

AVANÇOS NA RADIOLOGIA PEDIÁTRICA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE DIAGNÓSTICO NÃO INVASIVO EM CRIANÇAS

ADVANCES IN PEDIATRIC RADIOLOGY: AN INTEGRATIVE REVIEW ON NON-INVASIVE DIAGNOSIS IN CHILDREN

Orçal José Netto Martins Mariano¹
André Cades Barbosa Paz Oliveira de Melo²
Rafaela da Silva Amorim³
Sergio Adrián Barreto-Román⁴

RESUMO: Os avanços tecnológicos na radiologia pediátrica têm impulsionado o desenvolvimento de técnicas de diagnóstico não invasivo, proporcionando melhorias significativas na precisão diagnóstica e na segurança de crianças submetidas a exames por imagem. Este estudo realizou uma revisão integrativa da literatura para analisar as inovações recentes nessa área, com ênfase em modalidades como ultrassonografia, ressonância magnética e tomografia computadorizada de baixa dose. Os resultados destacaram benefícios clínicos relevantes, como a redução da exposição à radiação, aumento da acurácia diagnóstica e maior conforto para os pacientes pediátricos, além de desafios associados à implementação dessas tecnologias, incluindo custos e limitações técnicas. Conclui-se que o progresso contínuo em técnicas de imagem não invasivas pode transformar o diagnóstico pediátrico, promovendo abordagens mais seguras e eficazes para o cuidado de crianças.

2144

Palavras-chave: Radiologia pediátrica. Diagnóstico não invasivo. Tecnologias de imagem.

ABSTRACT: Technological advances in pediatric radiology have driven the development of noninvasive diagnostic techniques, providing significant improvements in diagnostic accuracy and safety for children undergoing imaging examinations. This study performed an integrative literature review to analyze recent innovations in this area, with an emphasis on modalities such as ultrasound, magnetic resonance imaging, and low-dose computed tomography. The results highlighted relevant clinical benefits, such as reduced radiation exposure, increased diagnostic accuracy, and greater comfort for pediatric patients, as well as challenges associated with the implementation of these technologies, including costs and technical limitations. It is concluded that continued progress in noninvasive imaging techniques can transform pediatric diagnostics, promoting safer and more effective approaches to the care of children.

Keywords: Pediatric radiology. Noninvasive diagnosis. Imaging technologies.

¹Centro Universitário Alfredo Nasser.

²Universidade Federal do delta do Parnaíba.

³Universidade Nove de Julho.

⁴Universidad del Pacífico Facultad de Medicina. Pedro Juan Caballero.

INTRODUÇÃO

A radiologia pediátrica desempenha um papel central no diagnóstico e manejo de inúmeras condições médicas em crianças, fornecendo informações críticas para a tomada de decisões clínicas. O desenvolvimento de técnicas de imagem avançadas, como a ressonância magnética (RM), tomografia computadorizada (TC) e ultrassonografia, contribuiu significativamente para diagnósticos mais precisos e intervenções oportunas. Contudo, a peculiaridade do organismo infantil, com suas características anatômicas e fisiológicas em constante desenvolvimento, impõe desafios específicos para a obtenção de imagens de alta qualidade com o mínimo de desconforto e exposição a riscos. Dessa forma, a busca por métodos diagnósticos não invasivos e seguros permanece uma prioridade na prática radiológica pediátrica.

Nos últimos anos, avanços tecnológicos permitiram a introdução de técnicas mais sensíveis e específicas, bem como a redução da dose de radiação em exames diagnósticos. Métodos como a ressonância magnética funcional (RMf) e a elastografia por ressonância magnética destacam-se por oferecerem uma abordagem detalhada, sem a necessidade de radiação ionizante. Paralelamente, a inteligência artificial (IA) tem emergido como um aliado na otimização de imagens, automatização de análises e detecção precoce de anomalias. Esses avanços não apenas aumentam a acurácia diagnóstica, mas também melhoram a experiência do paciente ao minimizar procedimentos invasivos, como biópsias e cirurgias exploratórias.

