








Incidencia y transiciones de presión arterial en trabajadores: análisis longitudinal

Blood pressure incidence and transitions in workers: longitudinal analysis

Víctor J. Vera-Ponce^{1,2*}, Fiorella E. Zuzunaga-Montoya³, Lupita A.M. Valladolid-Sandoval^{1,2},
Juan C. Bustamante-Rodríguez^{1,2}, Luisa E.M. Vásquez-Romero¹, Joan A. Loayza-Castro¹,
Carmen I. Gutierrez-De Carrillo^{1,2} y David Conrado Montoya-Goicochea^{2,4}

¹Instituto de Investigación de Enfermedades Tropicales, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Amazonas; ²Facultad de Medicina, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Amazonas; ³Escuela de Posgrado, Universidad Continental, Lima; ⁴Servicio de Cardiología, Hospital Regional Virgen de Fátima, Chachapoyas. Perú

Resumen

Objetivo: Los estados intermedios de presión arterial, como la presión arterial normal-alta y la prehipertensión, representan un espectro continuo de riesgo cardiovascular. Su evolución natural en población trabajadora no ha sido completamente caracterizada. El objetivo de este estudio fue describir las transiciones entre los diferentes estados de presión arterial (normopresión, prehipertensión e hipertensión) y analizar sus trayectorias durante un seguimiento de 7 años en una cohorte ocupacional. **Método:** Estudio longitudinal retrospectivo que incluyó 12,027 trabajadores evaluados entre 2013 y 2021. Se clasificó como normotensión < 120/80 mmHg y como hipertensión \geq 140/90 mmHg. Los estados intermedios se analizaron utilizando dos clasificaciones: prehipertensión con 120-139/80-89 mmHg y presión arterial normal-alta con 130-139/85-89 mmHg. Se calcularon las tasas de incidencia y se analizaron las trayectorias evolutivas. **Resultados:** La incidencia de prehipertensión fue de 25.80 por 1,000 personas-año (IC 95%: 25.05-26.55), mayor que la de presión arterial normal-alta (9.64; IC 95%: 9.25-10.03) y la de hipertensión (9.86; IC 95%: 9.54-10.19). En el análisis de transiciones, de los trabajadores que iniciaron con normopresión el 60.1% progresó a prehipertensión y el 26.7% desarrolló hipertensión. De aquellos con prehipertensión inicial, el 49.7% mantuvo su estado y el 43.8% progresó a hipertensión. En la clasificación alternativa, el 21.2% progresó de normopresión a presión arterial normal-alta, y de estos últimos el 55.9% desarrolló hipertensión. **Conclusiones:** Los estados intermedios de presión arterial muestran patrones distintivos de progresión, con significativas tasas de transición hacia hipertensión. Estos hallazgos subrayan la importancia de fortalecer la vigilancia ocupacional y desarrollar intervenciones preventivas tempranas en trabajadores con estados intermedios de presión arterial.

Palabras clave: Presión arterial. Prehipertensión. Hipertensión. Salud laboral. Estudios de cohortes. Vigilancia de la población.

*Correspondencia:

Víctor J. Vera-Ponce
E-mail: vicvepo@gmail.com

Fecha de recepción: 24-02-2025
Fecha de aceptación: 07-05-2025
DOI: 10.24875/ACM.2500039

Disponible en internet: 03-11-2025
Arch Cardiol Mex. 2025;95(4):271-279
www.archivoscardiologia.com

1405-9940 / © 2025 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Publicado por Permanyer. Este es un artículo *open access* bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Abstract

Objective: Intermediate blood pressure states, such as high-normal blood pressure and prehypertension, represent a continuous spectrum of cardiovascular risk. Their natural history in the working population has not been fully characterized. The objective of this study was to describe the transitions between different blood pressure states (normopressure, prehypertension, and hypertension) and to analyze their trajectories during a 7-year follow-up in an occupational cohort. **Method:** Retrospective longitudinal study including 12,027 workers evaluated between 2013 and 2021. They were classified as normotension < 120/80 mmHg and hypertension \geq 140/90 mmHg. Intermediate states were analyzed using two categories: prehypertension with 120-139/80-89 mmHg and high-normal blood pressure with 130-139/85-89 mmHg. Incidence rates were calculated and evolutionary trajectories were analyzed. **Results:** The incidence of prehypertension was 25.80 per 1,000 person-years (95% CI: 25.05-26.55), higher than high-normal blood pressure (9.64; 95% CI: 9.25-10.03) and hypertension (9.86; 95% CI: 9.54-10.19). In the transition analysis, of the workers who started with normopressure, 60.1% progressed to prehypertension and 26.7% developed hypertension. Of those with initial prehypertension, 49.7% remained in their state and 43.8% progressed to hypertension. In the alternative classification, 21.2% progressed from normopressure to high-normal blood pressure, and of the latter, 55.9% developed hypertension. **Conclusions:** Intermediate blood pressure states show distinctive patterns of progression, with significant transition rates toward hypertension. These findings underscore the importance of strengthening occupational surveillance and developing early preventive interventions in workers with intermediate blood pressure states.

