Artículo Original de Investigación

Prediciendo la rigidez arterial con perceptrón multicapa; un enfoque basado en datos clínicos

Predicting arterial stiffness with multilayer perceptron; a clinical data-driven approach

Alberto Guevara Tirado

Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 18 de Octubre de 2025
Aceptado después de revisión
el 28 de Enero de 2025
www.revistafac.org.ar

El autor declara no tener conflicto de intereses

Palabras clave:
Rigidez vascular;
índice vascular cardio-tobillo;
pruebas hematológicas;
análisis de datos secundarios;
redes neurales de la computación.

RESUMEN

Introducción: la rigidez arterial es la disminución de la elasticidad de las arterias, principalmente de gran calibre.

Objetivo: predecir la presencia o ausencia de rigidez arterial a través de exámenes de atención primaria mediante perceptron multicapa.

Materiales y método: estudio analítico y transversal de una base de datos secundaria conformada por 801 pacientes sometidos a determinación del índice vascular cardio-tobillo(CAVI) mediante detector de arteriosclerosis. Las variables dependientes fueron CAVI izquierdo (LCAVI), derecho (RCAVI). Las variables independientes fueron 11 pruebas obtenidas mediante historia clínica. Se utilizó redes neuronales tipo perceptrón multicapa, del cual se evaluó la tabla de clasificación, la capacidad predictiva, y pruebas diagnósticas.

Resultados: para LCAVI, el modelo tuvo un área bajo la curva (AUC) de 0,878. Para RCAVI, el AUC fue 0,869. La prueba del modelo tuvo un porcentaje de pronósticos correctos para CAVI ≥ 9 de 70,70% y 67,10% para LCAVI y RCAVI, respectivamente. Para CAVI < 9 fue de 91,60% para LCAVI y 94,60% para RCAVI. La concordancia entre la presencia y ausencia de rigidez arterial de la prueba CAVI del detector de arteriosclerosis, y la CAVI obtenida mediante perceptrón multicapa fue moderada para LCAVI (K=0,579) y RCAVI (K=0,587). Los valores de especificidad fueron 92% y 93% para LCACVI y RCAVI, respectivamente. El valor predictivo negativo fue 88% para LCAVI y 89% para RCAVI.

Conclusiones: la red neuronal tipo perceptron multicapa, basada en exámenes de atención primaria, tuvo un alto valor predictivo de LCAVI y RCAVI para excluir la presencia de rigidez arterial.

Keywords:
Vascular stiffness;
cardio ankle vascular index;
blood tests;
secondary data analysis;
neural networks, computer.

Predicting arterial stiffness with multilayer perceptron; a clinical data-driven approach

ABSTRACT

Introduction: arterial stiffness is a decrease in the elasticity of the arteries, mainly those of large caliber.

Objective: to predict the presence or absence of arterial stiffness through primary care examinations using multilayer perceptron.

Materials and methods: analytical and cross-sectional study of a secondary database made up of 801 patients undergoing estimation of cardio-ankle vascular index (CAVI) using an atherosclerosis detector. The dependent variables were left CAVI (LCAVI), right CAVI (RCAVI). The independent variables were 11 tests obtained through clinical history. Multilayer perceptron-type neural networks were used, from which the classification table, predictive capacity, and diagnostic tests were evaluated.

Results: for LCAVI, the model had an area under the curve (AUC) of 0.878. For RCAVI, the AUC was 0.869. The model test had a percentage of correct predictions for CAVI ≥ 9 of 70.70% and 67.10% for LCAVI and RCAVI, respectively. For CAVI < 9 it was 91.60% for LCAVI and 94.60% for RCAVI. The correlation between the presence and absence of arterial stiffness of the CAVI test of the atherosclerosis detector, and the CAVI obtained by multilayer perceptron was moderate for LCAVI (K = 0.579) and RCAVI (K = 0.587). Specificity values were 92% and 93% for LCAVI and RCAVI, respectively. The negative predictive value was 88% for LCAVI and 89% for RCAVI.