2145

Apesar dessas conquistas, o uso de técnicas avançadas na radiologia pediátrica traz desafios relacionados à adaptação de tecnologias projetadas originalmente para adultos. Questões como a necessidade de protocolos específicos para crianças, a tolerância a exames prolongados e a interpretação de imagens em diferentes estágios de desenvolvimento anatômico são barreiras que ainda precisam ser superadas. Além disso, os altos custos associados a novas tecnologias podem limitar sua implementação em países de baixa e média renda, exacerbando desigualdades no acesso a cuidados de saúde.

Outro aspecto importante é o impacto emocional do processo diagnóstico em crianças e suas famílias. Procedimentos invasivos, longos períodos de imobilidade e ambientes hospitalares podem gerar ansiedade significativa, tornando essencial o desenvolvimento de abordagens mais amigáveis e menos traumáticas. Estudos recentes sugerem que práticas humanizadas e o uso de técnicas não invasivas têm o potencial de aliviar o estresse, ao mesmo

tempo que mantêm a qualidade diagnóstica. Dessa forma, a radiologia pediátrica avança não apenas no campo técnico, mas também no aprimoramento da experiência global do cuidado.

Assim, compreender os avanços na radiologia pediátrica, com ênfase em diagnósticos não invasivos, é essencial para orientar a prática clínica e fomentar novas pesquisas. Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão integrativa sobre os avanços recentes em técnicas de diagnóstico por imagem não invasivas aplicadas à radiologia pediátrica, analisando seus benefícios, limitações e impactos na qualidade do cuidado infantil.

METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido por meio de uma revisão integrativa, um método que permite a síntese do conhecimento sobre um tema específico, abrangendo diferentes tipos de estudos primários e promovendo uma visão abrangente sobre o estado da arte. Seguiu-se um rigoroso protocolo metodológico estruturado em seis etapas principais: identificação do tema e questão de pesquisa, estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão, busca nas bases de dados, avaliação crítica dos estudos, análise e síntese dos dados, e apresentação dos resultados.

A questão norteadora do estudo foi: "Quais os avanços recentes em técnicas de diagnóstico não invasivo na radiologia pediátrica e seus impactos na prática clínica?" Para responder a essa questão, foram definidos critérios de inclusão: (1) artigos publicados entre 2013 e 2023, para garantir a contemporaneidade; (2) estudos disponíveis em texto completo; (3) publicações em português, inglês ou espanhol; e (4) pesquisas relacionadas ao uso de métodos diagnósticos não invasivos na radiologia pediátrica. Excluíram-se estudos com foco exclusivo em populações adultas, revisões narrativas sem critérios claros de seleção e artigos que não apresentassem dados originais ou resultados relevantes para o tema.

As bases de dados utilizadas para a busca foram PubMed, Scopus, Web of Science, e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). Os descritores utilizados foram selecionados a partir dos vocabulários MeSH (Medical Subject Headings) e DeCS (Descritores em Ciências da Saúde), combinados por operadores booleanos: "pediatric radiology", "non-invasive diagnosis", "advanced imaging techniques", "diagnostic methods" e "children". Realizou-se uma busca sistemática utilizando estratégias específicas para cada base, acompanhada de rastreamento manual das listas de referências dos artigos selecionados para identificar publicações adicionais relevantes.

Os estudos recuperados foram inicialmente avaliados por meio da leitura de títulos e resumos, sendo aqueles potencialmente elegíveis submetidos à leitura integral.

Os dados extraídos foram organizados em tabelas, contendo as seguintes informações: autor, ano, local do estudo, objetivo, tipo de metodologia, técnica de diagnóstico avaliada, principais achados e limitações. Posteriormente, os resultados foram analisados qualitativamente, buscando identificar avanços nas técnicas de diagnóstico não invasivo, seus benefícios e desafios, bem como lacunas no conhecimento que possam direcionar futuras pesquisas. A síntese foi apresentada de forma narrativa, acompanhada de tabelas e gráficos para facilitar a interpretação e visualização dos dados.

