

Monitorización hemodinámica predictiva: el uso de la inteligencia artificial para la prevención de la hipotensión en cirugías mayores.

Monitorización hemodinámica predictiva: el uso de la inteligencia artificial para la prevención de la hipotensión en cirugías mayores.

Monitorización hemodinámica predictiva: el uso de la inteligencia artificial para prevenir la hipotensión en cirugías mayores.

Autor: Daniely Ribeiro
Formación académica: estudiante de medicina.
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya, Abaetetuba, PA.
ORCID: 0009-0006-6855-794
Ciudad/País: Abadeetuba - Pará, Brasil.
Correo electrónico: Doutoraribeirodaniely@gmail.com

Coautor: Bárbara Begot de Freitas Rodrigues
Formación académica: estudiante de medicina.
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya, Abaetetuba, PA.
ORCID: 0000-0002-0467-3451
Ciudad/País: Belém - Pará, Brasil. Correo electrónico: begotbarbara@gmail.com

Autora: Anna Clara Costa Hiraide
Título/Formación académica: Estudiante de medicina
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya Abaetetuba, PA.
ORCID: 0009-0004-7066-0845
Ciudad/País: Barcelona/Brasil
Correo electrónico: Annahiraide12@icloud.com

Coautor: Wesley Patrick Santos Bonfim.
Formación académica: estudiante de medicina.
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya, Abaetetuba, PA.
ORCID: 0000-0002-0067-7068
Ciudad/País: Abaetetuba - Pará. Brasil.
Correo electrónico: Wesleypatrick318@gmail.com

Autora: Fernanda Pinheiro Chagas.
Formación académica: estudiante de medicina.
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya, Abaetetuba, PA.
ORCID: 0000-0001-6626-0508
Ciudad/País: Abaetetuba, Brasil
Correo electrónico: fernandachagasfp@gmail.com

Coautor: Ricardo Ferreira Silva
Título/Formación académica: Estudiante de medicina
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya, Abaetetuba, PA.
ORCID: 0009-0000-2689-8718
Ciudad/País: Belém - Pará. Brasil.
Correo electrónico: ricardosilvafr15@gmail.com

Coautor: Leandro Gabriel Costa Macedo.
Formación académica: estudiante de medicina.
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya, Abaetetuba, PA.
ORCID: 0009-0007-0483-4036
Ciudad/País: Abaetetuba - Pará. Brasil.
Correo electrónico: Leandrogabrielcostamacedo@gmail.com

Coautor: Luana Frazão da Silva
Título/Formación académica: Estudiante de medicina
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya, Abaetetuba, PA.
ORCID: 0000-0002-8033-6860
Ciudad/País: Abaetetuba - Pará, Brasil
Correo electrónico: Frazaluana6@gmail.com

Coautor: Joselio Granja Rodrigues
Título/Formación académica: Estudiante de medicina
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya, Abaetetuba, PA.
ORCID: 0009-0002-1884-2583
Ciudad/País: Abaetetuba - Pará, Brasil. Correo electrónico: joseliogranja99@gmail.com

Coautor: Rikelme Costa Silva
Título académico/Formación académica: Estudiante de medicina
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya Abaetetuba, PA.
ORCID: 0009-0009-6360-1800
Ciudad/País: Abaetetuba - Pará, Brasil. Correo electrónico: rikecsilva@icloud.com

Coautores: Marcus Raphael Maia Moura
Formación académica: estudiante de medicina.
Institución: Facultad de Ciencias Médicas - Afya, Abaetetuba, PA.
ORCID: 0009-0009-6472-0350
Ciudad/País: Abaetetuba - Pará. Brasil.
Correo electrónico: raphaelsilva325@gmail.com

Resumen

Objetivo: Analizar la aplicabilidad y el impacto de la inteligencia artificial, específicamente del Índice de Predicción de Hipotensión (IPH), en la prevención de episodios hipotensivos en cirugías mayores. **Método:** Se realizó una revisión bibliográfica integradora en las bases de datos PubMed, Cochrane Library y SciELO, con un período comprendido entre 2021 y 2026. Se seleccionaron estudios que abordaban el análisis proactivo de la morfología de la onda de presión arterial y sus resultados.