Conclusions: the multilayer perceptron-type neural network, based on primary care examinations, had a high predictive value for LCAVI and RCAVI to exclude the presence of arterial stiffness.

Autor para correspondencia: **Dr. Alberto Guevara Tirado.** Calle Doña Delmira, manzana E, lote 4. Urbanización Los Rosales, Santiago de Surco, Lima, Perú. *e-mail*: albertoguevara1986@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La rigidez arterial es un proceso natural asociado al envejecimiento biológico, acelerado por la inflamación producida en el contexto de la arteriosclerosis, determinado por mecanismos comunes que incluyen una relación elastina/colágeno reducida, producción de enlaces cruzados de elastina, inflamación inducida por especies reactivas de oxígeno, calcificación, rigidez de las células del músculo liso vascular y disfunción endotelial[1,2]. El envejecimiento ocasiona cambios degenerativos que cursan con un desgaste contráctil de la elastina ubicada en la túnica media debido a ciclos repetitivos de estrés mecánico, e incremento y transformaciones de proteínas de colágeno arterial generadas para compensar la pérdida de elastina, así como la reticulación colágena debido a productos finales de glicación avanzada[3]. El aumento de la rigidez arterial se asocia a un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular (hipertensión, infarto de miocardio, insuficiencia cardiaca, accidente cerebrovascular), las cuales son la primera causa de muerte a nivel mundial, con más de 20 millones de muertes anuales[4].

La determinación de la rigidez arterial se puede realizar con el índice vascular cardio-tobillo (CAVI), el cual mide la rigidez arterial directamente, no es invasivo, y con alto valor para predecir morbimortalidad cardiovascular, sobre todo en adultos mayores de 60 años[5]. Deriva de la ecuación de Bramwell-Hill e introduce el parámetro de rigidez β, que representa la dilatabilidad arterial, la cual se correlaciona con los cambios en el diámetro arterial durante la sístole y diástole[6]. El CAVI puede ser obtenido con dispositivos electrónicos llamados "detectores de arteriosclerosis" que miden la presión arterial en brazos y tobillos, realizan un electrocardiograma, fonocardiogramas y determinan las ondas de pulso.

La medición del CAVI generalmente se reserva para pacientes con factores de elevado riesgo de morbimortalidad cardiovascular y cerebrovascular[7]. El dispositivo de medición de rigidez arterial no es utilizado como un instrumento de medición regular en la población general que asiste a consultas de atención primaria y de cardiología, sin embargo, esta población puede beneficiarse desde un punto de vista preventivo y de seguimiento si conociera si presenta o no rigidez arterial y, por tanto, un riesgo de enfermedad circulatoria.

En ese sentido, datos consignados en la historia clínica, resultados de laboratorio y hemodinámicos realizados de forma rutinaria, podrían estar relacionados directa o indirectamente con el CAVI y podrían servir como un instrumento indirecto para la estimación de la rigidez arterial que llegue a un mayor número de pacientes. Por ello, el objetivo de esta investigación fue predecir la presencia o ausencia de rigidez arterial a través de exámenes de atención primaria mediante perceptrón multicapa.

MATERIAL Y MÉTODO

Diseño y población de estudio

Estudio analítico y de corte transversal proveniente de datos secundarios del repositorio *Harvard Dataverse* (ver consideraciones éticas), consistente en adultos que se sometieron a una tomografía de tórax sin contraste y a una medición de la elasticidad arterial entre marzo de 2018 a octubre de 2019.

