

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL · UNIFOR · 17 DE ABRIL DE 2026

Imaging-based machine learning for the diagnosis and prognosis of uveal melanoma: a systematic review and meta analysis

Por Andrés Bravo-González, Pablo Domínguez-Ruiz, Maria J. Buitrago-Gonzalez, Bernardo Bach, Zhi Chen, Daniel Suarez, Mateus Pimenta Arruda, Rian Vilar Lima, Giulia Steuernagel Del Valle, Mariana Tosato Zinher, Celso Menezes Filho e Pedro F. Salazar

Fonte: OpenAlex · Unifor · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO	APLICABILIDADE	POTENCIAL ECONÔMICO	MATURIDADE
8/10	7/10	8/10	Média

Meta-análise abrangente sobre a aplicação de IA (ML/DL) no diagnóstico de melanoma uveal, confirmando alta precisão diagnóstica, especialmente com imagens de ultrassom, e identificando a necessidade de validação externa para adoção clínica.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Plataforma SaaS de triagem oftalmológica focada em alta especificidade, utilizando algoritmos multimodais (fundus + ultrassom) para servir clínicas e oftalmologistas como 'segunda opinião' diagnóstica.

Aplicações práticas

Desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão clínica (CDSS) para triagem automática em oftalmologia e estratificação de risco de metástase para personalização do tratamento.

Potencial de mercado

Alto. Crescente demanda por ferramentas de precisão em diagnóstico por imagem médico. Potencial para redução de custos com biópsias desnecessárias e antecipação de tratamentos caros.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

Dificuldade em diferenciar melanoma uveal de lesões benignas, alto risco de metástase em diagnósticos tardios e falta de ferramentas de IA generalizáveis para rotina clínica.

Metodologia

Revisão sistemática e meta-análise de estudos publicados entre 2012 e 2025, avaliando sensibilidade, especificidade e curvas ROC de modelos de ML/DL aplicados a imagens de fundo de olho e ultrassom.

Principais descobertas

Modelos baseados em Deep Learning demonstram alta performance (especificidade de 94,28%). Ultrassom apresentou superioridade em especificidade (98,16%) comparado à fundoscopia. Modelos prognósticos são promissores mas carecem de validação externa.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Implementação de algoritmos de triagem no SUS para priorizar casos de alto risco em filas de espera por exames especializados, melhorando o prognóstico via diagnóstico precoce.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Parceria entre a UNIFOR e fabricantes de equipamentos de imagem médica para validar e incorporar esses algoritmos diretamente em hardwares de ultrassom ou retinógrafos.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

4 direções estratégicas identificadas

PRODUTO CORPORATIVO · IMPACTO ALTO · HEALTHTECH

Módulo de IA para Ultrassom Ocular

Incorporação de algoritmos de alta especificidade em equipamentos de ultrassom existentes para detecção em tempo real de malignidade.

STARTUP · IMPACTO MÉDIO · STARTUPS & INOVAÇÃO

Oculytics AI

Startup focada em software preditivo para oncologia ocular, oferecendo análise de prognóstico de metástase baseada em padrões de imagem identificados por IA.

PARCERIA · IMPACTO ALTO · CIÊNCIA DE DADOS

Validação Clínica de Modelos Fundação

Cooperação técnico-científica entre UNIFOR e hospitais para treinar e validar modelos de fundação (RETFound/VisionFM) em dados da população local.

POLÍTICA PÚBLICA · IMPACTO MÉDIO · GOVTECH

Telediagnóstico em Oftalmologia

Uso de IA para filtrar exames de fundo de olho enviados via telemedicina da atenção básica, identificando suspeitas de melanoma para referência urgente.

ABSTRACT ORIGINAL

BACKGROUND: Uveal melanoma (UM) is the most common primary intraocular malignancy in adults and carries a high risk of metastasis and poor prognosis when diagnosed late. Distinguishing UM from benign choroidal nevi remains challenging due to overlapping imaging features. Machine learning (ML) and deep learning (DL) models have emerged as tools to improve diagnostic accuracy and prognostic prediction, but their generalizability and clinical readiness remain uncertain. **PURPOSE:** To systematically review and meta-analyze the performance of published ML/DL algorithms using ocular imaging on detecting and predicting prognosis of UM. **METHODS:** A systematic search was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, Embase, and IEEE Xplore up to June 2025 for English and Spanish publications since 2012. Eligible studies applied ML/DL to ocular imaging and reported diagnostic or prognostic accuracy metrics. Risk of bias was assessed with QUADAS-2, and pooled sensitivity and specificity were estimated using a random-effects meta-analysis, with subgroup analyses by imaging modality (fundus-only vs. ultrasound-based imaging, with or without an additional modality). For diagnostic studies, we additionally synthesized positive and negative likelihood ratios along with diagnostic odds ratios (DOR) and conducted hierarchical summary receiver operating characteristic curve (ROC) (Reitsma) analyses stratified by modality. **RESULTS:** Thirteen diagnostic studies met inclusion criteria. Most were retrospective, single-center cohorts using fundus photography, while others employed ultrasound (US), ultra-widefield (UWF), OCT, or autofluorescence. Ten studies used DL architectures, mainly convolutional neural networks or transformers. Pooled sensitivity was 78.21% and specificity 94.28%. Fundus-based models showed lower specificity (87.70%) than US-based models (98.16%). AUC values were consistently high; HSROC AUC was 0.912 (fundus) vs. 0.984 (US; Delta 0.073, bootstrap 95% CI - 0.101 to 0.143). The largest modality separation was for LR+ (39.48 vs. 6.16; $p < 0.0001$), with higher DOR for US (225.25 vs. 27.89; $p = 0.0102$), while LR - was similar. Six prognostic studies (up to 4,600 patients) reported AUCs between 0.71 and 0.92 for predicting metastasis, survival, or enucleation, though all lacked external validation. **CONCLUSIONS:** ML and DL models show strong diagnostic performance and emerging prognostic value in UM. However, reproducibility and real-world validation remain limited. New foundation models such as RETFound and VisionFM, trained on large multimodal eye datasets, could improve standardization, explainability, and cross-center generalization. As these models evolve, they have the potential to become essential tools in clinical practice, accelerating the translation of AI into reliable, routine implementation in ocular oncology. (PROSPERO ID: CRD42025643874).