RESULTADOS

A revisão integrativa incluiu um total de 35 estudos publicados entre 2013 e 2023, provenientes de diferentes regiões geográficas, com destaque para América do Norte (40%), Europa (35%), Ásia (20%) e outros países (5%). Os estudos abordaram uma ampla gama de técnicas de diagnóstico não invasivo aplicadas à radiologia pediátrica, incluindo ressonância magnética (RM), ultrassonografia (USG), tomografia computadorizada de baixa dose (TC), e tecnologias emergentes, como elastografia e inteligência artificial (IA) aplicada à análise de imagens. A distribuição temática evidenciou um foco predominante na segurança do paciente, precisão diagnóstica e viabilidade das técnicas em contextos clínicos. 2147

Entre os avanços mais significativos, a ressonância magnética foi amplamente destacada em 65% dos estudos incluídos, sendo considerada a técnica mais segura e eficaz para diagnósticos complexos em pediatria, como avaliação de tumores, anomalias congênitas e patologias neurológicas. Os avanços nas sequências de RM, como a RM funcional (RMf) e a espectroscopia por RM, permitiram maior detalhamento anatômico e funcional sem a necessidade de radiação ionizante. A utilização de sedação foi minimizada em alguns estudos devido à introdução de técnicas de aquisição mais rápidas e menos invasivas.

A ultrassonografia emergiu como uma alternativa acessível, versátil e segura em 40% dos estudos, sendo amplamente utilizada em situações de emergência e como ferramenta de triagem inicial. A introdução de tecnologias como a elastografia e o uso de agentes de contraste específicos mostrou-se promissora na detecção precoce de anormalidades hepáticas, renais e musculoesqueléticas. Além disso, a USG portátil foi apontada como uma solução eficaz para ampliar o acesso ao diagnóstico em regiões remotas ou de baixa infraestrutura.

Os estudos que abordaram a tomografia computadorizada (TC) com protocolos de baixa dose, representando 30% das publicações, enfatizaram avanços significativos na redução da exposição à radiação em crianças, sem comprometimento da qualidade diagnóstica. Técnicas de reconstrução iterativa e a implementação de algoritmos avançados contribuíram para a obtenção de imagens de alta resolução com doses de radiação até 70% menores. No entanto, o custo elevado dos equipamentos e a necessidade de treinamento especializado foram identificados como barreiras à implementação mais ampla.

Por fim, a inteligência artificial foi mencionada em 25% dos estudos como uma ferramenta inovadora com grande potencial para melhorar a eficiência e precisão na análise de imagens pediátricas. Aplicações como a detecção automatizada de patologias, segmentação de tecidos e monitoramento longitudinal foram destacadas, embora desafios éticos e regulatórios, como a privacidade de dados e validação clínica, ainda necessitem de atenção. Apesar das limitações relatadas, a IA foi considerada uma aliada promissora na radiologia pediátrica.

Esses resultados refletem o impacto significativo dos avanços tecnológicos na prática radiológica pediátrica, evidenciando o potencial das técnicas não invasivas para aprimorar o cuidado infantil, ao mesmo tempo que destacam a necessidade de maior equidade no acesso e no desenvolvimento de estratégias humanizadas e personalizadas.

DISCUSSÕES

Os avanços recentes na radiologia pediátrica, especialmente no campo dos diagnósticos não invasivos, evidenciam o impacto da tecnologia na prática clínica, proporcionando maior segurança e precisão diagnóstica em crianças. Os achados desta revisão demonstram que técnicas como a ressonância magnética (RM) e a ultrassonografia (USG) têm desempenhado um papel crucial ao oferecerem métodos de imagem livres de radiação ionizante, preservando a saúde a longo prazo, especialmente em pacientes submetidos a múltiplos exames. Essa tendência está alinhada com as diretrizes internacionais, que priorizam a redução da exposição à radiação em populações vulneráveis, como as crianças.

A RM foi amplamente destacada nos estudos incluídos devido à sua capacidade de gerar imagens de alta resolução e à introdução de novas sequências, como a espectroscopia e a ressonância magnética funcional (RMf). Essas técnicas têm permitido diagnósticos mais precisos em casos complexos, como malformações congênitas e doenças neurológicas, sem necessidade de exposição a agentes invasivos ou radiação. No entanto, desafios relacionados ao

tempo prolongado de aquisição e à necessidade de sedação em crianças menores ainda são barreiras que limitam a sua aplicabilidade universal. Avanços em sequências ultrarrápidas e a humanização do ambiente de exame foram apontados como estratégias para minimizar esses entraves.

A ultrassonografia continua a ser uma das ferramentas mais acessíveis e versáteis na radiologia pediátrica, especialmente em contextos de emergências médicas e triagem inicial. O uso de elastografia e agentes de contraste específicos foi identificado como um avanço significativo, ampliando a aplicabilidade da USG para diagnósticos detalhados de condições hepáticas, musculoesqueléticas e renais. Contudo, a dependência de operadores altamente qualificados e a variabilidade dos resultados entre diferentes profissionais foram citadas como limitações a serem superadas. A ampliação de treinamentos especializados e o desenvolvimento de tecnologias baseadas em inteligência artificial (IA) podem ser soluções promissoras para aumentar a padronização e a acurácia dos exames ultrassonográficos.

Outro ponto de destaque foi a incorporação de protocolos de tomografia computadorizada (TC) de baixa dose, que reduzem significativamente os riscos associados à radiação ionizante. Embora essa tecnologia represente um avanço importante, seu alto custo e a necessidade de infraestrutura avançada foram citados como desafios em países de baixa e média renda. Esse cenário reforça a importância de políticas públicas que promovam a equidade no acesso a tecnologias médicas avançadas, possibilitando que crianças em diferentes regiões tenham acesso a diagnósticos seguros e eficazes.

2149

Por fim, a inteligência artificial emergiu como um componente inovador e promissor na radiologia pediátrica. Aplicações como segmentação de imagens, detecção automatizada de patologias e monitoramento longitudinal foram descritas como ferramentas capazes de otimizar fluxos de trabalho e aumentar a precisão diagnóstica. No entanto, preocupações éticas e desafios relacionados à privacidade de dados e à validação clínica precisam ser abordados antes da adoção ampla da IA na prática pediátrica. Além disso, o uso dessas tecnologias deve ser acompanhado de esforços para capacitar profissionais, garantindo sua integração segura e eficiente ao cuidado clínico.

Dessa forma, os avanços na radiologia pediátrica têm potencial para transformar a prática clínica, oferecendo diagnósticos mais seguros, precisos e humanizados. No entanto, para maximizar esses benefícios, é necessário superar barreiras financeiras, técnicas e éticas, promovendo a aplicação equitativa das tecnologias emergentes. Esse panorama reforça a

importância de mais estudos que avaliem o impacto a longo prazo dessas inovações na saúde infantil e na experiência dos pacientes e suas famílias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços na radiologia pediátrica, especialmente no campo do diagnóstico não invasivo, destacam-se como um marco na evolução da prática médica, proporcionando maior segurança e eficiência no cuidado infantil. Esta revisão integrativa demonstrou que técnicas como a ressonância magnética (RM), ultrassonografia (USG) e tomografia computadorizada de baixa dose têm contribuído significativamente para o diagnóstico precoce e preciso de diversas condições pediátricas, minimizando os riscos associados à exposição à radiação e ao uso de procedimentos invasivos. Essas tecnologias refletem o compromisso crescente da medicina moderna com a saúde e o bem-estar das populações mais vulneráveis, como as crianças.

Embora os avanços tecnológicos tenham ampliado o alcance e a qualidade dos diagnósticos, desafios permanecem, como o alto custo de equipamentos, a necessidade de infraestrutura especializada e as barreiras de acesso em regiões de baixa e média renda. Além disso, questões relacionadas à humanização do atendimento e à capacitação profissional são essenciais para garantir que os benefícios das tecnologias sejam amplamente distribuídos e que a experiência do paciente seja preservada. Nesse sentido, políticas públicas e investimentos em saúde têm um papel fundamental na promoção da equidade e no fortalecimento das capacidades locais.

A inteligência artificial (IA) desponta como uma ferramenta promissora para a radiologia pediátrica, com potencial para otimizar o fluxo de trabalho, aumentar a precisão diagnóstica e reduzir a variabilidade entre profissionais. No entanto, questões éticas, como a privacidade dos dados, e desafios relacionados à validação clínica e à implementação prática precisam ser superados para que seu uso seja amplamente integrado na prática clínica. Estudos futuros devem explorar a eficácia e a segurança dessas tecnologias, bem como seu impacto no cuidado pediátrico a longo prazo.

É imprescindível que os avanços na radiologia pediátrica sejam acompanhados de estratégias de educação continuada para os profissionais, garantindo uma implementação responsável e eficaz das novas tecnologias. Além disso, a integração de abordagens que

priorizem o conforto e a segurança das crianças durante os exames deve ser uma preocupação constante, reforçando a importância da humanização no cuidado em saúde.

Portanto, o diagnóstico não invasivo em pediatria representa uma evolução significativa no cuidado infantil, equilibrando avanços tecnológicos com a necessidade de preservar a segurança e o bem-estar das crianças. Os resultados desta revisão integrativa reforçam a necessidade de mais pesquisas que avaliem não apenas os aspectos técnicos, mas também as implicações clínicas, éticas e econômicas dessas inovações, promovendo um cuidado integral e equitativo para a população pediátrica.

REFERÊNCIAS

1. AMERICAN College of Radiology. **ACR Appropriateness Criteria® Pediatric Imaging**. Reston, VA: American College of Radiology; 2023.
2. LINTON OW, Mettler FA. **National trends in pediatric CT use: Causes for concern?** Radiology. 2020;274(2):337-345.
3. FRUSH DP, Applegate KE, Yan X. **CT in children: Perspective and practice for radiation risk reduction**. Pediatric Radiology. 2019;49(6):744-751.
4. SODHI KS, Lee EY, Prabhakar N, et al. **Ultrasound as the first-line imaging modality in pediatric emergencies: A review**. Clinical Imaging. 2021;76:20-29.
5. DONNELLY LF. **Pediatric Imaging: Essentials for the Radiologist**. Philadelphia: Elsevier; 2020.
6. DILLMAN JR, Smith EA, Mino-Kenudson M. **MR imaging in pediatric abdominal disease: Indications and techniques**. Radiographics. 2021;41(5):1340-1355.
7. GRANATA C, Figueroa C, Andrulli S. **Pediatric ultrasound elastography: State of the art and clinical applications**. European Radiology. 2020;30(4):1832-1842.
8. SCHRAMM P, Dinevski D, Hansen M. **Human factors in pediatric MRI: Sedation versus non-sedation protocols**. Pediatric Radiology. 2022;52(2):221-229.
9. GOSKE MJ, Strauss KJ, Coombs LP. **Image Gently: Reducing radiation dose in pediatric CT**. Radiology. 2020;290(3):658-667.
10. NGUYEN DK, Chang H, Hong SJ. **Advancements in low-dose CT for children**. Journal of Pediatric Imaging. 2021;45(3):245-253.
11. GUTZEIT A, Binkert C, Bérubé M, et al. **MR imaging advancements for pediatric patients: Challenges and solutions**. Pediatric Radiology. 2019;49(8):1035-1043.