La base de datos estuvo conformada por un total de 801 adultos desde los 18 años sometidos a tomografía de tórax, de los cuales se examinó a 791 para LCAVI, y 786 para RCAVI. Los autores de la base de datos original refirieron que está conformado por personas que carecen de anomalías arteriales significativas o enfermedades que pueden afectar gravemente la estructura de las arterias, siendo las siguientes: antecedentes de revascularización aórtica, reemplazo o implantación de stent; síndromes genéticos identificados o sospechados asociados con aneurismas y disecciones aórticas torácicas (síndrome de Marfan; síndrome de Turner); variación congénita en una rama completa o importante de la aorta en adultos (arteria subclavia derecha anormal, coartación aórtica); enfermedades inflamatorias asociadas con la enfermedad en aorta torácica; síndrome arterial agudo (incluida disección aórtica y hematoma intramural); aneurismas aórticos; insuficiencia grave del volumen sanguíneo y hemodinámica inestable; insuficiencia cardíaca grave con fracción de eyección baja; pacientes en hemodiálisis. Se utilizó el total de la población de la base de datos, por tanto, no hubo técnica de muestreo o aleatorización. Las características de la población se encuentran en la *tabla 1*.

Variables y mediciones

La variable dependiente fue el Indice Vascular Cardio Tobillo, con siglas CAVI (cardio ankle vascular index), derecho (right; RCAVI) e izquierdo (left; LCAVI), la cual es una prueba que mide el grado de rigidez arterial, fue una variable cualitativa dicotómica dividida en ≥ 9, que corresponde a los valores de rigidez arterial, y < 9 que corresponde a valores de ausencia de rigidez y prerigidez arterial. Según refieren los autores de la base de datos, el CAVI fue obtenido con un detector de arteriosclerosis VS-1000. Antes de realizar la medición, el paciente reposó 15 minutos, posteriormente se midió el CAVI en posición supina. El dispositivo también registró la presión arterial, electrocardiograma, fonocardiograma y ondas de pulso, calculando automáticamente el CAVI en los lados izquierdo y derecho.

Las variables independientes fueron 11 exámenes de laboratorio realizados como parte de la evaluación del paciente. Las variables continuas fueron la edad (en años), índice de masa corporal (IMC), creatinina (en mg/dL), alanina aminotrasnferasa (ALT, en U/mL), aspartato aminotransferasa (AST, en U/mL), presión arterial sistólica y diastólica (en mmHg), colesterol (en mg/dL), triglicéridos (en mg/dL), calcio (en mg/dL) y fosforo (en mg/dL). Estos resultados fueron obtenidos a partir de la historia clínica.

Análisis estadístico

Se utilizaron tablas para la estadística descriptiva, obteniendo frecuencias absolutas, relativas y desviación estándar. Se utilizó redes neuronales tipo perceptrón multicapa.

TABLA 1.
Características de la población de la base de datos

Variable	Valor	n	Porcentaje	
LCAVI	≥ 9	204	25,50	
	<9	587	73,30	
RCAVI	≥ 9	209	26,10	
	<9	577	72	
Grupo etario	18-48	196	24,50	
	49-54	177	22,10	
	55-66	216	27	
	>66	212	26,50	
Fumador	No	536	66,90	
	Si	265	33,10	
Bebe alcohol actualmente	No	574	71,70	
	Si	227	28,30	
HTA	Si	513	64	
	No	288	36	
DM2	Si	177	22,10	
	No	624	77,90	
Coronariopatía	No	646	80,60	
	Si	155	19,40	
Enfermedad pulmonar crónica*	No	772	96,40	
	Si	29	3,60	
	Mínimo	Máximo	Media	DS
IMC (kg/m2)	15,30	40,20	24,55	3,30
PAS (mmHg)	91	2230	148,48	20,45
PAD (mmHg)	52	118	79,30	10,27
LCAVI	3,19	14,86	8,150	1,41
RCAVI	3,24	16,95	8,22	1,46
ALT (U/mL)	10	599	27,60	30,5
AST (U/mL)	11	444	24,57	21,01