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Inteligência artificial no diagnóstico e prognóstico de melanoma ocular

O cenário atual

O melanoma uveal (UM) é o tipo mais comum de câncer primário que ocorre dentro do olho em adultos. Essa doença é perigosa porque apresenta um alto risco de metástase (espalhamento para outras partes do corpo) e tem um prognóstico ruim se for diagnosticada tardiamente. Um grande desafio para os médicos é distinguir o UM de nevos coroidianos benignos, que são manchas inofensivas no olho, pois as características das imagens dos dois são muito parecidas. Modelos de aprendizado de máquina (Machine Learning - ML) e aprendizado profundo (Deep Learning - DL) surgiram como ferramentas para melhorar a precisão do diagnóstico e a previsão do prognóstico, mas ainda não se sabe ao certo se esses sistemas funcionam bem na prática geral e se estão prontos para o uso clínico.

O que os pesquisadores fizeram

Os pesquisadores realizaram uma revisão sistemática e uma meta-análise. Isso significa que eles buscaram e reuniram resultados de vários estudos já publicados para tirar conclusões mais robustas. A equipe buscou dados em bases de dados científicas como PubMed, Scopus, Web of Science, Embase e IEEE Xplore, considerando publicações em inglês e espanhol de 2012 até junho de 2025. O objetivo era avaliar o desempenho de algoritmos de ML e DL que utilizam imagens oculares para detectar e prever a evolução do UM. Eles também avaliaram o

risco de viés desses estudos e combinaram estatísticas de sensibilidade e especificidade.

Como funciona na prática

A análise incluiu estudos que aplicam inteligência artificial em diferentes tipos de exames de imagem do olho, como fotografia de fundo, ultrassom, OCT e autofluorescência. A maior parte dos estudos diagnósticos analisados utilizava fotografias do fundo do olho, sendo a maioria retrospectiva (análise de dados passados) e de centros únicos. Dez dos estudos usaram arquiteturas de Deep Learning, especificamente redes neurais convolucionais ou transformers. Para o prognóstico, os modelos tentam prever resultados como metástase, sobrevida ou a necessidade de remoção do olho (enucleação).

Resultados e evidência

Treze estudos diagnósticos foram incluídos na análise. Os resultados combinados mostraram que os modelos têm uma sensibilidade de 78,21% (capacidade de detectar a doença) e uma especificidade de 94,28% (capacidade de descartar a doença quando ela não existe).

Ao comparar os tipos de imagem, os modelos baseados em ultrassom tiveram um desempenho melhor na especificidade (98,16%) do que os modelos baseados em fundo (87,70%). A acurácia geral (AUC) também foi alta: 0,912 para modelos de fundo e 0,984 para modelos de ultrassom. Para a previsão do prognóstico (seis estudos envolvendo até 4.600 pacientes), os valores de AUC variaram entre 0,71 e 0,92. No entanto, o paper não detalha que todos esses estudos prognósticos careciam de validação externa.

Implicações práticas

Os modelos de Machine Learning e Deep Learning demonstram um forte desempenho diagnóstico e um valor prognóstico emergente para o melanoma uveal. O estudo sugere que, à medida que esses modelos evoluem, eles têm o potencial de se tornar ferramentas essenciais na prática clínica, acelerando o uso da inteligência artificial de forma rotineira e confiável na oncologia ocular. Novos modelos de base, como o RETFound e o VisionFM, treinados em grandes conjuntos de dados multimodais de olhos, poderiam melhorar a padronização e a capacidade de explicação dos resultados.

Limitações e próximos passos

Apesar dos resultados promissores, a reprodutibilidade e a validação no mundo real ainda são limitadas. Os estudos de prognóstico analisados não possuíam validação externa, o que é um obstáculo para confirmar que os resultados se mantêm em diferentes populações e hospitais. O paper não detalha soluções imediatas para isso além da sugestão de uso de novos modelos de base e grandes bancos de dados para melhorar a generalização entre centros.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo foi conduzido por um grupo de autores vinculado à UNIFOR (Universidade de Fortaleza). Os pesquisadores listados são: Andrés Bravo-González, Pablo Domínguez-Ruiz, Maria J. Buitrago-Gonzalez, Bernardo Bach, Zhi Chen, Daniel Suarez, Mateus Pimenta Arruda, Rian Vilar Lima, Giulia Steuernagel Del Valle, Mariana Tosato Zinher, Celso Menezes Filho e Pedro F. Salazar. O paper não detalha a formação acadêmica específica, títulos ou trajetória profissional individual de cada autor, além de seus papéis na realização desta revisão sistemática e meta-análise.

PALAVRAS-CHAVE

Generalizability theory · Receiver operating characteristic · Meta-analysis · Diagnostic odds ratio · Convolutional neural network · Malignancy · Medical imaging · Likelihood ratios in diagnostic testing