Keywords: Blood pressure. Prehypertension. Hypertension. Occupational health. Cohort studies. Population surveillance.

Introducción

La hipertensión arterial (HTA) representa uno de los principales factores de riesgo cardiovascular modificables. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), afecta a más de 1.13 billones de personas en el mundo, y la cifra continúa en aumento¹. En América Latina, la prevalencia de HTA oscila entre el 20 y el 40% de la población adulta, con importantes variaciones según el contexto socioeconómico y el acceso a servicios de salud².

La comprensión de la evolución natural de la presión arterial (PA), en particular de las transiciones desde la normopresión hasta la HTA establecida, ha cobrado especial relevancia en las últimas décadas. Los estudios longitudinales han demostrado que los individuos con prehipertensión o con presión arterial normal-alta (PANA) tienen un riesgo significativamente mayor de desarrollar HTA, con tasas de progresión que varían entre un 8 y un 20% anual^{3,4}. Asimismo, el *Framingham Heart Study* encontró que aproximadamente el 90% de los adultos normotensos de 55-65 años desarrollarán HTA durante su vida⁵.

En el ámbito ocupacional, la vigilancia de las transiciones de PA adquiere especial relevancia debido a la exposición constante a factores de riesgo específicos del entorno laboral. Se ha encontrado que existen factores ocupacionales que pueden aumentar el riesgo de HTA, como el estrés laboral, el trabajo por turnos, la exposición ocupacional al plomo y el ruido^{6,7}. Estos hallazgos subrayan la importancia de caracterizar los factores de riesgo modificables en el entorno laboral

como una estrategia de prevención primaria para la HTA en la población trabajadora, impulsando el desarrollo de intervenciones específicas para mitigar su impacto.

La identificación temprana de individuos en estados intermedios, como la prehipertensión y la PANA, representa una oportunidad crucial para la prevención. Diversos estudios han encontrado que los estadios previos a la HTA se asocian con un aumento en el riesgo de eventos cardiovasculares, independientemente de otros factores de riesgo tradicionales^{8,9}. Sin embargo, la evidencia sobre la dinámica de las transiciones entre los estados de PA en poblaciones laboralmente activas es limitada, en particular en los países de ingresos medios.

A pesar de su importancia, existe una notable escasez de estudios longitudinales que exploren las tasas y los patrones de transición entre diferentes estados de PA en población trabajadora, en particular en Latinoamérica. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar la transición de los diferentes estados de presión arterial (normopresión, prehipertensión e hipertensión) y analizar sus trayectorias durante un seguimiento de 7 años en una cohorte ocupacional.

Método

Tipo y diseño de investigación

Se desarrolló un estudio longitudinal retrospectivo utilizando datos secundarios provenientes de

evaluaciones médico-ocupacionales realizadas entre 2013 y 2021 en una clínica ocupacional. El reporte de la investigación sigue las pautas establecidas por STROBE (*Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology*) para garantizar la calidad y la transparencia en la comunicación de estudios observacionales¹⁰.

Población, muestra y criterios de elegibilidad

La cohorte estuvo constituida por trabajadores que acudieron a evaluaciones médico-ocupacionales periódicas en la clínica ocupacional de referencia. Como criterios de inclusión se estableció que los participantes debían contar con al menos dos evaluaciones separadas por un periodo mínimo de 1 año, y disponer de registros completos de PA y de variables asociadas tanto en la evaluación inicial como en el seguimiento.

Para el análisis de las diferentes transiciones de PA se establecieron criterios específicos según el tipo de cambio a evaluar. En la evaluación de la incidencia de HTA desde normopresión, se incluyeron solo participantes que al inicio presentaban PA normal, y se excluyeron aquellos con diagnóstico previo de HTA o prehipertensión. Para la incidencia de prehipertensión desde normopresión, se incluyeron participantes con PA normal al inicio y se excluyeron aquellos con diagnóstico previo de prehipertensión o HTA. En el caso de la incidencia de HTA desde prehipertensión, se incluyeron solo los participantes que al inicio del estudio tenían diagnóstico de prehipertensión, y se excluyeron aquellos con diagnóstico previo de HTA. Para la evaluación de la reversión a normopresión desde prehipertensión, se incluyeron participantes con diagnóstico de prehipertensión al inicio, y se excluyeron aquellos con normotensión o diagnóstico de HTA.

Las evaluaciones de los trabajadores siguieron un esquema periódico determinado por las políticas empresariales y las normativas laborales vigentes, pudiendo ser anuales, bienales o a otros intervalos establecidos. Este seguimiento sistemático permitió documentar los cambios en la PA de cada participante hasta su última evaluación registrada en la base de datos.

Para el análisis de cada tipo específico de transición, cuando un trabajador experimentaba el cambio de interés, se consideraba como un evento y se censuraba su seguimiento para ese análisis particular. No obstante, estos trabajadores podían ser incluidos en el análisis de otras transiciones si cumplían con los criterios de elegibilidad correspondientes.