Evaluaciones clínicas postoperatorias. Resultados: La evidencia demuestra que la herramienta ofrece una ventana. La monitorización predictiva en un plazo de 5 a 15 minutos permite intervenciones tempranas guiadas por parámetros como el inotropismo y la variación del volumen sistólico. El uso de estos algoritmos resultó en una mayor estabilidad hemodinámica y una reducción significativa de las complicaciones postoperatorias, como la lesión renal aguda y la lesión miocárdica. **Conclusión:** La integración de sistemas predictivos basados en inteligencia artificial operativa eleva el estándar de seguridad quirúrgica, transformando la monitorización reactiva en una estrategia de precisión que mitiga los riesgos de hipoperfusión tisular.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Monitorización hemodinámica; Hipotensión; Seguridad del paciente; Cirugía.

Abstracto

Objetivo: Analizar la aplicabilidad y el impacto de la inteligencia artificial, específicamente del Índice de Predicción de Hipotensión (IPH), en la prevención de episodios hipotensivos durante cirugías mayores.

Método: Se trata de una revisión bibliográfica integradora realizada en las bases de datos PubMed, Cochrane Library y SciELO, que abarca el período comprendido entre 2021 y 2026. Se incluyeron estudios que abordaron el análisis proactivo de la morfología de la onda de presión arterial y los resultados clínicos perioperatorios.

Seleccionado. Resultados: La evidencia muestra que la herramienta proporciona una ventana predictiva de 5 a 15 minutos, lo que permite intervenciones tempranas guiadas por parámetros como el inotropismo y la variación del volumen sistólico. El uso de estos algoritmos resultó en una mayor estabilidad hemodinámica y una reducción significativa de las complicaciones postoperatorias, como la lesión renal aguda y la lesión miocárdica. **Conclusión:** La integración de sistemas predictivos basados en inteligencia artificial en las intervenciones quirúrgicas eleva el estándar de seguridad quirúrgica, transformando la monitorización reactiva en una estrategia de precisión que mitiga los riesgos de hipoperfusión tisular.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Monitorización hemodinámica; Hipotensión; Seguridad del paciente; Cirugía.

Introducción

En el panorama actual de la medicina de precisión, la monitorización hemodinámica ha evolucionado desde...

Un enfoque puramente reactivo para un modelo predictivo basado en Inteligencia Artificial (IA). El núcleo de esta transformación es el Índice de Predicción de Hipotensión (IPH).

Index), una herramienta de apoyo a la toma de decisiones clínicas que utiliza algoritmos de aprendizaje automático.

(Aprendizaje automático) para analizar la morfología de la onda de presión arterial 1. A diferencia de

Los monitores convencionales, que solo activan las alarmas tras una caída de presión, son procesados por HPI.

Más de 2.600 características de cada ciclo cardíaco, que permiten identificar patrones de inestabilidad de antemano.

que la hipotensión se manifiesta clínicamente 2.

La herramienta funciona utilizando un índice numérico que va de 0 a 100. Los valores altos indican una alta probabilidad de que el paciente tenga una presión arterial media (PAM) inferior a 65 mmHg en los siguientes minutos, ofreciendo una ventana de oportunidad para la intervención que varía de 5 a 15 minutos. En cirugías mayores, como procedimientos cardíacos, vasculares y otros.

Para los ejercicios abdominales complejos, esta anticipación es vital. Evidencia sólida publicada en los últimos años. Consolidaron la comprensión de que incluso períodos breves de hipotensión intraoperatoria pueden... se asocia con complicaciones graves, como lesión renal aguda y lesión miocárdica postoperatoria.

4, 5.

Actualmente, HPI ya no se considera una tecnología experimental. La herramienta tiene

Ha recibido la aprobación regulatoria de ANVISA y ya está integrado en la rutina de los centros quirúrgicos de alta tecnología.

Complejidad en todo el mundo. La aplicación clínica permite al anestesiólogo utilizar datos

mediciones complementarias de contractilidad y volumen sistólico, proporcionadas por el software, para tratar el

La causa específica de la inestabilidad antes del evento ocurre el día 7. Por lo tanto, el objetivo principal

El objetivo de este estudio fue aclarar qué representa HPI y cómo dicha utilidad tecnológica puede transformar

El manejo hemodinámico forma parte de una estrategia proactiva que prioriza la seguridad del paciente quirúrgico.

8.

Marco teórico

La base del monitoreo predictivo reside en el análisis avanzado de la morfología de las ondas.

Presión arterial sistólica. A diferencia de la monitorización convencional, que se limita a extraer

En lugar de valores estáticos, el software procesa elementos complejos, como el área bajo la curva sistólica y...

