

USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL NA PREDIÇÃO DE HIPOTENSÃO INTRAOPERATÓRIA

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INTRAOPERATIVE HYPOTENSION PREDICTION

USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA PREDICCIÓN DE LA HIPOTENSIÓN INTRAOPERATORIA

Luiza de Oliveira Marques¹
Rafael Tavares dos Santos Silva²
Pedro Henrique Pinto Martins³

RESUMO: A hipotensão intraoperatória (HIO) é uma intercorrência hemodinâmica frequente, acometendo aproximadamente 29% dos pacientes cirúrgicos, e está associada a desfechos adversos graves, como lesão renal aguda, injúria miocárdica perioperatória e aumento da mortalidade. Com o avanço das técnicas de inteligência artificial (IA), algoritmos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo têm sido desenvolvidos para prever esses eventos antes de sua manifestação clínica. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia e a segurança do uso de algoritmos de inteligência artificial na predição de hipotensão intraoperatória. Foi realizada uma revisão narrativa da literatura por meio das bases de dados PubMed, Scopus e Web of Science e um total de 10 artigos foram selecionados após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Os estudos utilizaram como principal ferramenta o Hypotension Prediction Index (HPI), baseado em análise de forma de onda arterial, além de modelos de deep learning com arquiteturas CNN-RNN. Os resultados demonstraram sensibilidade de 0,75, especificidade de 0,73 e AUROC agregado de 0,83 para algoritmos de ML em geral, com modelos de aprendizado profundo alcançando AUROC de 0,94. Todavia, há controvérsias com relação ao impacto em desfechos clínicos duros, como lesão renal aguda e injúria miocárdica, que ainda não foram consistentemente demonstrados. Além disso, boa parte dos trabalhos possui avaliação a curto prazo e amostras reduzidas de população de estudo. Nesse sentido, é imprescindível a realização de mais estudos nessa área, uma vez que a predição precoce da HIO representa avanço fundamental para a segurança do paciente cirúrgico.

Palavras-chave: Hipotensão intraoperatória. Inteligência artificial. Aprendizado de máquina. Aprendizado profundo.

¹Acadêmica de Medicina. Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

²Acadêmico de Medicina. Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

³Médico e docente. Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

ABSTRACT: Intraoperative hypotension (IOH) is a frequent hemodynamic complication, affecting approximately 29% of surgical patients, and is associated with severe adverse outcomes, such as acute kidney injury, perioperative myocardial injury, and increased mortality. With advancements in artificial intelligence (AI) techniques, machine learning and deep learning algorithms have been developed to predict these events prior to their clinical onset. The objective of this study was to evaluate the efficacy and safety of artificial intelligence algorithms in predicting intraoperative hypotension. A narrative literature review was conducted using the PubMed, Scopus, and Web of Science databases, and a total of 10 articles were selected after applying the inclusion and exclusion criteria. The studies primarily utilized the Hypotension Prediction Index (HPI), based on arterial waveform analysis, as well as deep learning models with CNN-RNN architectures. The results demonstrated a sensitivity of 0.75, a specificity of 0.73, and a pooled AUROC of 0.83 for machine learning algorithms in general, with deep learning models achieving an AUROC of 0.94. However, controversies remain regarding their impact on hard clinical outcomes, such as acute kidney injury and myocardial injury, which have not yet been consistently demonstrated. Furthermore, a substantial portion of the literature is limited by short-term evaluations and small sample sizes. In this regard, further research in this field is imperative, as the early prediction of IOH represents a fundamental advancement in surgical patient safety.

Keywords: Intraoperative hypotension. Artificial intelligence. Machine learning. Deep learning.

RESUMEN: La hipotensión intraoperatoria (HI) es una complicación hemodinámica frecuente, que afecta aproximadamente al 29 % de los pacientes quirúrgicos y se asocia con resultados adversos graves como lesión renal aguda, lesión miocárdica perioperatoria y mayor mortalidad. Con el avance de las técnicas de inteligencia artificial (IA), se han desarrollado algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo para predecir estos eventos antes de su manifestación clínica. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia y seguridad del uso de algoritmos de inteligencia artificial en la predicción de la hipotensión intraoperatoria. Se realizó una revisión narrativa de la literatura utilizando las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science, y se seleccionaron un total de 10 artículos tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión. Los estudios utilizaron el Índice de Predicción de Hipotensión (IPH), basado en el análisis de la forma de onda arterial, como herramienta principal, además de modelos de aprendizaje profundo con arquitecturas CNN-RNN. Los resultados demostraron una sensibilidad de 0,75, una especificidad de 0,73 y un AUROC agregado de 0,83 para los algoritmos de aprendizaje automático en general, con modelos de aprendizaje profundo que alcanzaron un AUROC de 0,94. Sin embargo, existe controversia respecto al impacto en resultados clínicos graves, como la lesión renal aguda y la lesión miocárdica, que aún no se han demostrado de forma consistente. Además, gran parte de la investigación presenta evaluaciones a corto plazo y tamaños de muestra pequeños. En este sentido, se necesitan más estudios en esta área, ya que la predicción temprana de la hipotensión intraoperatoria representa un avance fundamental para la seguridad del paciente quirúrgico.

Palabras clave: Hipotensión intraoperatoria. Inteligencia artificial. Aprendizaje automático. Aprendizaje profundo.

INTRODUÇÃO

A hipotensão intraoperatória (HIO) é um problema de saúde relevante no contexto cirúrgico, pois afeta aproximadamente 29% dos pacientes submetidos a procedimentos não cardíacos sob anestesia geral ou neuroaxial. É uma intercorrência que pode resultar em inúmeras complicações, como a lesão renal aguda (LRA), a injúria miocárdica perioperatória (MINS), eventos neurológicos isquêmicos e o aumento da mortalidade em 30 dias (SIDIROPOULOU et al., 2022; MUKKAMALA et al., 2025). A HIO é caracterizada pela redução da pressão arterial média (PAM) abaixo de 65 mmHg por período igual ou superior a um minuto, embora outras definições — baseadas em queda relativa igual ou superior a 20% do valor basal — também sejam utilizadas na prática clínica. A magnitude do dano tecidual parece ser proporcional à profundidade e à duração do episódio hipotensivo.

Dentre as estratégias de monitoramento perioperatório disponíveis, as convencionais apresentam limitações intrínsecas na antecipação de eventos hipotensivos. Estima-se que o manejo reativo — no qual intervenções terapêuticas são iniciadas somente após a instalação da hipotensão — pode comprometer a perfusão orgânica por intervalos clinicamente relevantes (JO et al., 2022). Nesse cenário, a relação entre a HIO e os desfechos adversos é múltipla e influenciada por fatores como débito cardíaco reduzido, vasodilatação anestésica, hipovolemia e variabilidade autonômica individual.

3

Apesar de haver conhecimento sobre a fisiopatologia da HIO, boa parte dos pacientes que apresentam instabilidade hemodinâmica intraoperatória não são identificados previamente por meio de estratégias preventivas eficazes (MOHAMMADI et al., 2024). Essa situação ocorre devido à limitada capacidade dos monitores convencionais em capturar padrões precursores da queda pressórica e pela ausência de protocolos padronizados baseados em predição algorítmica.

Dessa forma, visto que a HIO é uma intercorrência que pode gerar complicações graves e potencialmente fatais, entende-se que é necessário buscar a melhor maneira de antecipá-la. Nesse sentido, o objetivo dessa revisão foi analisar a eficácia e a segurança do uso de algoritmos de inteligência artificial na predição de hipotensão intraoperatória.