LCAVI: índice vascular cardio-tobillo izquierdo; **RCAVI:** índice vascular cardio-tobillo derecho; **HTA:** hipertensión arterial (presión sistólica ≥140 mmHg); **DM2:** diabetes mellitus tipo 2; Enfermedad pulmonar crónica incluyó asma, fibrosis quística, bronquitis crónica, enfisema bulloso, atelectasia, enfermedad pulmonar obstructiva crónica; **PAS:** presión arterial sistólica; **PAD:** presión arterial diastólica; **ALT:** alanina aminotransferasa; **AST:** aspartato aminotransferasa; **DS:** desviación estándar

El perceptrón multicapa es una red neuronal artificial conformada por varias capas de unidades o neuronas interconectadas, análogas a las neuronas biológicas. Cada neurona de las capas ocultas y de salida posee una función de activación no lineal, permitiéndole al perceptrón modelar relaciones complejas[8]. Puede ejecutar tareas de clasificación, predicción, regresión y, mediante retropropagación, aprende a partir de datos etiquetados, ajustando los pesos de las conexiones durante el entrenamiento[9]. La red neuronal fue empleada para predecir la presencia o ausencia de rigidez arterial (CAVI ≥ 9), por medio de las evaluaciones consignadas en la historia clínica (edad, IMC, creatinina, ALT, AST, PAS, PAD, colesterol, triglicéridos, calcio y fósforo, lo cual fue realizado a nivel derecho (RCAVI) e izquierdo (LCAVI). La ruta para desarrollar la red neuronal fue, en el programa SPSS statistics 25, la siguiente: analizar→redes neuronales→perceptrón multicapa, donde se colocó la variable dependiente (CAVI) y las covariables correspondientes a las variables independiente. Los hiperparámetros fueron seleccionados automáticamente por el programa.

Los resultados del perceptrón incluyeron el área bajo la curva (AUC), el cual evalúa la eficiencia predictiva del modelo de red neuronal, y que considera los valores entre 0,6 a 0,7 como un modelo pobre, 0,7 a 0,8 como un modelo aceptable, 0,8 a 0,9 como un buen modelo, y mayor a 0,9 como un modelo sobresaliente[10]. También se incluyó una tabla de clasificación de pronósticos correctos, en la cual se puedo determinar el porcentaje de casos correctamente predichos para valores de CAVI ≥ 9 y < 9. También, se realizaron pruebas diagnósticas de sensibilidad, especificad, valor predictivo positivo y negativo entre el total de valores de CAVI predichos por el perceptrón multicapa y los valores de CAVI obtenidos a partir del detector de arteriosclerosis.

El procesamiento y análisis de datos, incluido el modelado de la red neuronal, se realizó con el programa SPSS statistics 25™.

Consideraciones éticas

La base de datos provino del repositorio de datos abierto de *Harvard Dataverse*, de acceso abierto con licencia *Creative Commons Zero* (CC0), por lo que no se requirió de autorizaciones de uso o comités de ética debido a que la investigación se desarrolló en base a una fuente secundaria, así como el carácter reservado de la información personal de la unidad de análisis (los encuestados). Se respetó lo establecido en las normas de Helsinki.

La base de datos está disponible en el siguiente enlace: *https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/C0YY9I*

Las especificaciones de la base de datos se encuentran en el siguiente enlace: *https://doi.org/10.3389%2Ffcvm.2021.737161*

RESULTADOS

Para la predicción de LCAVI, el entrenamiento fue realizada con 564 pacientes, la prueba fue con 224. Para RCAVI el entrenamiento fue con 547 y la prueba con 236. Para LCAVI, el porcentaje de pronósticos incorrectos fueron de 15,80% y 13,80% en el entrenamiento y prueba, respectivamente. Para RCAVI, el porcentaje de pronósticos incorrectos fue de 15,90% en el entrenamiento y de 13,60% en la prueba *(Tabla 2)*.