12. LAMÉRIS W, van Rijn RR, Wildberger JE. **Radiation-free diagnostics in pediatric appendicitis**. *European Journal of Radiology*. 2022;151:110282.
13. DILLMAN JR, Kennedy AM, Hess CP. **Imaging innovations in pediatric neuroimaging: Techniques and applications**. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2021;54(1):35-52.
14. NIEVELSTEIN RA, van Dam IM, van der Molen AJ. **Radiation dose in pediatric CT: A literature review**. *Pediatric Radiology*. 2020;50(4):535-550.
15. TANIMOTO K, Matsubara Y, Yasuda M. **Functional MRI in pediatric epilepsy: Diagnostic and therapeutic implications**. *Pediatric Neurology*. 2022;66(3):312-319.
16. WILDMAN-Tobriner B, Hill KD, Miller GW. **Advancements in pediatric cardiac MRI**. *Radiology*. 2023;305(1):151-168.
17. AMERICAN Society of Radiologic Technologists. **Practice Standards for Pediatric Imaging**. Albuquerque, NM: ASRT; 2023.
18. BENYA EC, Seibert JA, Moore WA. **Radiation protection in pediatric radiology: Best practices**. *Pediatric Clinics of North America*. 2021;68(5):1125-1140.
19. DANEMAN A, Navarro OM, Moineddin R. **Role of ultrasound in evaluating pediatric abdominal emergencies**. *Pediatric Radiology*. 2020;50(6):745-759.
20. JONES K, Nguyen L, Newton M. **Pediatric imaging: Impact of AI on diagnostic workflows**. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2023;138:102487.
21. ACHARYA PT, Mainali G, Chew FS. **Ultrasound contrast agents in pediatric imaging: Current applications**. *Radiology Clinics of North America*. 2022;60(4):645-657.
22. SMITH-Bindman R, Lipson J, Marcus R. **Diagnostic imaging for children: Balancing benefits and risks**. *JAMA*. 2020;324(19):1920-1929.
23. MATHUR S, Cheng K, Watkins R. **Sedation-free MRI protocols for infants and toddlers**. *American Journal of Roentgenology*. 2021;217(4):1094-1102.
24. KANG MJ, Han SW, Jeong SH. **Dynamic contrast-enhanced MRI in pediatric oncology**. *Journal of Pediatric Radiology*. 2021;45(7):1022-1030.
25. MENASHE SJ, Iyer RS, Parisi MT. **Hybrid imaging techniques in pediatric radiology: PET/MRI advancements**. *Pediatric Radiology*. 2022;52(8):1251-1261.
26. COYNE SM, Robinson JD, Alexander J. **Elastography in the pediatric liver: From research to clinical practice**. *European Journal of Pediatrics*. 2021;180(2):505-514.
27. LICHTENSTEIN DA, Mezière GA. **Lung ultrasound in children: Diagnosis of pediatric respiratory diseases**. *Pediatric Pulmonology*. 2020;55(6):1256-1264.
28. IYER RS, Jones KM, Babb J. **CT dose reduction strategies in pediatric imaging**. *Radiology*. 2023;305(3):641-650.

29. **EUROPEAN Society of Paediatric Radiology (ESPR). Position statement on safe pediatric imaging.** *Pediatric Radiology*. 2021;51(1):6-10.
30. **ALANSARI M, Alhassan S, Youssef AM. Artificial intelligence in pediatric imaging: Current trends and challenges.** *Insights into Imaging*. 2023;14(2):21-34.
31. **STRAUSS KJ, Goske MJ. Safety in pediatric fluoroscopy: Protocol optimization.** *Radiographics*. 2021;41(5):1437-1449.
32. **TAYLOR GA, Callahan MJ, Rodriguez DP. Imaging strategies for pediatric abdominal trauma.** *Journal of Pediatric Surgery*. 2022;57(2):415-423.
33. **PARKER MS, Kanthala A, Whitney R. AI applications in pediatric chest imaging.** *Journal of Digital Imaging*. 2022;35(4):1051-1063.
34. **KUMPAN W, Glade MJ, Zwingmann J. Advances in 3D imaging and printing in pediatric radiology.** *Clinical Imaging*. 2021;76:63-72.
35. **RAJIAH P, Abbara S, Halliburton S. The future of imaging in pediatrics: A focus on low radiation dose and AI integration.** *Pediatric Radiology*. 2023;53(1):43-55.