MÉTODOS

Trata-se de um estudo de abordagem qualitativa, retrospectiva e transversal executado em maio de 2026, por meio de uma revisão narrativa da literatura. As bases de dados utilizadas foram National Library of Medicine (PubMed), Scopus e Web of Science (WoS). A busca pelos artigos foi realizada considerando os descritores "intraoperative hypotension", "artificial

intelligence", "machine learning" e "deep learning", utilizando o operador booleano "AND". A revisão de literatura foi realizada de acordo com as seguintes etapas: estabelecimento do tema; definição dos parâmetros de elegibilidade; definição dos critérios de inclusão e exclusão; verificação das publicações nas bases de dados; verificação das informações encontradas; análise dos estudos encontrados e exposição dos resultados. Foram incluídos artigos publicados nos últimos 5 anos (2021-2026), com textos completos disponíveis, do tipo ensaio clínico controlado, revisão sistemática, meta-análise e estudo observacional. Foram excluídos os artigos que não tinham definição clara de embasamento teórico e temático de acordo com os objetivos do estudo e os que se repetiam entre as plataformas. A seleção inicial dos estudos foi realizada por meio da leitura dos títulos e resumos, considerando sua pertinência ao tema e o atendimento aos critérios de elegibilidade estabelecidos. Os artigos selecionados nessa etapa foram submetidos à leitura na íntegra para verificar sua adequação aos critérios de inclusão e exclusão. Ao final do processo, 10 artigos foram incluídos na revisão narrativa.

RESULTADOS

A busca resultou em um total de 287 trabalhos. Foram encontrados 189 artigos na base de dados do PubMed, 63 artigos no Scopus e 35 artigos na Web of Science, sendo que 14 artigos estavam duplicados entre as plataformas PubMed e Scopus, além de 6 estudos também estarem duplicados entre as plataformas Scopus e WoS. Após a aplicação de todos os critérios de inclusão e exclusão, ficaram no total 10 artigos para compor essa revisão narrativa, conforme evidenciado na Figura 1.

4

Figura 1. Fluxograma de identificação e seleção dos artigos encontrados nas bases de dados PubMed, Scopus e Web of Science.

Total de artigos identificados: 287 (PubMed: 189 Scopus: 63 WoS: 35)
Remoção de duplicatas: -20 artigos Total após remoção: 267 artigos
Triagem por títulos e resumos 267 artigos avaliados 38 artigos selecionados para leitura na íntegra
Artigos excluídos após leitura na íntegra: 28
Total de artigos selecionados: 10 artigos

Fonte: Luiza de Oliveira Marques (2026).

Dos 10 artigos selecionados, 2 são estudos observacionais, 3 são do tipo ensaio clínico controlado randomizado e 5 são revisões sistemáticas ou meta-análises. Dentre eles, 3 estudos avaliaram especificamente o Hypotension Prediction Index (HPI) em contextos cirúrgicos distintos. Além disso, 2 artigos afirmam que os modelos de deep learning baseados em formas de onda arterial, ECG e EEG alcançam AUROC superiores a 0,90. Todavia, 3 trabalhos afirmam que o HPI apresenta desempenho preditivo satisfatório mas com valor preditivo positivo (VPP) entre 25-30%, resultando em elevada taxa de alarmes falsos. Ademais, 4 artigos afirmam que o uso guiado pelo HPI reduz a duração e profundidade da HIO em ensaios clínicos randomizados, mas 2 desses trabalhos afirmam que benefícios em desfechos clínicos duros não foram demonstrados de forma consistente. Adicionalmente, 4 estudos abordam a necessidade de mais pesquisas acerca do perfil de desempenho dos algoritmos de IA nos pacientes cirúrgicos, uma vez que os trabalhos foram realizados com amostras de centros únicos e sem avaliação a longo prazo. Ainda, 1 artigo aponta que dados escassos sugerem que o uso de algoritmos de ML reduz marcadores hemodinâmicos de estresse perioperatório. Por fim, 1 artigo aborda o fenômeno de alert fatigue e as estratégias para mitigá-lo (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização dos artigos conforme nome do autor, ano de publicação, título do trabalho, tipo de publicação e principais conclusões.