La red neuronal para predicción de presencia o ausencia de rigidez arterial izquierdo (LCAVI), estuvo conformada por 3 capas, siendo una capa de entrada con 11 unidades, una capa oculta con 9 unidades, y una capa de salida con 2 unidades, con función de activación capa oculta tipo tangente hiperbólica y función de activación de capa de salida

TABLA 2.
Resumen del modelo de red neuronal tipo perceptrón multicapa para predicción de presencia o ausencia de rigidez arterial según LCAVI y RCAVI

		LCAVI	RCAVI
Entrenamiento	Entrenamiento	564 (71,60%)	547 (69,90%)
	Prueba	224 (28,40%)	236 (30,10%)
	Porcentaje de pronósticos incorrectos	15.80%	15.90%
	Regla de parada utilizada	1 paso consecutivo sin disminución del error	1 paso consecutivo sin disminución del error
	Tiempo de entrenamiento	00:00.1	00:00.1
Pruebas	Porcentaje de pronósticos incorrectos	13.80%	13.60%
	Área bajo la curva	0,878	0,869

tipo identidad. El área bajo la curva fue 0,878, lo que indica que una buena capacidad predictiva del modelo *(Figura 1)*.

La red neuronal para predicción de presencia o ausencia de rigidez arterial derecho (RCAVI), estuvo conformada por 3 capas, siendo una capa de entrada con 11 unidades, una capa oculta con 7 unidades, y una capa de salida con 2 unidades, con función de activación capa oculta tipo tangente hiperbólica y función de activación de capa de salida tipo identidad. El área bajo la curva fue 0,869, lo que indica que una buena capacidad predictiva del modelo *(Figura 2)*.

El porcentaje de pronósticos correctos para CAVI < 9 fue elevado en el entrenamiento y prueba de la red neuronal. La prueba tuvo un porcentaje de pronósticos correctos para CAVI ≥ 9 de 70,70% y 67,10% para LCAVI y RCAVI, respectivamente. Para CAVI < 9 fue de 91,60% para LCAVI y 94,60% para RCAVI *(Tabla 3)*.

La concordancia entre la presencia y ausencia de rigidez arterial de la prueba CAVI del detector de arteriosclerosis, y la CAVI obtenida mediante perceptrón multicapa fue moderada para LCAVI (K=0,579) y RCAVI (K=0,587). Hubo altos valores de especificad, siendo de 92% y 93% para LCACVI y RCAVI, respectivamente, y alto valor predictivo negativo, siendo 88% para LCAVI y 89% para RCAVI (*Tabla 4)*.

DISCUSIÓN

Las variables introducidas en el perceptrón multicapa para predecir la rigidez arterial mediante el índice CAVI, además de la elevada concordancia en la prueba Kappa de Cohen, tuvieron un alto porcentaje de pronósticos correctos para detectar casos donde el índice CAVI fue menor a 9, así como altos niveles de especificidad y valor predictivo negativo, lo que indica que esta red neuronal fue muy confiable para descartar la presencia de rigidez arterial. Además, el área bajo la curva fue de 0,878 y 0,869 para LCAVI y RCAVI, respectivamente, lo que indica un buen rendimiento del modelo de clasificación. Estos resultados permiten inferir que es factible crear modelos analíticos basados en datos clínicos históricos que mejoran el rendimiento del perceptrón multicapa mediante el entrenamiento de la red neuronal para la estimación cualitativa de la rigidez arterial,

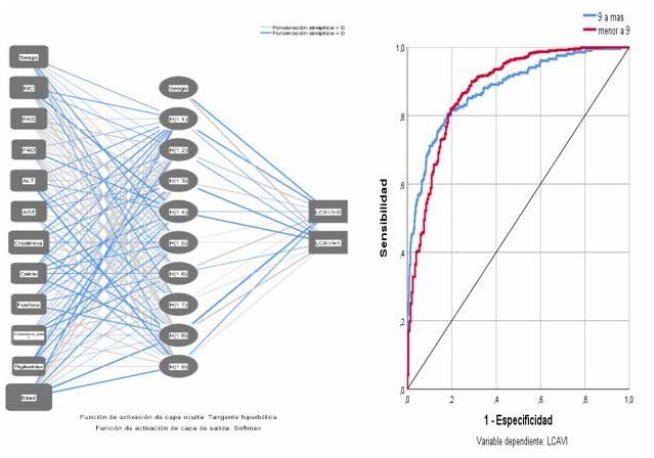


FIGURA 1
Estructura de red neuronal tipo perceptrón multicapa y área bajo la curva para exámenes de atención primaria predictores de presencia o ausencia de rigidez arterial de lado izquierdo

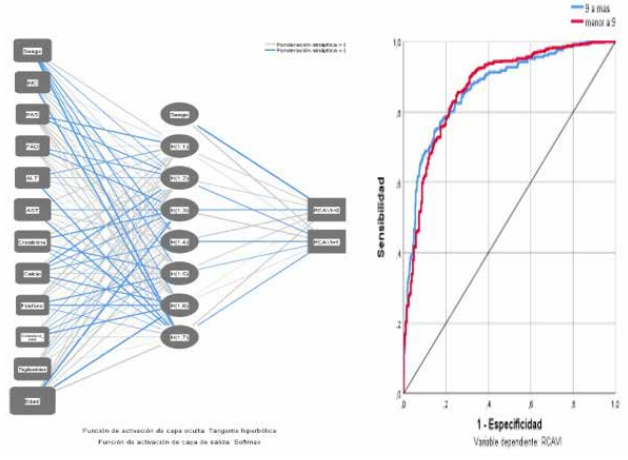


FIGURA 2
Estructura de red neuronal tipo perceptrón multicapa y área bajo la curva para exámenes de atención primaria predictores de presencia o ausencia de rigidez arterial de lado derecho

TABLA 3.
Tabla de clasificación de pronósticos correctos para presencia o ausencia de rigidez arterial (CAVI) a través de exámenes de atención primaria mediante perceptrón multicapa

		LCAVI			RCAVI		
		Pronosticado			Pronosticado		
Muestra		≥9	<9	Porcentaje correcto	≥9	<9	Porcentaje correcto
Entrenamiento	≥9	85	58	59.40%	83	53	61.00%
	<9	31	390	92.60%	34	377	91.70%
	Porcentaje global	20.60%	79.40%	84.20%	21.40%	78.60%	84.10%
Pruebas	≥9	41	17	70.70%	47	23	67.10%
	<9	14	152	91.60%	9	157	94.60%
	Porcentaje global	24.60%	75.40%	86.20%	23.70%	76.30%	86.40%

TABLA 4.
Sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo, negativo y concordancia entre presencia o ausencia de rigidez arterial según CAVI obtenido a través de exámenes de atención primaria mediante perceptrón multicapa

	LCAVI		RCAVI	
	Valor	**IC95%**	**Valor**	**IC95%**
S	0,63	0,56-0,69	0,64	0,57-0,70
E	0,92	0,90-0,94	0,93	0,90-0,95
VP+	0,74	0,67-0,80	0,75	0,69-0,82
VP-	0,88	0,85-0,90	0,89	0,85-0,90
K	0,579		0,587	

S: sensibilidad; **E**: especificidad; **VP+:** valor predictivo positivo; **VP-:** valor predictivo negativo; **K:** coeficiente Kappa de Cohen

con capacidades similares a la prueba con detector de arteriosclerosis en lo que respecta a la capacidad para descartar rigidez arterial.

Estudios recientes han explorado la posibilidad de estimar la rigidez arterial. Park y Shin, desarrollaron una red neuronal artificial para predecir el envejecimiento vascular, utilizando como variables predictoras datos de descomposición de la forma de onda del fotopletismograma[11]. Li et al, desarrollaron una red neuronal para determinar ondas de pulso basado en antecedentes de enfermedad cardiovascular y parámetros fisiológicos[12]. Hsiu et al, emplearon el perceptrón multicapa para predecir el envejecimiento arterial empleando señales de pulso radial[13]. Si bien los estudios previos han empleado redes neurales de información, este es probablemente el primer estudio que evalúa el cruzamiento de datos de historia clínica para evaluar la presencia o ausencia de rigidez arterial. Los resultados obtenidos en base a las variables predictoras se basan en la relación que tienen con la rigidez arterial desde una perspectiva fisiopatológica.

