Top 1 da Ecografia Vascular em 2025: Da Anatomia à Autonomia – Inteligência Artificial e Ultrassonografia das Carótidas

Top 1 Vascular Ultrasound in 2025: From Anatomy to Autonomy – Artificial Intelligence and Carotid Ultrasound

Simone Nascimento dos Santos,[1] Gustavo Dannenhauer[2]
ECCOS,[1] Brasília, DF – Brasil
Clínica Biocor,[2] Caxias do Sul, RS – Brasil

Introdução

Nos últimos anos, estamos vivenciando um avanço universal e sem precedentes da inteligência artificial (IA) em diversos cenários médicos, com impacto particularmente relevante no diagnóstico por imagem e, em especial, na ultrassonografia.

O exame ultrassonográfico é um método amplamente disponível, de baixo custo, realizado em tempo real, com aquisição rápida de imagens e sem exposição à radiação ionizante. Apesar dessas vantagens, a ultrassonografia permanece limitada por sua natureza operador e equipamento dependente, o que contribui para significativa variabilidade interobservador e interinstitucional, além de dificultar sua padronização em larga escala.[1,2]

Neste editorial da *ABC Imagem Cardiovascular*, discutimos os achados revolucionários do sistema UltraBot, descritos no artigo "Towards expert-level autonomous carotid ultrasonography with large-scale learning-based robotic system", publicado por Jiang et al. na *Nature Communications* em 2025.[3] O estudo ilustra uma mudança estrutural no campo, ao demonstrar a transição de sistemas robóticos baseados em regras rígidas para um modelo de autonomia completa, impulsionado por aprendizado profundo (*deep learning*) e aprendizado por imitação (*imitation learning*) em larga escala (Figura 1).

Discussão

A realização do exame ultrassonográfico depende, tradicionalmente, da operação manual do profissional. Esse processo exige não apenas treinamento técnico prolongado, mas também uma elevada capacidade de coordenação motora e visual, associada ao raciocínio clínico, para definir, em tempo real, o posicionamento ideal do transdutor. Cada exame requer estratégias individualizadas, ajustadas às variações anatômicas e clínicas do paciente.

Palavras-chave

Doenças das Artérias Carótidas; Ultrassonografia; Inteligência Artificial.

Correspondência: Simone Nascimento dos Santos •
ECCOS Diagnóstico Cardiovascular. SMDB Conj 16 Lote 5 Casa A. CEP: 71680-160. Brasília, DF – Brasil
E-mail: simone.eccos@gmail.com

DOI: https://doi.org/10.36660/abcimg.20260001

Essa forte dependência da experiência do operador resulta em maior variabilidade entre exames, comprometendo a padronização dos resultados e podendo impactar negativamente a acurácia diagnóstica. Em contrapartida, o avanço dos robôs médicos de alto grau de autonomia surge como uma solução promissora, ao reduzir a influência direta do examinador humano e promover maior uniformidade no processo diagnóstico.

Nesse contexto, o estudo de Jiang et al.[3] teve como objetivo desenvolver e validar um robô de ultrassonografia vascular totalmente autônomo, capaz de operar em nível comparável ao de especialistas humanos, que analisa dinamicamente os sinais de ultrassom coletados de pacientes, ajusta as trajetórias e posições da sonda em tempo real e realiza tarefas de escaneamento e medição em cenários clínicos reais. Os autores optaram pelo estudo ultrassonográfico das artérias carótidas devido à sua forte relevância clínica na detecção de placas ateromatosas e à associação com fatores de risco para doenças cardiovasculares, responsáveis pelas maiores taxas de mortalidade no mundo.[4,5]

O UltraBot se diferencia de abordagens anteriores por adotar um arcabouço de aprendizado por imitação em larga escala, treinado com base em exames reais realizados por especialistas.[6-8] Diferentemente de abordagens baseadas em regras pré-definidas ou em ambientes simulados, o sistema aprende simultaneamente anatomia, navegação e tomada de decisão durante a aquisição do exame, configurando um modelo verdadeiramente *end-to-end*, da percepção à ação, com elevada capacidade de generalização clínica. Os autores acreditam que o estudo não apenas destaca o potencial do sistema, mas também traça um caminho viável para preencher a lacuna entre a pesquisa teórica e a adoção clínica no mundo real.

Foram coletados dados em larga escala de exames de artérias carótidas realizados em indivíduos reais, compreendendo 247.297 pares de imagens de ultrassom e abrangendo uma ampla gama de variações estruturais de tecidos observadas no mundo real e de ações de adaptação de especialistas operadores.

A taxa de sucesso de escaneamento foi superior a 90% em uma população diversificada (idade: 19 a 70 anos; índice de massa corporal: 16,5 a 30,8; de ambos os sexos), confirmando seu forte desempenho de generalização em variações anatômicas, incluindo o escaneamento bem-sucedido de pacientes com placas.