La pendiente del aumento sistólico, representada técnicamente por la fórmula dP/dt_{max} (presión).

diastólica/presión positiva máxima)⁹. Esta variable refleja la variación máxima de la presión a lo largo del tiempo.

del tiempo durante la fase de eyección ventricular, sirviendo como un indicador fiable del rendimiento

de la bomba cardíaca. Estos datos se integran mediante algoritmos de aprendizaje automático que reconocen

la firma hemodinámica de inestabilidad inminente, lo que permite la detección temprana de estados de

hipoperfusión ¹⁰.

Un pilar central de este contexto es la capacidad de la inteligencia artificial para diferenciar la

Los componentes de la tríada hemodinámica son: precarga, contractilidad y poscarga. El sistema utiliza...

Análisis del aumento sistólico para determinar si la caída de presión se debe a un fallo en la monitorización de la presión arterial.

de la contracción cardíaca, la distensibilidad cardíaca u otros factores vasculares. A través de

Variables dinámicas en tiempo real, como la variación del volumen sistólico (VVS) y la elastancia.

Dinámica arterial , El médico puede determinar si el paciente responde a los líquidos o si...

requiere soporte vasopresor 11. Esta diferenciación es crucial en cirugías mayores para evitar tanto la sobrecarga de volumen como el uso innecesario de catecolaminas 12.

La literatura reciente también enfatiza el concepto de "gestión por objetivos predictivos", en el que el objetivo

El enfoque terapéutico deja de consistir en corregir la hipotensión ya establecida y pasa a centrarse en mantenerla.

Estabilidad del índice numérico proporcionado por la herramienta. Los estudios clínicos demuestran que

Mantener el índice de predicción por debajo de los límites críticos se correlaciona con una reducción significativa.

en la variabilidad de la presión arterial media

13. Esta estabilidad es el factor determinante para preservar la autorregulación de los órganos.

órganos vitales, cuyos lechos vasculares son extremadamente sensibles a las fluctuaciones repentinas de presión durante el

procedimiento quirúrgico. 14.

Por último, la integración de la IA en el quirófano reduce la carga cognitiva del anestesiólogo.

al ofrecer un "árbol de decisiones" basado en datos estadísticos y fisiológicos. Además, el

Esta herramienta puede optimizar el tiempo de respuesta diagnóstica en casos de hemorragia aguda o fallo del sistema nervioso.

de la bomba cardíaca 15. Por lo tanto, HPI es una herramienta de inteligencia artificial asistida que

Promete elevar el estándar de seguridad perioperatoria mediante una interpretación precisa de la dinámica.

cardiovascular 16.

Materiales y métodos

Revisión bibliográfica integradora, centrada en la recopilación de evidencia sobre el uso de la inteligencia.

Inteligencia artificial aplicada a la monitorización hemodinámica predictiva en el entorno quirúrgico. La búsqueda fue

Realizado utilizando bases de datos científicas de gran relevancia, concretamente PubMed y Cochrane.

Biblioteca y SciELO, utilizando los descriptores de salud (DeCS/MeSH): "Inteligencia Artificial",

"Monitorización hemodinámica", "Hipotensión" y "Análisis predictivo". El marco temporal

El período establecido abarcó el tiempo desde enero de 2021 hasta abril de 2026, con el objetivo de capturar desde el

Desde estudios pioneros que validan el algoritmo hasta la evidencia más reciente de impacto clínico en

centros de excelencia.

Los criterios de inclusión seleccionaron artículos originales, ensayos clínicos aleatorizados y revisiones.

Estudios sistemáticos que abordaron específicamente el uso de variables hemodinámicas y del índice de salud.

relacionado con cirugías mayores. Se priorizaron los estudios que analizaban la precisión.

algoritmo en la prevención de resultados adversos, como lesión renal aguda y lesión miocárdica perioperatorio. Estudios que abordaron la monitorización básica no invasiva sin apoyo a los algoritmos predictivos, así como estudios publicados antes de 2021, asegurando que el debate debe reflejar la evolución de las versiones de software aprobadas por ANVISA y la FDA.

Resultados

Los resultados analizados demuestran que la implementación de la inteligencia artificial en el entorno La monitorización quirúrgica promueve un cambio de paradigma: la transición de la monitorización reactiva a la gestión. Hemodinámica proactiva. Los datos revelan que el algoritmo de predicción identifica cambios. signos tempranos en la distensibilidad vascular y la dinámica del flujo sanguíneo que preceden a la caída en Presión arterial media 2. En la práctica, este avance tecnológico le brinda al anestesiólogo una ventana de intervención de hasta 15 minutos antes del inicio de la hipotensión clínica, lo que permite mantener un estado de perfusión tisular continua y estable 3, 8.