La edad influye en la rigidez arterial debido al endurecimiento de las paredes arteriales, que pierden elasticidad. Las pulsaciones constantes, con el paso del tiempo, causan fatiga y fractura de las fibras de elastina, aumenta la calcificación vascular y disfunción endotelial[14]. El IMC se ha relacionado con la rigidez arterial debido a que el aumento de tejido adiposo causa disfunción de células adiposas vasculares, endoteliales, inmunes, con interacciones neurohormonales que incluyen insulina, sistema renina-angiotensina-aldosterona, sistema simpático, entre otros[15]. La creatinina, proveniente del catabolismo muscular, cuyas elevaciones séricas se relacionan a una función renal inadecuada y, en consecuencia hipertensión, se ha asociado en un estudio a un mayor riesgo de enfermedad cerebrovascular tras 10 años de seguimiento[16].

Las aminotransferasas, que son marcadores inflamatorios, se han asociado a rigidez arterial en estudios observacionales, incluyendo adultos jóvenes[17,18]. Los lípidos, como el colesterol y triglicéridos, están fuertemente asociados a la rigidez arterial, ya que son componentes de depósito en la capa intima de la pared arterial[19]. El calcio sérico se ha relacionado directamente con la rigidez arterial como parte del proceso de aterosclerosis, observándose que incrementa el riesgo de enfermedad cardiovascular a 10 años calculado por la puntuación de riesgo de Framingham[20]. El fosforo tuvo un bajo valor predictivo en la red neuronal, sin embargo un estudio lo ha relacionado con la rigidez arterial relacionada al índice tobillo-brazo, y con enfermedad cardiovascular en sujetos sanos, y se ha observado in vitro que induce la transformación fenotípica de células musculares lisas aorticas humanas a células similares a osteoblastos[21].

Los exámenes incluidos en la red neuronal son utilizados frecuentemente en consultas médicas de atención primaria y especializada, por lo que, debido a su alta especificidad y valor predictivo negativo, así como por sus altos porcentajes de pronósticos correctos en valores de CAVI menor a 9 en la tabla de clasificación, podría ser un medio para determinar la ausencia de rigidez arterial en pacientes que acuden a consultas médicas, así como en campañas de salud, por lo que el uso del perceptrón multicapa podría ser

una herramienta para la generalización de la determinación de la presencia o ausencia de rigidez arterial basado en el CAVI obtenido mediante redes neuronales.

Las limitaciones de esta investigación fueron el origen de la fuente de información, que provino de una base de datos secundaria, con la posibilidad de la existencia de sesgos de información y clasificación. Según la tabla de clasificación, esta red neuronal tuvo un bajo porcentaje de pronósticos correctos para detectar CAVI ≥ 9, así como una baja sensibilidad y valores predictivos positivos de 75%, por lo que es preferible como un instrumento para excluir la presencia de rigidez arterial, así como para tamizajes iniciales, reduciendo la necesidad de pruebas adicionales en casos innecesarios. Asimismo, esta red neuronal careció de variables que podrían haber ayudado a que posea mayor capacidad de predicción, como la glucosa, LDL, HDL, VLDL, circunferencia de cintura, entre otros, por lo que se sugiere que futuras investigaciones incluyan posibles predictores que no pudieron obtenerse en esta investigación debido a que no estaban disponibles en la base de datos secundaria.

