadas por tres patrones de comportamiento autonómico. Tomando como base el trabajo de Palamarchuk y colaboradores [5], se analizó cualitativamente la variación en la **PAS** entre la fase II temprana y la fase III, para distinguir patrones de respuesta **VM**. Los mismos pueden clasificarse en uno de los tres subgrupos: Respuesta Autonómica Equilibrada (**RAE**), Respuesta Autonómica Aumentada (**RAA**) y Respuesta Autonómica Suprimida (**RAS**). Los individuos que mostraron patrones poco claros en términos cualitativos fueron excluidos del análisis.

- Índice de Aumento (**AIx**): Se calcula como la relación entre la presión del pulso en el segundo pico sistólico y la correspondiente al primer pico sistólico: Esencialmente, **AIx** representa una cuantificación del efecto de la onda arterial reflejada en la onda arterial primaria [11]:

$$AIx = \frac{P_1}{PP}, \quad (3)$$

donde **P₁** es la diferencia entre el segundo pico de la onda de presión radial y la presión diastólica y **PP** es la presión de pulso [12, 13]. Una vez obtenida la variación latido a latido de **PAS** y **AIx**, se aplicó la transformada ondita continua a las series de datos, con el fin de determinar la tendencia experimentada por la maniobra (detalle de menor nivel) y eliminar de esta manera artefactos o variaciones abruptas.

III. RESULTADOS

A. Datos Antropométricos

En la tabla I se observan los resultados obtenidos como consecuencia de la anamnesis efectuada. La edad promedio de los individuos evaluados correspondió a 32±8 años, con un peso de 83±12 kg y una altura de 179±8 cm. El índice de masa corporal (**IMC**) correspondiente a dicho

rango etario se calculó en 26 ± 2 . Los valores sistodiastólicos de presión arterial obtenidos fueron 119 ± 5 mmHg y 73 ± 3 mmHg, respectivamente, con una frecuencia cardíaca (*FC*) basal de 55 ± 8 latidos por minuto.

TABLA I. RESULTADOS DE LA ANAMNESIS. IMC: ÍNDICE DE MASA CORPORAL, PAS: PRESIÓN ARTERIAL SISTÓLICA, PAD: PRESIÓN ARTERIAL DIASTÓLICA. FC: FRECUENCIA CARDÍACA. RESULTADOS EXPRESADOS COMO MEDIA \pm DESVÍO ESTÁNDAR

#	Parámetros antropométricos	
5 masculinos	Altura [cm]	179 \pm 8
	Peso [Kg]	83 \pm 12
	Edad [años]	32 \pm 8
	IMC [cm ² /Kg]	26 \pm 2
	PAS [mmHg]	119 \pm 5
	PAD [mmHg]	73 \pm 3
	FC [latidos/min]	55 \pm 8

La Fig. 2 manifiesta un registro típico de la derivación I del ECG, conjuntamente con la variación de la frecuencia cardíaca resultante de la maniobra. Pueden distinguirse a lo largo del mismo, las siguientes etapas: fase I (bradicardia refleja), fase II Temprana (bradicardia), fase II tardía (taquicardia refleja), y posterior recuperación paulatina de la *FC* basal en las fases III y IV.

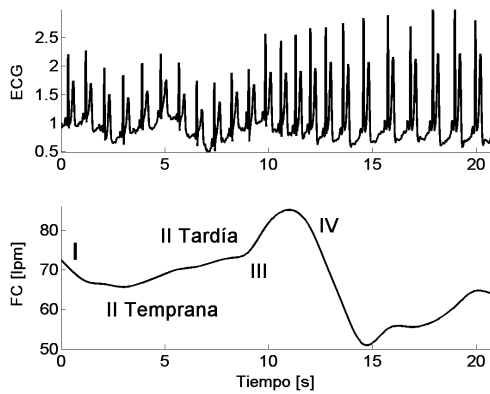


Fig. 2. Panel superior, registro electrocardiográfico (ECG) durante la maniobra de Valsalva, para un caso en particular. Panel inferior, variación instantánea de la frecuencia cardíaca e identificación de las distintas fases: I, II temprana, II tardía, III y IV.