Es importante señalar que, en el contexto de la vigilancia ocupacional de esta población, los trabajadores diagnosticados con estados intermedios de PA (prehipertensión o PANA) no son derivados a evaluación médica adicional como parte del protocolo estándar, a diferencia de aquellos diagnosticados con HTA. Esto implica que las transiciones observadas en el estudio reflejan la evolución natural de la PA sin intervenciones médicas específicas para los estados intermedios, aunque los diagnosticados con HTA sí reciben atención médica adicional según el protocolo establecido.

Variables y medición

Las variables principales del estudio fueron los estados de PA y sus transiciones a lo largo del tiempo. La PA se clasificó en tres categorías: normopresión (PA sistólica [PAS] < 120 mmHg y PA diastólica [PAD] < 80 mmHg), prehipertensión o PA elevada según la última guía (PAS 120-139 mmHg o PAD 80-89 mmHg)^{11,12}, PANA (PAS 130-139 mmHg o PAD 85-89 mmHg)¹² y HTA (PAS ≥ 140 mmHg o PAD ≥ 90 mmHg)¹². Los puntos de corte se establecieron según las guías internacionales vigentes y la evidencia científica disponible.

Considerando que cada trabajador tuvo un periodo de seguimiento diferente, la variable tiempo de seguimiento se cuantificó en años, tomando como línea base (año 0) la primera evaluación de cada participante.

Los eventos de interés analizados fueron la incidencia de prehipertensión desde normopresión, la incidencia de HTA desde normopresión, la incidencia de HTA desde prehipertensión y la reversión a normopresión desde prehipertensión. No se consideraron las reversiones desde HTA establecida, dado que representa una condición crónica que requiere manejo continuo.

Las covariables consideradas incluyeron factores ocupacionales, características demográficas, antecedentes personales y hábitos. Los factores ocupacionales comprendieron el tipo de ocupación (categorizado como oficina, manual o física, servicio al cliente o ventas, profesional de la salud o servicios sociales), el tiempo sentado durante la jornada laboral (categorizado como < 4 horas o ≥ 4 horas, evaluado mediante la pregunta “¿Durante su jornada laboral, permanece sentado más de 4 horas?”) y el turno de trabajo (categorizado como diurno o nocturno, determinado por el horario principal en que el trabajador desempeña sus funciones).

Las variables demográficas consideradas fueron el sexo (femenino o masculino) y la edad (en años). Los antecedentes y los hábitos se evaluaron mediante

preguntas estandarizadas, incluyendo consumo actual de tabaco (“¿Fuma actualmente?”, categorizado como sí/no), consumo de alcohol (“¿Ha consumido bebidas alcohólicas en los últimos 30 días?”, categorizado como sí/no) y antecedentes familiares de HTA (definidos como la presencia de HTA diagnosticada en familiares de primer grado —padres, madres o hermanos—, evaluados mediante la pregunta “¿Tiene algún familiar directo [padre/madre/hermanos] con la presión arterial elevada o con hipertensión?”, categorizado como sí/no).

Las mediciones clínicas consistieron en el índice de masa corporal (IMC), calculado como peso en kg/altura en m² y categorizado según los criterios de la OMS como normopeso, sobrepeso y obesidad, la circunferencia abdominal (medida en cm), la glucosa en ayunas (mg/dl), el perfil lipídico (colesterol total y triglicéridos en mg/dl), el uso de medicación antihipertensiva (autodeclarado como sí/no) y los antecedentes personales de HTA diagnosticada previamente (autodeclarado como sí/no).

Procedimientos

Las evaluaciones de los trabajadores en la clínica ocupacional se realizaron en tres momentos: al inicio de la relación laboral, durante los exámenes periódicos programados y al término del vínculo laboral. En cada evaluación, los trabajadores completaron un cuestionario estandarizado que incluía información sociodemográfica, ocupacional, antecedentes de salud y uso de medicación antihipertensiva.

La medición de la PA fue realizada por personal de enfermería capacitado, siguiendo protocolos estandarizados según las guías internacionales. Se utilizó un esfigmomanómetro automático validado y calibrado (OMRON HEM-7320-LA, Omron Healthcare, Japón), con manguitos de tamaño apropiado según la circunferencia del brazo del participante (pequeño 17-22 cm, estándar 22-32 cm o grande 32-42 cm). Las mediciones se realizaron después de que el trabajador permaneciera sentado en reposo durante al menos 5 minutos, con la espalda apoyada, los pies en el suelo y el brazo apoyado a la altura del corazón. Se tomaron dos mediciones separadas por 1-2 minutos, y si la diferencia era > 5 mmHg se realizaba una tercera medición. El valor final se obtuvo promediando las lecturas válidas.

Los parámetros bioquímicos se obtuvieron de muestras de sangre venosa extraídas tras un ayuno de 8-12 horas. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de la clínica utilizando un analizador bioquímico automático Chemray 240. La glucosa en ayunas se

determinó mediante el método de glucosa oxidasa (rango de referencia: 70-100 mg/dl), y el perfil lipídico incluyó la determinación de colesterol total mediante el método enzimático CHOD-PAP (rango de referencia: < 200 mg/dl) y de triglicéridos mediante el método enzimático GPO-PAP (rango de referencia: < 150 mg/dl). Todas las determinaciones siguieron protocolos estandarizados según las especificaciones del fabricante, con controles de calidad internos diarios y participación en programas de evaluación externa de calidad trimestrales para garantizar la precisión y la exactitud de los resultados.

La evaluación médica incluyó una entrevista estructurada realizada por un médico ocupacional, quien recabó información sobre antecedentes personales y familiares de HTA, hábitos de vida (consumo de tabaco, alcohol, actividad física), adherencia a la medicación antihipertensiva en caso de estar prescrita, y características laborales específicas (tiempo sentado, turno de trabajo, nivel de actividad física laboral).

Toda la información fue registrada en un sistema electrónico estandarizado por el personal de la clínica como parte de su práctica habitual. La recopilación de datos se realizó de manera sistemática durante las evaluaciones sistemáticas, sin intervención específica para fines de investigación.

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados y analizados utilizando R Studio. Inicialmente, se llevó a cabo un análisis descriptivo de las características basales de la población de estudio. Para las variables categóricas se calcularon las frecuencias absolutas y relativas, mientras que para las variables continuas se obtuvieron las medias y las desviaciones estándar.

Además, se generaron matrices de transición para visualizar los cambios en los estados de PA, tanto para la población general como estratificadas por sexo. Estas matrices muestran las frecuencias absolutas y los porcentajes de transición entre las diferentes categorías. La visualización se hizo mediante gráficos de calor (*heatmaps*) utilizando el paquete *ggplot2*, y con diagramas de Sankey empleando el paquete *networkD3* para ilustrar los flujos de transición.

Para cada tipo de transición se calcularon las tasas de incidencia por 1,000 personas-año de seguimiento, proporcionando intervalos de confianza del 95% (IC 95%). Se elaboraron curvas de supervivencia de Kaplan-Meier estratificadas por sexo para cada tipo de transición utilizando el paquete *survival*.

La comparación entre grupos se llevó a cabo mediante la prueba de log-rank para evaluar diferencias significativas en los patrones de transición entre hombres y mujeres.

Se utilizaron los paquetes *dplyr*, *tidyr*, *ggplot2*, *survival*, *networkD3*, *survminer* y otros relevantes en R versión 4.1.0 o superior.

Aspectos éticos

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Además, se obtuvo la autorización institucional de la clínica ocupacional para el uso de su base de datos con fines de investigación.

Los datos fueron proporcionados en formato anonimizado, eliminando todos los identificadores personales de los trabajadores para garantizar su confidencialidad. Adicionalmente, esta investigación se desarrolló en conformidad con la Declaración de Helsinki y las normas de buenas prácticas en investigación. Al tratarse de un análisis secundario de datos recolectados como parte de evaluaciones ocupacionales rutinarias, no se requirió consentimiento informado adicional. Para asegurar la transparencia y la reproducibilidad de la investigación, la base de datos anonimizada es de acceso libre¹³.

Disponibilidad de datos

La base de datos anonimizada está disponible en: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.27098296.v1>.

Resultados

Selección de la población de estudio

Del total de 79,660 trabajadores evaluados durante el periodo 2013-2021, en el análisis final se incluyeron 12,027 (15.1%) que cumplieron con los criterios de elegibilidad. Las principales exclusiones correspondieron a 67,611 trabajadores que no contaban con al menos dos evaluaciones separadas por un periodo mínimo de 1 año, requisito fundamental para el análisis de transiciones. Además, se excluyeron a 22 trabajadores por presentar datos incompletos en las mediciones de PA; se optó por trabajar exclusivamente con registros completos para las variables principales, sin realizar imputación de datos faltantes.

Tabla 1. Incidencia global de los estados de presión arterial

Global	N.º de eventos	Personas-año	Incidencia (IC 95%)
Prehipertensión	4,543	176,098.6	25.80 (25.05-26.55)
Presión arterial normal-alta	2,334	242,068.1	9.64 (9.25-10.03)
Hipertensión	3,498	354,647.3	9.86 (9.54-10.19)

IC 95%: intervalo de confianza del 95%.

Características iniciales de los participantes

La cohorte incluyó 12,027 trabajadores, predominantemente hombres (84.87%), con una edad media de 37.19 ± 11.56 años, siendo la mayoría menores de 60 años (95.51%). El tipo de ocupación más frecuente fue el trabajo físico o manual (54.64%), seguido del trabajo de oficina (36.18%). En cuanto a las características laborales, solo el 6.60% realizaba trabajo nocturno y el 48.52% permanecía sentado más de 4 horas. Respecto a los hábitos, el 40.99% reportó consumo de tabaco y el 49.95% consumo de alcohol. Los parámetros clínicos mostraron un IMC medio de 27.15 ± 3.99 kg/m², con un 48.09% de sobrepeso y un 21.56% de obesidad, y la medición de la PA reveló que el 31.50% presentaba prehipertensión y el 5.62% tenía HTA al inicio del estudio. El resto de las características se encuentran en el material suplementario.