En conclusión, la red neuronal tipo perceptrón multicapa, basada en exámenes de atención primaria, tuvo un alto valor predictivo de LCAVI y RCAVI para excluir la presencia de rigidez arterial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Renna N, Forte E, Giménez S, et al. La inflamación como foco terapéutico en el continuo cardiovascular. Rev Fed Arg Cardiol **2024**; 53: 5 - 12.
2. Lacolley P, Regnault V, Laurent S. Mechanisms of arterial stiffening: From mechanotransduction to epigenetics. Arterioscler Thromb Vasc Biol **2020**; 40: 1055 – 1062.
3. O'Rourke MF, Hashimoto J. Mechanical factors in arterial aging: a clinical perspective. J Am Coll Cardiol **2007**; 50: 1 – 13.
4. Di Cesare M, Perel P, Taylor S, et al. The heart of the world. Glob Heart **2024**;19: 11.
5. Bäck M, Topouchian J, Labat C, et al. Cardio-ankle vascular index for predicting cardiovascular morbimortality and determinants for its progression in the prospective advanced approach to arterial stiffness (TRIPLE-A-Stiffness) study. EBioMedicine **2024**; 103: 105107.
6. Namba T, Masaki N, Takase B, et al. Arterial stiffness assessed by cardio-ankle vascular index. Int J Mol Sci **2019**; 20: 3664.
7. Hu H, Cui H, Han W, et al. A cutoff point for arterial stiffness using the cardio-ankle vascular index based on carotid arteriosclerosis. Hypertens Res **2013**; 36: 334 – 341.
8. Dutta S. Multi-Layer Perceptron and backpropagation: A deep dive [Internet]. **2024**. Disponible en https://medium.com/@sanjay_dutta/multi-layer-perceptron-and-backpropagation-a-deep-dive-8438cc8bcae6
9. Kan **2017** Lecturer: Andrey. COMP90051 Statistical Machine Learning. Backpropagation. Disponible en https://trevorcohn.github.io/comp90051-2017/slides/07_backpropagation.pdf
10. Nahm FS. Receiver operating characteristic curve: overview and practical use for clinicians. Korean J Anesthesiol **2022**; 75: 25 – 36.
11. Park J, Shin H. Vascular aging estimation based on artificial neural network using photoplethysmogram waveform decomposition: Retrospective cohort study. JMIR Med Inform **2022**; 10: e33439.
12. Li G, Watanabe K, Anzai H, et al. Pulse-wave-pattern classification with a convolutional neural network. Sci Rep **2019**; 9: 14930.
13. Hsiu H, Liu J-C, Yang CJ, et al. Discrimination of vascular aging using the arterial pulse spectrum and machine-learning analysis. Microvasc Res **2022**; 139: 104240.
14. Lee HY, Oh BH. Aging and arterial stiffness. Circ J **2010**; 74: 2257 – 2262.
15. Aroor AR, Jia G, Sowers JR. Cellular mechanisms underlying obesity-induced arterial stiffness. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol **2018**; 314: R387 – R398.
16. Chen X, Jin H, Wang D, et al. Serum creatinine levels, traditional cardiovascular risk factors and 10-year cardiovascular risk in Chinese patients with hypertension. Front Endocrinol (Lausanne) **2023**; 14: 1140093.
17. Liu Y, Zhao P, Cheng M, et al. AST to ALT ratio and arterial stiffness in non-fatty liver Japanese population: a secondary analysis based on a cross-sectional study. Lipids Health Dis **2018**; 17; 275,
18. Borisov E, Alexandrova A, Sorokina A, et al. The relationship of serum alanine aminotransferase to arterial stiffness in young healthy adults. J Hypertens **2019**; 37: e167.
19. Baba M, Maris M, Jianu D, et al. The impact of the blood lipids levels on arterial stiffness. J Cardiovasc Dev Dis **2023**; 10: 127.
20. Park B, Lee -J. Borderline high serum calcium levels are associated with arterial stiffness and 10-year cardiovascular disease risk determined by Framingham risk score. J Clin Hypertens (Greenwich) **2019**; 21: 668 – 673.
21. Ix JH, De Boer IH, Peralta CA, et al. Serum phosphorus concentrations and arterial stiffness among individuals with normal kidney function to moderate kidney disease in MESA. Clin J Am Soc Nephrol **2009**; 4: 609 – 615.