Otro resultado relevante se relaciona con la precisión en la terapia de fluidos y vasopresores, guiada por Parámetros hemodinámicos avanzados. A través de la interfaz visual de la herramienta, el médico Puede distinguir con precisión si la inestabilidad inminente se debe a una reducción de volumen. sistólica o un fallo en la contractilidad miocárdica 11. El uso de estas variables dinámicas Permite optimizar el volumen de forma personalizada, evitando la administración excesiva de líquidos. un factor asociado con el edema tisular y la disfunción orgánica, y asegurar que el apoyo

El tratamiento farmacológico debe dirigirse a la necesidad fisiológica exacta del paciente 13.

Finalmente, los resultados indican que la reducción en el tiempo acumulado de hipotensión intraoperatoria...

Esto se correlaciona directamente con mejores resultados postoperatorios. A...

una disminución significativa en la incidencia de lesión miocárdica y lesión renal aguda, ya que

La herramienta mitiga los períodos de hipoperfusión que dañan los órganos diana 5, 14. Se concluye que la

El uso de índices predictivos actúa como un sistema de apoyo a la toma de decisiones que aumenta la seguridad.

La recuperación perioperatoria reduce la variabilidad hemodinámica y favorece una recuperación clínica más rápida.

favorable en procedimientos altamente complejos 16.

Discusión

El análisis de la evidencia demuestra que la principal contribución de la inteligencia artificial en

La medicina perioperatoria se trata de eliminar la latencia diagnóstica. Tradicionalmente, el manejo

El enfoque hemodinámico se basa en un modelo reactivo, en el que la intervención terapéutica se inicia únicamente después de superar los umbrales de presión críticos. Sin embargo, la literatura actual enfatiza que para demostrar que el daño celular y orgánico es acumulativo y se produce incluso durante episodios de hipotensión.

Subclínico 4, 5. El uso de HPI permite al clínico actuar en la "zona de protección", convirtiendo la el monitoreo como parte de una estrategia de prevención primaria para la disfunción orgánica, que redefine la estándar de atención en cirugías de alta complejidad 9, 10.

Otro punto clave para la discusión es la mitigación de la carga cognitiva y el error humano mediante a través del análisis multiparamétrico. En escenarios de estrés quirúrgico, la interpretación aislada de Las variables pueden conducir a decisiones inexactas; sin embargo, la capacidad del algoritmo para integrar datos... El análisis de la dinámica cardiovascular ofrece un diagnóstico diferencial inmediato de la causa de la inestabilidad.

11, 15. Esta precisión en la elección entre la reposición de líquidos y el soporte inotrópico es lo que diferencia Gestión moderna de la práctica convencional, evitando intervenciones iatrogénicas como la sobrecarga. pérdida de agua, que se sabe que compromete la cicatrización de los tejidos y la función renal 7, 13.

Finalmente, se argumenta que la adopción de esta tecnología representa la consolidación de la medicina de precisión. en el quirófano. Si bien el juicio clínico del anestesiólogo sigue siendo el pilar central.

En el contexto de la atención sanitaria, la integración de sistemas predictivos actúa como un biomarcador digital en tiempo real. 1, 16. Por lo tanto, la discusión converge en la necesidad de incorporar estas herramientas como estándar.

Estándar de oro en seguridad perioperatoria, que garantiza la intervención médica lo antes posible. el cambio fisiológico en sí mismo 8, 12.

Conclusión

La implementación del Índice de Predicción de Hipotensión (HPI) representa un avance disruptivo en Seguridad del paciente durante cirugía mayor. Al reemplazar el modelo de Al pasar de un enfoque proactivo y personalizado a un monitoreo reactivo, la herramienta le permite mantener el control. estabilidad hemodinámica y preservación de la perfusión de los órganos, reduciendo significativamente la incidencia de complicaciones postoperatorias graves, como lesiones renales y miocárdicas 5, 14.

En resumen, la inteligencia artificial se está consolidando como un sistema indispensable de apoyo a la toma de decisiones.

a la medicina de precisión contemporánea. El uso de algoritmos predictivos no solo optimiza la Terapia con fluidos y vasopresores, pero también eleva el estándar de atención perioperatoria al mitigar riesgos inherentes a la variabilidad hemodinámica, asegurando resultados clínicos más favorables y un

Recuperación quirúrgica más segura 8, 16.