En la Fig. 3 (panel superior) se observa una respuesta tipo *RAS*. En este caso *PAS* se mantiene durante toda la fase de sostenimiento de presión por encima de su valor basal (3 a 15 s) debido al incremento en la resistencia vascular periférica durante la *MV*. La *PAS* comienza a disminuir -con *PAD* constante- en la fase II temprana (3 a 6 s, reflejo cardiovagal). La fase II tardía (6 a 10 s) cursa con un aumento de la *PAS* (reflejo α - adrenérgico), continuando la fase III temprana (11 a 12 s) con una disminución de la presión arterial sistólica con recuperación su valor base (cambio de presión intratorácica). El comienzo de la fase IV (a partir de 20 s) se caracteriza por aumento de la *PAS* con un máximo por encima de su valor basal y posterior descenso de la misma durante la fase de recuperación. Por otra parte, en el panel inferior se visualiza una respuesta de tipo equilibrada (*RAE*). La *PAS* registrada es inferior a su valor basal durante toda la extensión de la fase II (3 a 10 s), se mantiene por debajo durante la fase III (11 a 15 s) y la recuperación se produce en fase IV (a

partir de los 20 s). Esta última característica la diferencia de una respuesta aumentada, donde la recuperación de la *PAS* basal ocurre durante la fase II.

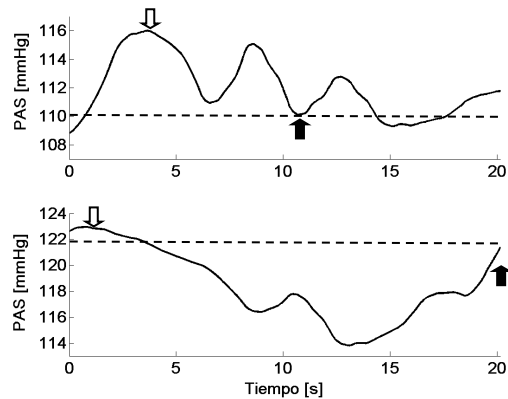


Fig. 3. Variación instantánea de la presión sistólica arterial (*PAS*) ante la maniobra de Valsalva, en dos individuos. Panel superior, respuesta autonómica suprimida (*RAS*), panel inferior, respuesta autonómica equilibrada (*RAE*). $\hat{\uparrow}$: comienzo fase II temprana, \blacktriangle : recuperación de *PAS*.

Finalmente en la Fig. 4 (panel superior) se aprecia la variación de *PAS*, conjuntamente con los cambios morfológicos acusados por *PA* en virtud de la variación de *AIx* (panel inferior). Este último manifiesta pendientes de ascenso y descenso diferenciadas, cuyos valores se encuentran detallados en la tabla II, según el tipo de respuesta determinada para cada individuo.

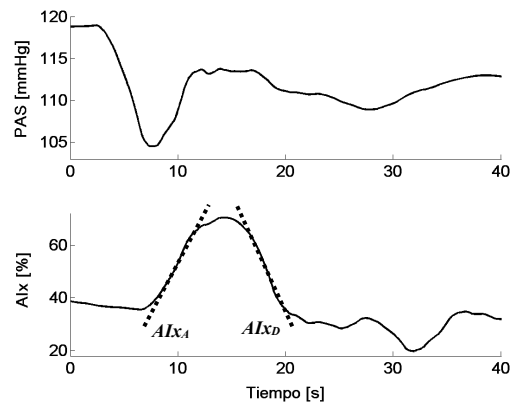


Fig. 4. Variación instantánea de la presión sistólica arterial (*PAS*, panel superior) conjuntamente con sus cambios morfológicos, determinados por el índice de aumento (*AIx*, panel inferior). Se observan las pendientes de ascenso y descenso (*AIx_A*, *AIx_D*, respectivamente)

IV. DISCUSIÓN

En el presente trabajo, se evaluaron variaciones latido a latido en *PAS* y *AIx* durante *MV*, en individuos sanos. Se determinó la sensibilidad barorrefleja a partir de la maniobra de Valsalva, clasificando las respuestas en tres patrones diferentes de reflejo autonómico.

Típicamente, la valoración del componente vagal barorreflejo a través de la *MV* se evalúa relacionando *PAS* latido a latido durante la fase II temprana, con la recíproca de *FC* en ese periodo. Asimismo, el componente adrenérgico se evalúa a partir del tiempo de recuperación de la *PAS* desde fase III a su valor basal. Es un hecho conocido que, en los sujetos normales, la fase II tardía puede ser tan eficiente que la *PAS* puede recuperarse finalizando dicha

fase o al inicio de la fase III (respuesta aumentada) [14, 15]. Por el contrario, el patrón clásico corresponde a **RAB**, con una recuperación durante la fase IV. En los casos en donde la **PAS** no desciende por debajo de su valor basal durante la taquicardia refleja de fase II, se está ante **RAS** [5].

TABLA II. RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA MANIOBRA DE VALSALVA NO INSTRUMENTADA. AIX_A , AIX_D : ÍNDICE DE AUMENTO EN AUMENTO Y DESCENSO, RESPECTIVAMENTE. RAS: RESPUESTA AUTONÓMICA SUPRIMIDA, RAE: RESPUESTA AUTONÓMICA EQUILIBRADA.

#	Tipo Respuesta	AIX_A	AIX_D
1	RAS	4,67	5,50
2	RAS	7,01	9,64
3	RAE	2,90	2,29
4	RAE	4,14	2,34
5	RAE	8,25	3,85

El comportamiento en AIX latido a latido pudo caracterizarse como un incremento paulatino del valor de dicho índice durante las fases I y II de la maniobra. Transcurrida la fase II tardía el índice de aumento alcanza un máximo, para luego disminuir durante las fases de liberación y recuperación (III y IV). Lo notable de la experiencia es que las pendientes de ascenso y descenso que describe el AIX podrían estar relacionadas con el tipo de respuesta autonómica. En el caso de **RAS**, la pendiente de recuperación resultaría más pronunciada mientras que en **RAE**, se observaría la situación inversa. La relación temporal estímulo – respuesta manifestado por **PAS**, se retrasa un lapso variable para cada patrón adrenérgico, lo que refleja el comportamiento vasoconstrictor lento del músculo de liso. Este tiempo y las características de la recuperación probablemente también reflejen una combinación de la vasoconstricción mediada por barorreflejo y el retroceso elástico arterial, entre otros factores [16]. En este sentido, la variabilidad del AIX , índice fundamentalmente relacionado con la reflexión de onda y la rigidez arterial, podría estar en relación con una respuesta adrenérgica vasoconstrictora levemente modificada durante las fases II temprana y tardía. La ausencia de fase II tardía, en la que **PAS** no logra ascender, es una de las primeras manifestaciones de disfunción adrenérgica [15]. Los resultados obtenidos sugieren que estos patrones AIX en los diferentes tipos de respuesta autonómica pueden llegar a ser significativos desde el punto de vista clínico, utilizables en la evaluación de formas subclínicas o leves de disfunción autonómica tales como taquicardia postural o síncope vasovagal. En cuanto a las limitaciones del estudio, el número de voluntarios estudiado es notablemente reducido, lo que resulta en una dispersión moderada de los datos. Asimismo, la búsqueda de correlaciones con otros parámetros hemodinámicos sería prematuro en esta instancia.

V. CONCLUSIÓN

Se evaluaron los cambios en **PAS** y AIX , latido a latido, durante **MV** en sujetos sanos, mediante la aplicación de la técnica de tonometría por aplanamiento. Son necesarios más estudios para determinar la utilidad clínica de los indicadores aquí propuestos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Sr. Martín De Luca por su asistencia durante la fase de adquisición de datos.

REFERENCIAS

- [1] L. Rudas, A. A. Crossman, C.A. Morillo, J.R. Halliwill, K.U. Tahvanainen, T.A. Kuusela, D.L. Eckberg, "Human sympathetic and vagal baroreflex responses to sequential nitroprusside and phenylephrine", *Am J Physiol*, vol. 276, pp. 1691-1698, 1999.
- [2] M.T. La Rovere, J.T. Bigger, F.I. Marcus, A. Mortara, P.J. Schwartz, "Baroreflex sensitivity and heart-rate variability in prediction of total cardiac mortality after myocardial infarction", *Lancet* vol. 351, pp. 478-484, 1998.
- [3] G. Osculati, C. Giannattasio, G. Seravalle, F. Valagussa, A. Zanchetti, G. Mancia, "Early alterations of the baroreceptors control of heart rate in patients with acute myocardial infarction", *Circulation*, vol. 81, pp. 939-948, 1990.
- [4] B. L. Fishleder, *Exploración cardiovascular y fonomecanocardiografía clínica*, 2ª Ed, México, Prensa Médica Mexicana, 1978.
- [5] I. Palamarchuk, J. Baker, K. Kimpinski, "Non-invasive measurement of adrenergic baroreflex during Valsalva maneuver reveals three distinct patterns in healthy subjects", *Clinical Neurophysiology*, vol. 127, pp. 858-863, 2016.
- [6] M. A. De Luca, L. Petrauskas, I. Meyer, L. J. Cymberknop, R. L. Armentano, "Red Inalámbrica de Dispositivos para la Medición de Parámetros Fisiológicos", VI Latin American Conference on Biomedical Engineering, 2014.
- [7] G. Mancia, G. Backer, A. Dominiczak, R. Cifkova, R. Fagard, G. Germano et al., "Guidelines for the Management of Arterial Hypertension. The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC)", *Hypertension*, vol. 25, pp. 1105-87, 2007.
- [8] D. E. Schmidt, P.K. Shah, "Accurate detection of elevated left ventricular filling pressure by a simplified bedside application of the Valsalva maneuver" *Am J Cardiol*, vol. 71, pp. 462-465, 1993.
- [9] M. J. Zema, "Diagnosing heart failure by the Valsalva maneuver. Isn't it finally time?", *Chest*, vol. 116, pp. 851-853, 1999.
- [10] Zema M. J., "Bedside assessment of cardiac hemodynamics: role of the simple Valsalva maneuver", *Am J Med*, vol. 124, pp. 1051-1057, 2011.
- [11] L. J. Sá da Fonseca, M. A. Mota-Gomes, L. A. Rabelo, "Radial Applanation Tonometry as an Adjuvant Tool in the Noninvasive Arterial Stiffness and Blood Pressure Assessment", *World Journal of Cardiovascular Diseases*, vol. 4, pp. 225-235, 2014.
- [12] A. de Sá Ferreira, J. B. Filho, I. Cordovil, M. Nogueira de Souza, "Noninvasive pressure pulse waveform analysis of flow-mediated vasodilation evoked by post-occlusive reactive hyperemia maneuver", *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 7, pp. 616-621, 2012.
- [13] E. A. Patvardhan, K. S. Heffernan, J. M. Ruan, et al., "Assessment of vascular endothelial function with peripheral arterial tonometry", *Cardiol. Rev.*, vol. 18, pp. 20-28, 2010.
- [14] C. C. Huang, P. Sandroni, D. M. Sletten, S. D. Weigand, P. A. Low, "Effect of age on adrenergic and vagal baroreflex sensitivity in normal subjects", *Muscle Nerve*, vol. 36, pp. 637-42, 2007.
- [15] C. Schrezenmaier, W. Singer, N. Muentner Swift, D. Sletten, J. Tanabe, P. A. Low, "Adrenergic and Vagal Baroreflex Sensitivity in Autonomic Failure", *Arch Neurol*, vol. 64, pp. 381-386, 2007.
- [16] J. D. Stewart, P. A. Low, R. D. Fealey, "Distal small fiber neuropathy: results of tests of sweating and autonomic cardiovascular reflexes" *Muscle Nerve*, vol. 15, pp. 661- 665, 1999.