Incidencia global de los estados de PA

En la *tabla 1* se muestran las incidencias de los distintos estados de PA durante el seguimiento. La prehipertensión tuvo la incidencia más alta, con 25.80 casos por 1,000 personas-año (IC 95%: 25.05-26.55), registrando 4,543 eventos en 176,098.6 personas-año de seguimiento. En contraste, la PANA y la HTA presentaron incidencias similares entre sí y considerablemente más bajas que para la prehipertensión, con 9.64 casos por 1,000 personas-año (IC 95%: 9.25-10.03) y 9.86 casos por 1,000 personas-año (IC 95%: 9.54-10.19), respectivamente.

Incidencia según los cambios en la PA

Las matrices de transición que se pueden ver en la *figura 1* revelan dos clasificaciones importantes de la

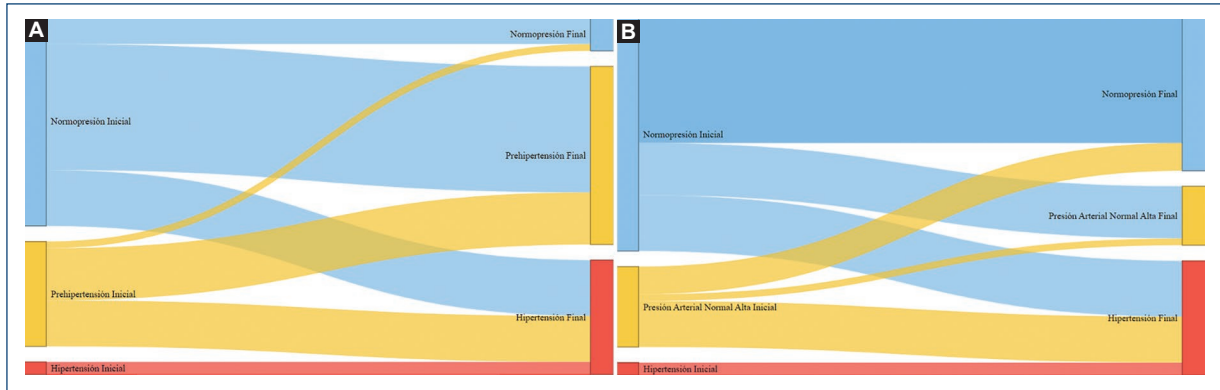


Figura 1. Diagramas de Sankey de las transiciones de los estados de presión arterial. **A:** normopresión –prehipertensión– hipertensión. **B:** normotensión –presión arterial normal-alta– hipertensión. Los diagramas muestran el flujo de transiciones entre los estados de presión arterial; el ancho de las bandas es proporcional al número de individuos que experimentan cada transición.

Tabla 2. Incidencia de cambios en el estado nutricional

Tipo de transición	N.º de eventos	Personas-año	Incidencia (IC 95%)
PANA			
Normopresión→HTA	2,015	64,524.57	31.32 (29.96-32.88)
Normopresión→PANA	4,543	144,302.67	31.48 (30.57-32.40)
PANA→HTA	1,657	53,342.50	31.06 (29.57-32.56)
Prehipertensión			
Normopresión→HTA	3,498	112,193.100	31.18 (30.15-32.21)
Normopresión→Prehipertensión	2,334	73,924.633	31.57 (30.29-32.85)
Prehipertensión→HTA	174	5673.967	30.67 (26.11-35.22)

HTA: hipertensión arterial; IC 95%: intervalo de confianza del 95%; PANA: presión arterial normal-alta.

PA: una utilizando el concepto de prehipertensión y otra utilizando la PANA. En el primer esquema, de los trabajadores que iniciaron con normopresión, el 60.1% progresó a prehipertensión, mientras que el 26.7% desarrolló HTA. De aquellos que comenzaron con prehipertensión, el 49.7% mantuvo su estado y el 43.8% progresó a HTA. En el segundo esquema, de los trabajadores que iniciaron con normopresión, el 47.1% mantuvo su estado, el 21.2% progresó a PANA y el 31.7% desarrolló HTA. Entre los que comenzaron con PANA, el 20.3% mantuvo su estado y el 55.9% progresó a HTA.

Por otro lado, las tasas de incidencia presentadas en la tabla 2 fueron notablemente consistentes entre las diferentes transiciones, situándose alrededor de 31 casos por cada 1,000 personas-año. En particular, la transición de normopresión a HTA mostró tasas similares en ambos esquemas de clasificación (31.32 y 31.18 por cada 1,000 personas-año, respectivamente). La progresión desde estados intermedios (PANA o

prehipertensión) a HTA también presentó tasas comparables (31.06 y 30.67 por cada 1,000 personas-año, respectivamente).

Discusión

Hallazgos principales

Los hallazgos principales de este estudio revelan una dinámica compleja en la evolución natural de la PA en trabajadores. Destaca la alta frecuencia de desarrollo de estados intermedios de PA, en particular de prehipertensión, como un fenómeno temprano y común. Sin embargo, lo más notable es que, una vez que se inicia cualquier alteración en la PA, la velocidad de progresión hacia estados más avanzados es notablemente similar, independientemente del punto de partida. Este patrón sugiere la existencia de un mecanismo subyacente común en la progresión de la enfermedad

hipertensiva. Además, el marcado incremento inicial de la PA durante el primer año, seguido de una fase de estabilización, podría indicar una ventana crítica de oportunidad para la intervención preventiva temprana en el entorno laboral. Estos patrones de evolución tienen implicaciones importantes tanto para la vigilancia de la salud ocupacional como para el diseño de estrategias de prevención.

Transición de los estados de PA

La definición y la clasificación de los estados intermedios de PA ha evolucionado de manera significativa en las últimas décadas. El concepto de prehipertensión, introducido por el JNC 7 en 2003, estableció un punto de corte de 120-139/80-89 mmHg como una alerta temprana para el desarrollo de HTA¹¹. Posteriormente, las guías europeas de 2018 redefinieron este rango intermedio, introduciendo el concepto de PANA (130-139/85-89 mmHg)¹⁴, mientras que las guías más recientes, como la europea de 2024¹², han mantenido el umbral clásico de HTA ($\geq 140/90$ mmHg), cambiando el concepto de prehipertensión por PA elevada. Nuestros hallazgos sugieren que, sea cual sea la clasificación utilizada, estos estados intermedios representan un periodo crítico en la progresión hacia la HTA, respaldando la importancia de su identificación temprana en entornos de vigilancia ocupacional.

El análisis de las trayectorias de PA cobra especial relevancia cuando consideramos la evidencia sobre el impacto de unos niveles subóptimos de PA en el riesgo cardiovascular. Lewington et al.¹⁵ documentaron que el riesgo cardiovascular comienza a incrementarse desde unos valores de PA sistólica tan bajos como 115 mmHg, demostrando además que por cada incremento de 20 mmHg en la PAS o de 10 mmHg en la PAD se duplica el riesgo de mortalidad por enfermedad cardiovascular. Sin embargo, es crucial notar que este análisis no exploró presiones por debajo de 115/75 mmHg, estableciendo así un límite inferior para la evidencia disponible sobre el beneficio de unos valores más bajos.

Una característica distintiva de la HTA, que la diferencia de otras condiciones crónicas como la obesidad, es la irreversibilidad del diagnóstico una vez establecido. Mientras que la normalización de las cifras tensionales mediante intervenciones farmacológicas representa un éxito terapéutico, el diagnóstico de HTA persiste, reflejando los cambios estructurales y funcionales subyacentes que se han establecido en el sistema cardiovascular¹⁶. Esta particularidad subraya la

importancia de la prevención y la intervención temprana en estados intermedios, como la prehipertensión y la PANA.

Estados como la prehipertensión se han asociado consistentemente con mayor riesgo cardiovascular, más allá del desarrollo de HTA. El estudio de Guo et al.¹⁷ demostró que los individuos con prehipertensión tenían mayor riesgo de eventos cardiovasculares en comparación con los normotensos. Justamente, al tener un rango más amplio, captura cambios fisiopatológicos tempranos en el sistema cardiovascular. En esta fase inicial se observa una disfunción endotelial caracterizada por una reducción en la biodisponibilidad de óxido nítrico y un aumento en la expresión de moléculas de adhesión vascular¹⁸. Además, los estudios experimentales han demostrado que estos cambios están acompañados por un incremento en la actividad simpática y alteraciones en la señalización beta-adrenérgica¹⁹, lo que explicaría la alta proporción (60.1%) de normotensos que progresan a este estado en nuestra población.

La proporción significativa (49.7%) que mantiene el estado de prehipertensión refleja un periodo de adaptación cardiovascular característico. En esta fase, el incremento del gasto cardiaco precede a las alteraciones en la resistencia vascular periférica²⁰. Este estado representa una ventana crítica durante la cual los mecanismos compensatorios, aunque activados, mantienen un equilibrio hemodinámico precario, pero sostenible, ofreciendo una oportunidad única para intervenciones preventivas.

La PANA, con criterios más estrictos (130-139/85-89 mmHg), fue definida por las guías europeas para identificar un subgrupo de mayor riesgo cardiovascular dentro del espectro de la PA elevada¹². En este caso, la menor proporción de progresión desde normotensión a PANA (21.2%) en nuestra población probablemente refleja que este estado captura un punto más avanzado en la evolución natural de la HTA, en el que varios mecanismos compensatorios iniciales ya han sido superados²¹. En esta fase se observa una desregulación significativa de la homeostasis vascular, caracterizada por una disfunción endotelial establecida. Los estudios moleculares han demostrado una reducción significativa en la biodisponibilidad del óxido nítrico endotelial, acompañada de un incremento en la producción de especies reactivas de oxígeno y una mayor expresión de factores proinflamatorios, como interleucina 6 y factor de necrosis tumoral alfa²². La activación del sistema nervioso simpático se vuelve más pronunciada, evidenciada por

unos niveles elevados de catecolaminas circulantes y una mayor actividad nerviosa simpática muscular²³, que a su vez potencia la activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona²⁴.

La activación sostenida de estos sistemas conduce a cambios estructurales vasculares significativos. Se han documentado hipertrofia del músculo liso vascular, aumento en la relación media-lumen de las arteriolas y un remodelamiento vascular caracterizado por una mayor deposición de colágeno y una reducción de elastina^{25,26}. La presencia de estos cambios anatómicos explicaría la baja proporción de individuos que mantienen el estado de PANA (20.3%) y la alta tasa de conversión a HTA (55.9%). El daño de órgano blanco resultante, incluyendo el incremento de la rigidez arterial y la hipertrofia vascular, crea un círculo vicioso que perpetúa la progresión hacia la HTA establecida²⁷.

Importancia del estudio para la salud pública

La relevancia de este estudio para la salud pública radica en su capacidad para caracterizar la evolución natural de la PA en una población trabajadora. Aunque su naturaleza descriptiva podría considerarse una limitación, la descripción detallada de las transiciones entre estados de PA proporciona información fundamental para comprender la progresión de la enfermedad en condiciones reales, fuera del contexto controlado de los ensayos clínicos.

A su vez, estos hallazgos sobre las tasas de transición tienen implicaciones directas para las estrategias de prevención primaria y secundaria en el entorno laboral. La identificación de patrones específicos de progresión, especialmente la alta tasa de conversión a HTA desde estados intermedios, sugiere la necesidad de intervenciones más agresivas y tempranas en estos grupos. Esta información es particularmente valiosa para los programas de salud ocupacional, que pueden utilizar estos datos para optimizar sus protocolos de vigilancia y establecer intervalos más apropiados para el monitoreo de la PA.

Además, estos resultados pueden utilizarse para desarrollar modelos predictivos más precisos que ayuden a identificar subgrupos de mayor riesgo dentro de la población trabajadora. La identificación temprana de individuos con mayor probabilidad de progresión a HTA permitiría una asignación más eficiente de recursos en salud ocupacional y la implementación de intervenciones preventivas más intensivas en estos grupos. Esta estratificación del riesgo basada en evidencia local

podría mejorar de manera significativa el costo-efectividad de los programas de vigilancia y prevención cardiovascular en el entorno laboral.

Fortalezas y limitaciones

Este estudio presenta fortalezas importantes. Primero, su naturaleza longitudinal, con un seguimiento de hasta 7 años, permite observar la evolución natural de la PA en una cohorte ocupacional numerosa. Segundo, el análisis de dos sistemas de clasificación de estados intermedios proporciona una perspectiva única sobre los patrones de progresión de la PA. Tercero, al haberse realizado en un contexto de vigilancia ocupacional rutinaria, nuestros hallazgos reflejan condiciones del mundo real, lo que aumenta su validez externa.

No obstante, también reconocemos algunas limitaciones. La pérdida diferencial en el seguimiento podría introducir un sesgo de selección, sobre todo en los años posteriores del estudio. La ausencia de información sobre el uso de medicación antihipertensiva y cambios en el estilo de vida durante el seguimiento limita nuestra capacidad para evaluar el impacto de estas intervenciones en las transiciones observadas. Además, al ser una población predominantemente masculina y laboralmente activa, la generalización de nuestros hallazgos a otros grupos poblacionales debe hacerse con cautela. Por último, aunque las mediciones de la PA siguieron unos protocolos estandarizados, la variabilidad inherente a las mediciones de consultorio podría influir en la clasificación de los estados de PA.

Conclusiones

Nuestro estudio demuestra que la evolución de la PA en trabajadores sigue patrones distintivos de progresión según el sistema de clasificación utilizado, con tasas de transición significativas hacia estados más avanzados. La alta proporción de progresión desde estados intermedios hacia HTA subraya la necesidad crítica de implementar estrategias de prevención más agresivas en el entorno laboral. Estos hallazgos tienen implicaciones directas para la salud ocupacional y la prevención cardiovascular en población trabajadora.

Frente a estos resultados, recomendamos: 1) fortalecer los programas de vigilancia ocupacional con especial énfasis en trabajadores que desarrollan estados intermedios de PA; 2) establecer protocolos de seguimiento más frecuentes para estos grupos de

riesgo, considerando evaluaciones trimestrales o semestrales según el estado identificado; 3) implementar intervenciones tempranas que incluyan modificaciones en el ambiente laboral y programas estructurados de promoción de la salud; y 4) desarrollar estudios prospectivos que evalúen la efectividad de estas intervenciones, en particular en el primer año de seguimiento, cuando observamos los cambios más significativos en los niveles de PA.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a los miembros de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Amazonas, Perú, por su apoyo y contribuciones durante la realización de esta investigación.

Financiamiento

Este estudio fue financiado por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Material suplementario

El material suplementario está disponible en DOI: 10.24875/ACM.25000039. Este material es proporcionado por el autor de correspondencia y se publica en línea para beneficio del lector. El contenido del material suplementario es responsabilidad exclusiva de los autores.