O UltraBot controla o transdutor em seis graus de liberdade, ajustando continuamente sua trajetória com

base exclusivamente nos sinais visuais do ultrassom, em um processo que mimetiza a coordenação "mão–olho–cérebro" do médico. Além disso, o sistema realiza automaticamente a mensuração da espessura íntima-média e do diâmetro luminal, bem como a triagem de placas ateroscleróticas. É interessante ressaltar que o robô utiliza sensores de força e câmeras externas, o que assegura conforto e segurança ao paciente durante o procedimento.

Estudos anteriores também demonstraram o processamento automático da segmentação arterial, extraindo parâmetros de forma padronizada, rápida e reprodutível. He et al.[9] utilizaram uma base com mais de 3 mil imagens tridimensionais de artérias carótidas, treinando um modelo multitarefa para a segmentação automática da parede, detecção da placa e classificação de vulnerabilidade. A acurácia foi de 94%, com área sob a curva de 0,94, e redução de mais de 80% no tempo de análise, em comparação à revisão manual, demonstrando o funcionamento da IA no fluxo clínico real. Outro estudo relevante é um seguimento do banco de dados do Reino Unido — o UK Biobank — que reúne imagens, análises genéticas e dados clínicos, e permite correlacionar o fenótipo de placa com essas variáveis.[10]

Esses achados abrem caminho para uma avaliação de risco verdadeiramente integrada, em que o ultrassom de carótidas, por exemplo, integra-se a modelos preditivos baseados em IA multimodal.

O aprendizado profundo está quebrando as barreiras de custo e de complexidade do hardware.

Tradicionalmente, para medir a rigidez arterial e características morfológicas da placa, é necessária a utilização de equipamentos de alta resolução, elastógrafos dedicados, agentes realçadores ultrassonográficos e transdutores tridimensionais. Com o avanço dos algoritmos de aprendizado profundo, já é possível extrair essas informações diretamente da imagem bidimensional convencional.

Um exemplo muito interessante é o conceito da elastografia virtual. A IA analisa padrões sutis de movimento e dispersão de pixels no vídeo de ultrassom convencional e estima a rigidez tecidual de forma não invasiva, sem necessidade de hardware dedicado de elastografia. Em estudo recente, Tang et al.[11] mostraram correlação de 0,85 entre a técnica virtual e a elastografia real, com erro médio $< 10\%$. Podemos inferir que estamos perto de transformar qualquer aparelho de ultrassom em uma ferramenta capaz de medir rigidez arterial com base em IA.

Os modelos de aprendizado profundo modernos conseguem rodar em hardware simples, como laptops clínicos, porque foram otimizados para baixo consumo computacional. Isso permite levar a análise avançada de imagens para o consultório — e até para exames portáteis.

Talvez já façamos parte de uma era em que o aprendizado profundo possa democratizar a alta tecnologia, em que a IA não avalia apenas uma variável, mas entende como cada "camada" se relaciona com o risco de eventos vasculares. Trata-se de um conceito novo, chamado "*imaging at scale*", que pode ser o próximo passo para revolucionar a prevenção cardiovascular.

Conclusão

O UltraBot sinaliza que a ultrassonografia autônoma de alta precisão deixou de ser uma promessa distante para se tornar uma realidade técnica viável. Para a comunidade da imagem cardiovascular, esse avanço sugere um futuro em que a tecnologia não substitui o médico, mas amplia sua expertise, elevando o padrão de cuidado por meio da padronização, da reprodutibilidade e da democratização do acesso a diagnósticos precisos.