Autor	Ano	Título	Tipo de estudo	Principais conclusões
MOHAMMADI, I. et al.	2024	Predictive ability of hypotension prediction index and machine learning methods in intraoperative hypotension: a systematic review and meta-analysis.	Revisão sistemática e meta-análise.	O HPI e modelos de ML demonstraram AUROC > 0,88. Modelos não-HPI variaram entre 0,75 e 0,96 conforme arquitetura e dataset.
FARAJI, M. et al.	2025	Clinical performance of machine-learning algorithms to predict intraoperative hypotension: a meta-analysis.	Meta-análise.	Especificidade global 0,73; sensibilidade 0,75; AUROC 0,83. Modelos com PAI invasiva superaram os não invasivos.
SHIRMOHAMADI, E. et al.	2025	Intraoperative hypotension prediction in cardiac and noncardiac procedures: is HPI truly worthwhile? A systematic review and meta-analysis.	Revisão sistemática e meta-análise.	HPI é eficaz na redução do tempo de HIO, mas benefícios em desfechos clínicos duros (LRA, MINS) permanecem inconsistentes.

MUKKAMAL A, R. et al.	2025	Intraoperative hypotension prediction: current methods, controversies, and research outlook.	Revisão narrativa crítica.	VPP do HPI em torno de 25-30% na prática clínica. Propõe métricas mais rigorosas (precisão-recall) para avaliações futuras.
JO, Y.-Y. et al.	2022	Predicting intraoperative hypotension using deep learning with waveforms of arterial blood pressure, electroencephalogram, and electrocardiogram: retrospective study.	Estudo retrospectivo (deep learning).	Modelo combinado PAI + EEG alcançou AUROC 0,92. Integração de múltiplos sinais enriquece capacidade preditiva.
SIDIROPOULOU, T. et al.	2022	Prediction and prevention of intraoperative hypotension with the Hypotension Prediction Index: a narrative review.	Revisão narrativa.	Sensibilidade média 0,85 e especificidade 0,78 para HPI $\geq$ 85. Antecipação de 5-15 minutos antes do evento hipotensivo.
LAI, C.-J. et al.	2024	Hypotension prediction index for prevention of intraoperative hypotension in patients undergoing general anesthesia: a randomized controlled trial.	Ensaio clínico controlado e randomizado.	Grupo HPI apresentou redução significativa na duração cumulativa de HIO. Não foram observadas diferenças em complicações pós-operatórias.
ŠRIBAR, A. et al.	2023	Hypotension prediction index guided versus conventional goal directed therapy to reduce intraoperative hypotension during thoracic surgery: a randomized trial.	Ensaio clínico controlado e randomizado.	Grupo HPI apresentou menor incidência de episódios hipotensivos e menor consumo de vasopressores em cirurgias torácicas.
SHIM, J.-G. et al.	2025	Machine learning methods for the prediction of intraoperative hypotension with biosignal waveforms.	Estudo retrospectivo (ML e deep learning).	Arquitetura CNN-RNN alcançou AUROC 0,94 e acurácia de 88% em coorte de 2.611 pacientes.
Autor	Ano	Título	Tipo de estudo	Principais conclusões

RUNGE, J. et al.	2023	Hypotension Prediction Index and incidence of perioperative hypotension: a single-center propensity-score-matched analysis.	Estudo observacional (propensity score).	Uso do HPI associado a menor incidência de HIO perioperatória e menor tempo de internação em UTI.
------------------	------	---	--	---

Fonte: Luiza de Oliveira Marques (2026).

*HIO: hipotensão intraoperatória; HPI: Hypotension Prediction Index; ML: aprendizado de máquina; DL: aprendizado profundo; PAI: pressão arterial invasiva; ECG: eletrocardiograma; EEG: eletroencefalograma; LRA: lesão renal aguda; MINS: injúria miocárdica perioperatória; AUROC: área sob a curva ROC; VPP: valor preditivo positivo; UTI: unidade de terapia intensiva; CNN-RNN: Convolutional Neural Network – Recurrent Neural Network.

DISCUSSÃO

A presente revisão narrativa demonstrou que a hipotensão intraoperatória em pacientes cirúrgicos apresenta alta prevalência e impacto significativo na morbimortalidade perioperatória. Nossos achados confirmam a literatura, que aponta prevalências entre 20% e 40% de HIO em cirurgias de médio e alto risco, sendo ainda mais frequente em procedimentos cardíacos e de grande porte. Apesar da relevância clínica, a abordagem preditiva com algoritmos de inteligência artificial nesse grupo permanece um desafio, tanto pela escassez de evidências robustas quanto pelas particularidades dos diferentes contextos cirúrgicos e populações estudadas. (MOHAMMADI et al., 2024; SHIRMOHAMADI et al., 2025)

Grande parte dos estudos avaliados utilizou o Hypotension Prediction Index (HPI), baseado em análise de forma de onda de pressão arterial invasiva, como principal estratégia de predição. Ensaios clínicos randomizados indicaram redução na duração e profundidade dos episódios hipotensivos após o uso guiado pelo HPI, além de benefícios em parâmetros hemodinâmicos e menor consumo de vasopressores. No entanto, outros trabalhos não demonstraram diferenças significativas em desfechos clínicos duros — como LRA e MINS —, sugerindo possível efeito de fatores externos, como o acompanhamento clínico mais próximo proporcionado pelo protocolo de pesquisa ou a heterogeneidade das populações estudadas. (LAI et al., 2024; ŠRIBAR et al., 2023)

Outro aspecto relevante é a segurança do uso dos algoritmos de IA na prática anestésica. Em um estudo de revisão produzido no ano de 2025, foi observado que o VPP do HPI permanece em torno de 25-30% na prática clínica, implicando elevada taxa de alarmes falsos. Além disso, nesse mesmo trabalho, foi demonstrado que o fenômeno de alert fatigue — no qual a equipe clínica se torna dessensibilizada aos alertas por sua alta frequência — representa

obstáculo relevante à implementação rotineira desses algoritmos. (MUKKAMALA et al., 2025). Embora o HPI, algoritmo mais utilizado como referência nos estudos, seja considerado relativamente preciso por combinar mais de 3.000 características morfológicas da curva de pulso arterial, estudos apontam que parcela significativa de sua acurácia preditiva é explicada simplesmente pelo valor corrente da PAM — e não pelos padrões morfológicos avançados da forma de onda. (SHIRMOHAMADI et al., 2025)

Adicionalmente, a dependência de monitoramento arterial invasivo — necessário para alimentar os principais algoritmos comerciais — e as potenciais limitações de generalização dos modelos entre diferentes populações elevam a complexidade do manejo. Um fator que dificulta a eficácia preditiva é o viés de seleção dos datasets de treinamento, majoritariamente provenientes de hospitais de alta complexidade de países desenvolvidos. Estudos mostraram que muitos modelos apresentam queda de desempenho quando aplicados a populações com perfil de risco distinto do utilizado no treinamento. Paralelamente, alguns algoritmos não fornecem explicações interpretáveis para suas predições, fato que sem justificativa clínica compreensível, gera resistência à adoção por parte dos anestesiolistas. (MUKKAMALA et al., 2025; SHIM et al., 2025).

Além dos modelos baseados em forma de onda arterial, modelos alternativos de deep learning também foram investigados em pacientes cirúrgicos, demonstrando eficácia superior em termos de AUROC ao integrar múltiplos sinais fisiológicos — como ECG e EEG — à análise da curva de pressão arterial. Isso sugere que estratégias multimodais podem ser viáveis, sobretudo em pacientes com monitoramento neurológico concomitante ou em procedimentos que já requerem aquisição desses sinais. (JO et al., 2022). Um estudo retrospectivo realizado no ano de 2022 comparou modelos treinados apenas com PAI e modelos combinados com EEG e ECG. O estudo concluiu que os modelos multimodais apresentaram AUROC de 0,92, superando aqueles baseados exclusivamente em formas de onda arterial. Todavia, no estudo é possível observar que os sinais de EEG requerem equipamentos adicionais nem sempre disponíveis em todos os contextos cirúrgicos. (JO et al., 2022)

Um outro fator presente nos estudos refere-se à arquitetura dos modelos de IA utilizados para predição da HIO. Há uma divergência na padronização dos estudos quanto ao tipo de algoritmo empregado, pois alguns trabalhos utilizam modelos de gradient boosting e regressão logística regularizada, enquanto outros empregam redes neurais profundas do tipo CNN-RNN ou LSTM. Existem ainda outros que não relatam os hiperparâmetros utilizados nos testes com os pacientes. (SHIM et al., 2025; RUNGE et al., 2023). Além disso, boa parte

dos estudos não parece adotar validação externa dos modelos em coortes prospectivas e multicêntricas, o que também pode contribuir para superestimação do desempenho relatado. (FARAJI et al., 2025)

Nesse sentido, embora os algoritmos de IA possam trazer benefícios para pacientes cirúrgicos em risco de HIO, os trabalhos possuem evidências limitadas, heterogêneas e de curta duração, em sua maioria com apenas 12 semanas ou baseadas em análises retrospectivas de banco de dados. A maioria dos ensaios clínicos são unicêntricos e com amostras relativamente pequenas de pacientes. Dessa forma, persistem lacunas importantes quanto ao uso a longo prazo, à definição de limiares de alerta otimizados para diferentes cenários cirúrgicos e à comparação direta entre diferentes arquiteturas de modelos, uma vez que boa parte dos trabalhos envolve apenas o HPI (MUKKAMALA et al., 2025; SHIRMOHAMADI et al., 2025).

CONCLUSÃO

Aproximadamente 29% dos pacientes submetidos a cirurgias não cardíacas apresentam hipotensão intraoperatória, o que a torna problema de segurança perioperatória de primeira ordem. Essa intercorrência, que pode desencadear diversas complicações graves, tem nos algoritmos de inteligência artificial uma perspectiva promissora de predição e prevenção. O cenário de implementação desses algoritmos na prática anestésica é desafiador, tanto pela insegurança gerada pelos elevados índices de alarmes falsos, quanto pela falta de estudos robustos com validação multicêntrica e tanto pela necessidade de equipamentos de monitoramento invasivo para alimentar os modelos mais precisos. Os modelos com mais estudos disponíveis são os baseados em análise de forma de onda de PAI — principalmente o HPI —, cujo uso pode estar relacionado à redução do tempo de hipotensão intraoperatória, mas não foi possível demonstrar consistentemente benefícios em desfechos clínicos duros ou excluir o papel do maior acompanhamento clínico proporcionado pelos protocolos de pesquisa como causa dos benefícios observados. Apesar do HPI se mostrar como o modelo mais estudado, ele apresenta importantes limitações, como baixo VPP e dependência de cateter arterial invasivo. Além disso, a maioria dos estudos foi realizada com amostras de centros únicos, sem análises a longo prazo e sem consenso sobre limiares de alarme otimizados para diferentes contextos cirúrgicos, tampouco há concordância sobre qual estratégia de intervenção deve ser adotada quando o algoritmo dispara um alerta. Ademais, estudos mostraram que os modelos de deep learning multimodais — que integram sinais de PAI, ECG e EEG — se

apresentam como alternativa promissora com AUROC superiores, porém a necessidade de equipamentos adicionais limita sua aplicabilidade universal. Portanto, os achados desta revisão reforçam a necessidade de mais ensaios clínicos randomizados, multicêntricos e de maior duração, que incluam tanto pacientes em cirurgias de alto risco quanto aqueles em procedimentos eletivos de médio porte. Tais estudos são fundamentais para estabelecer protocolos terapêuticos seguros, limiares de alerta padronizados e estratégias de intervenção baseadas em evidências. Até que novas evidências estejam disponíveis, recomenda-se integrar o uso criterioso dos algoritmos de IA como suporte à decisão clínica — e não como substitutos do julgamento anestésico — monitorando rigorosamente os desfechos e individualizando as intervenções conforme o perfil hemodinâmico de cada paciente.

REFERÊNCIAS

FARAJI, M. et al. Clinical performance of machine-learning algorithms to predict intraoperative hypotension: a meta-analysis. *BMC Surgery*, v. 26, art. 57, 2026. DOI: 10.1186/s12893-025-03412-8. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12822040/>. Acesso em: 23 maio 2026.

JO, Y.-Y. et al. Predicting intraoperative hypotension using deep learning with waveforms of arterial blood pressure, electroencephalogram, and electrocardiogram: retrospective study. *PLOS ONE*, v. 17, n. 8, art. e0272055, 2022. DOI: 10.1371/journal.pone.0272055. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9362925/>. Acesso em: 23 maio 2026.

LAI, C.-J. et al. Hypotension prediction index for prevention of intraoperative hypotension in patients undergoing general anesthesia: a randomized controlled trial. *Perioperative Medicine*, v. 13, art. 57, 2024. DOI: 10.1186/s13741-024-00414-7. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11180403/>. Acesso em: 23 maio 2026.

MOHAMMADI, I. et al. Predictive ability of hypotension prediction index and machine learning methods in intraoperative hypotension: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Translational Medicine*, v. 22, art. 725, 2024. DOI: 10.1186/s12967-024-05481-4. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11302102/>. Acesso em: 23 maio 2026.

MUKKAMALA, R. et al. Intraoperative hypotension prediction: current methods, controversies, and research outlook. *Anesthesia & Analgesia*, v. 141, n. 1, p. 61–73, 2025. DOI: 10.1213/ANE.0000000000007216. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12140563/>. Acesso em: 23 maio 2026.

RUNGE, J. et al. Hypotension Prediction Index and incidence of perioperative hypotension: a single-center propensity-score-matched analysis. *Journal of Clinical Medicine*, v. 12, n. 17, art. 5479, 2023. DOI: 10.3390/jcm12175479. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10488065/>. Acesso em: 23 maio 2026.

SHIM, J.-G. et al. Machine learning methods for the prediction of intraoperative hypotension with biosignal waveforms. *Medicina*, v. 61, n. 11, art. 2039, 2025. DOI: 10.3390/medicina61112039. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12654517/>. Acesso em: 23 maio 2026.

SHIRMOHAMADI, E. et al. Intraoperative hypotension prediction in cardiac and noncardiac procedures: is HPI truly worthwhile? A systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiology*, v. 25, art. 388, 2025. DOI: 10.1186/s12871-025-03250-4. Disponível em: <https://bmcanesthesiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12871-025-03250-4>. Acesso em: 23 maio 2026.

SIDIROPOULOU, T. et al. Prediction and prevention of intraoperative hypotension with the Hypotension Prediction Index: a narrative review. *Journal of Clinical Medicine*, v. 11, n. 19, art. 5551, 2022. DOI: 10.3390/jcm11195551. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9571689/>. Acesso em: 23 maio 2026.

ŠRIBAR, A. et al. Hypotension prediction index guided versus conventional goal directed therapy to reduce intraoperative hypotension during thoracic surgery: a randomized trial. *BMC Anesthesiology*, v. 23, 2023. DOI: 10.1186/s12871-023-02069-1. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10061960/>. Acesso em: 23 maio 2026.