Referencias

- NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Worldwide trends in hypertension prevalence and progress in treatment and control from 1990 to 2019: a pooled analysis of 1201 population-representative studies with 104 million participants. *Lancet*. 2021;398:957-80.
- Rubinstein AL, Irazola VE, Calandrelli M, Chen C-S, Gutiérrez L, Lanás F, et al. Prevalence, awareness, treatment, and control of hypertension in the Southern Cone of Latin America. *Am J Hypertens*. 2016; 29:1343-52.
- Vasan RS, Larson MG, Leip EP, Kannel WB, Levy D. Assessment of frequency of progression to hypertension in non-hypertensive participants in the Framingham Heart Study: a cohort study. *Lancet*. 2001; 358:1682-6.
- Doumas M, Katsiki N, Mikhailidis DP. Prehypertension, the risk of hypertension and events. En: Zimlichman R, Julius S, Mancia G, editores. *Prehypertension and cardiometabolic syndrome*. Cham: Springer; 2019. p. 37-55.
- Vasan RS, Beiser A, Seshadri S, Larson MG, Kannel WB, D'Agostino RB, et al. Residual lifetime risk for developing hypertension in middle-aged women and men: The Framingham Heart Study. *JAMA*. 2002;287:1003-10.
- Kang M-Y. Occupational risk factors for hypertension. *J Hypertens*. 2022;40:2102-10.
- Manohar S, Thongprayoon C, Cheungpasitporn W, Mao MA, Herrmann SM. Associations of rotational shift work and night shift status with hypertension: a systematic review and meta-analysis. *J Hypertens*. 2017;35:1929-37.
- Fukuhara M, Arima H, Ninomiya T, Hata J, Yonemoto K, Doi Y, et al. Impact of lower range of prehypertension on cardiovascular events in a general population: the Hisayama Study. *J Hypertens*. 2012;30:893-900.
- Pop C, Fronea OFG, Pop L, Iosip A, Manea V, Dorobantu L, et al. High-normal blood pressure and related cardiovascular risk factors prevalence in the Romanian adult population: insights from the SEPHAR III study. *J Hum Hypertens*. 2021;35:884-95.
- von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *BMJ*. 2007;335:806-8.
- Chobanian AV, Bakris GL, Black HR, Cushman WC, Green LA, Izzo JL, et al. The Seventh Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure: the JNC 7 report. *JAMA*. 2003;289:2560-72.
- Kreutz R, Brunström M, Burnier M, Grassi G, Januszewicz A, Muesan ML, et al. 2024 European Society of Hypertension clinical practice guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur J Intern Med*. 2024;126:1-15.
- Vera Ponce VJ. Database Ocupacional. figshare. 2024. Disponible en: https://figshare.com/articles/dataset/_b_Database_Ocupacional_b_/27098296?file=49391110.
- Williams B, Mancia G, Spiering W, Agabiti Rosei E, Azizi M, Burnier M, et al. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH). *Eur Heart J*. 2018;39:3021-104.
- Lewington S, Clarke R, Qizilbash N, Peto R, Collins R; Prospective Studies Collaboration. Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality: a meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies. *Lancet*. 2002;360:1903-13.
- Intengan HD, Schiffrin EL. Vascular remodeling in hypertension: roles of apoptosis, inflammation, and fibrosis. *Hypertension*. 2001;38:581-7.
- Guo X, Zhang X, Guo L, Li Z, Zheng L, Yu S, et al. Association between pre-hypertension and cardiovascular outcomes: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Curr Hypertens Rep*. 2013;15:703-16.
- Giannotti G, Doerries C, Mocharla PS, Mueller MF, Bahlmann FH, Horvath T, et al. Impaired endothelial repair capacity of early endothelial progenitor cells in prehypertension: relation to endothelial dysfunction. *Hypertension*. 2010;55:1389-97.
- Grassi G, Quarti-Trevano F, Seravalle G, Arenare F, Volpe M, Furiani S, et al. Early sympathetic activation in the initial clinical stages of chronic renal failure. *Hypertension*. 2011;57:846-51.
- Sumners C, de Kloet AD, Krause EG, Unger T, Steckelings UM. Angiotensin type 2 receptors: blood pressure regulation and end organ damage. *Curr Opin Pharmacol*. 2015;21:115-21.
- Patrick DM, Beusecum JPV, Kirabo A. The role of inflammation in hypertension: novel concepts. *Curr Opin Physiol*. 2020;19:92.
- Krzemińska J, Wronka M, Młynarska E, Franczyk B, Rysz J. Arterial hypertension-oxidative stress and inflammation. *Antioxid Basel Switz*. 2022;11:172.
- Grassi G. Sympathetic neural activity in hypertension and related diseases. *Am J Hypertens*. 2010;23:1052-60.
- Nehme A, Zouein FA, Zayeri ZD, Zibara K. An update on the tissue renin-angiotensin system and its role in physiology and pathology. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2019;6:14.
- Mulvany MJ. Small artery remodelling in hypertension. *Basic Clin Pharmacol Toxicol*. 2012;110:49-55.
- Kim H-L. Arterial stiffness and hypertension. *Clin Hypertens*. 2023;29:31.
- Sun Y, Liu F, Zhang Y, Lu Y, Su Z, Ji H, et al. The relationship of endothelial function and arterial stiffness with subclinical target organ damage in essential hypertension. *J Clin Hypertens*. 2022;24:418.