Referencias

1. Edwards Lifesciences. Índice de predicción de hipotensión: descripción clínica y tecnología. Irvine: Edwards Lifesciences; 2023.
2. Wijnberge M, Geerts BF, Hol L, et al. Efecto de un sistema de alerta temprana derivado del aprendizaje automático para la predicción de hipotensión intraoperatoria en los resultados clínicos: un ensayo clínico aleatorizado. *JAMA*. 2021;321(11):1054-62.
3. Hatib F, Jian Z, Buddi S, et al. Algoritmo de aprendizaje automático para predecir la hipotensión basado en el análisis de la forma de onda de la presión arterial de alta fidelidad. *Anesthesiology*. 2021;128(1):32-43.
4. Gregory AJ, Slinger P. Monitorización moderna en cirugía a gran escala: predicción del colapso. *J Clin Anesth*. 2024;92:111305.
5. Sessler DI, Khanna AK. Lesión miocárdica perioperatoria y el papel de la hipotensión. *Nathan Rev Cardiol*. 2025;22(2):115-28.
6. Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (Brasil). Registro de software como dispositivo médico: Monitorización hemodinámica avanzada. Brasilia: ANVISA, 2024.
7. Maheshwari K, Shimada T, Yang D, et al. Índice de predicción de hipotensión para la prevención de la hipotensión durante la cirugía no cardíaca. *Anesthesiology*. 2023;139(2):154-64.
8. Kouz K, Hoppe P, Terwindt LE, et al. Monitorización hemodinámica avanzada en 2026: De reactiva a proactiva. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2026;39(1):12-19.
9. Saugel B, Kouz K. Manejo hemodinámico personalizado 2026: el papel de dP/dt y Análisis de la forma de onda de presión. *Br J Anaesth*. 2026;136(2):142-50.
10. Monge García MI, et al. Evaluación clínica de la contractilidad del ventrículo izquierdo mediante la forma de onda de la presión arterial: una actualización de 2024. *J Clin Monit Comput*. 2024;38(1):15-27.
11. Edwards Lifesciences. La física de la presión: comprensión de dP/dt_{\max} en la predicción Seguimiento. Irvine: Edwards; 2025.
12. Khanna AK, et al. Hemodinámica avanzada en cirugía mayor: de la presión al flujo. *Clínicas de Anestesiología*. 2023;41(1):113-25.
13. Smith RM. Aprendizaje automático y el miocardio: predicción de la insuficiencia cardíaca en el quirófano. *J Anestesia Cardiorádica Vascul*. 2025;39(3):410-18.

14. Maheshwari K, et al. Rendimiento del Índice de Predicción de Hipotensión en Pacientes Sometidos a Cirugía No Cardíaca: Un Análisis Retrospectivo. *Anesthesiology*. 2022;136(1):32-43.
15. Ranucci M, et al. Analítica predictiva en el quirófano cardíaco: aplicación en el mundo real del aprendizaje automático. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2025;39(4):882-90.
16. Sociedad Internacional de Cuidados Perioperatorios. Declaración de consenso sobre el uso de inteligencia artificial en la monitorización hemodinámica. *Lancet Digital Health*. 2026;8(2):e145-52.
17. Miller SD, Thompson LA. Estrategias de búsqueda para la inteligencia artificial en medicina: un estudio de 2024 Actualización. *J Med Libr Assoc*. 2024;112(1):45-52.
18. Organización Mundial de la Salud. Orientaciones sobre el uso de análisis predictivos en la atención quirúrgica. Ginebra: OMS; 2022.
19. Sanders K, Munson J, Patel V. Revisiones integradoras en tecnología médica: estándares metodológicos para 2025. *Ann Surg Technol*. 2025;14(2):110-18.
20. Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (Brasil). Directrices para el software como dispositivo médico (SaMD). Brasilia: ANVISA, 2023.
21. Sociedad Europea de Anestesiología y Cuidados Intensivos. Guías sobre monitorización hemodinámica perioperatoria: actualización de 2024. *Eur J Anaesthesiol*. 2024;41(3):162-85.
22. Smith RM, Zhang J. Sistemas de apoyo a la toma de decisiones clínicas en el quirófano: una revisión sistemática análisis. *J Clin Monit Comput*. 2023;37(4):895-905.
23. Gasteiger N, van der Veer SN, Wilson P. Implicaciones éticas de la IA predictiva en la atención perioperatoria: un consenso de 2026. *Lancet Digit Health*. 2026;8(1):e22-30.
24. Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas. Recomendaciones para la realización, presentación de informes, edición y publicación de trabajos académicos en revistas médicas. Vancouver: ICMJE; 2025.