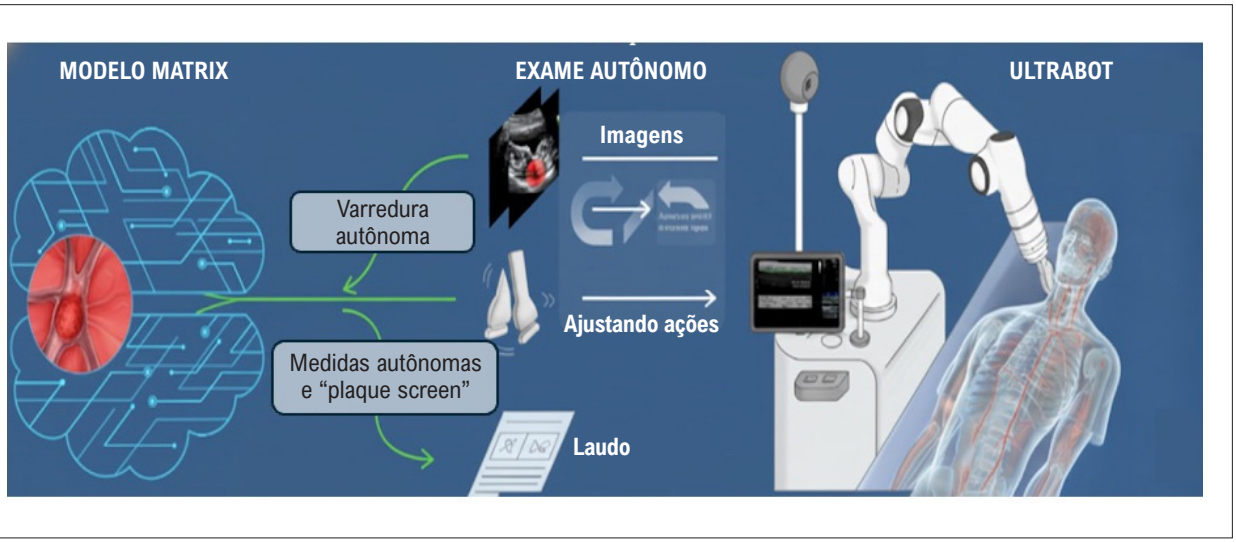


Figura 1 – *Exame ultrassonográfico robótico autônomo. Por meio de um modelo baseado em aprendizado profundo e aprendizado por imitação, o sistema robótico realiza automaticamente a varredura vascular, as medições biométricas e a triagem de placas ateroscleróticas, gerando o laudo e demonstrando potencial aplicabilidade clínica. Fonte: Adaptado de Jiang et al.[3]*

Referências

1. Won D, Walker J, Horowitz R, Bharadwaj S, Carlton E, Gabriel H. Sound the Alarm: The Sonographer Shortage Is Echoing Across Healthcare. J Ultrasound Med. 2024;43(7):1289-301. doi: 10.1002/jum.16453.
2. Shah S, Bellows BA, Adedipe AA, Totten JE, Backlund BH, Sajed D. Perceived Barriers in the Use of Ultrasound in Developing Countries. Crit Ultrasound J. 2015;7(1):28. doi: 10.1186/s13089-015-0028-2.
3. Jiang H, Zhao A, Yang Q, Yan X, Wang T, Wang Y, et al. Towards Expert-Level Autonomous Carotid Ultrasonography with Large-Scale Learning-Based Robotic System. Nat Commun. 2025;16(1):7893. doi: 10.1038/s41467-025-62865-w.
4. Song P, Fang Z, Wang H, Cai Y, Rahimi K, Zhu Y, et al. Global and Regional Prevalence, Burden, and Risk Factors for Carotid Atherosclerosis: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Modelling Study. Lancet Glob Health. 2020;8(5):e721-e729. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30117-0.
5. Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks 2023 Collaborators. Global, Regional, and National Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors in 204 Countries and Territories, 1990-2023. J Am Coll Cardiol. 2025;86(22):2167-243. doi: 10.1016/j.jacc.2025.08.015.
6. Huang D, Bi Y, Navab N, Jiang Z. Motion Magnification in Robotic Sonography: Enabling Pulsation-Aware Artery Segmentation. arXiv. 2023; arXiv:2307.03698. doi: 10.48550/arXiv.2307.03698.
7. Yanwei H, Xiao W, Wang C, Liu H, Huang R, Sun Z. Towards Fully Autonomous Ultrasound Scanning Robot With Imitation Learning Based on Clinical Protocols. IEEE Robot Autom Lett. 2021;6(2):3671-8. doi: 10.1109/LRA.2021.3064283.
8. Huang Q, Gao B, Wang M. Robot-Assisted Autonomous Ultrasound Imaging for Carotid Artery. IEEE Trans Instrum Meas. 2024.73:1-9. doi: 10.1109/TIM.2024.3353836.
9. He L, Yang Z, Wang Y, Chen W, Diao L, Wang Y, et al. A Deep Learning Algorithm to Identify Carotid Plaques and Assess their Stability. Front Artif Intell. 2024;7:1321884. doi: 10.3389/frai.2024.1321884.
10. Omarov M, Zhang L, Jorshery SD, Malik R, Das B, Bellomo TR, et al. Automated Deep Learning-Based Detection of Early Atherosclerotic Plaques in Carotid Ultrasound Imaging. medRxiv. 2025:2024.10.17.24315675. doi: 10.1101/2024.10.17.24315675.
11. Tang X, Zhang L, He D, Hu B, Jia C, Gu S, et al. Automatic Generation and Risk Stratification of Carotid Plaque in Virtual Shear Wave Elastography Using a Generative Adversarial Network. Comput Med Imaging Graph. 2025;124:102600. doi: 10.1016/j.compmedimag.2025.102600.

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons