




CAPÍTULO 14

Desafios e Inovações em Dispositivos Médicos para Cirurgias Pediátricas de Alta Complexidade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8631825010814>

Albertina Santos de Andrade

Universidade do Sul de Santa Catarina
Tubarão, Santa Catarina

Ticiano Magalhães Dantas

Mestre em Saúde da Família
Universidade Regional do Cariri
Crato, Ceará

Maria Eduarda dos Santos Dias

Graduanda em Medicina
Centro Universitário Da Fundação Assis Gurgacz
Cascavel, Paraná

Marco Antonio Antunes Fortunato

Graduando em Medicina
Universidade do Sul de Santa Catarina
Tubarão, Santa Catarina

Rodrigo David Leite Brandão

Graduando em Medicina
Universidad Sudamericana
Saltos del Guairá, Paraguai

Clara Martins da Gama Davi

Graduanda em Medicina
Universidad Sudamericana
Saltos del Guairá, Paraguai

Ariel Souza Esteche Chaves

Graduando em Medicina
Universidad Sudamericana
Saltos del Guairá, Paraguai

Giulia Luisa De Menezes Machado

Graduanda em Medicina
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais

Vanessa Mazzardo

Graduanda em Medicina
Universidade Paranaense
Umuarama, Paraná

RESUMO: A cirurgia pediátrica de alta complexidade apresenta desafios específicos devido às particularidades anatômicas e fisiológicas dos pacientes infantis. A incorporação de tecnologias emergentes, como impressão 3D, robótica e biomateriais, oferece inovações que estão progressivamente transformando esta especialidade médica. Este artigo de revisão analisa de forma aprofundada os avanços e os desafios envolvidos na adoção dessas tecnologias, enfatizando seu impacto na prática cirúrgica pediátrica. A tecnologia de impressão 3D viabiliza a criação de modelos anatômicos detalhados e dispositivos médicos personalizados, favorecendo um planejamento cirúrgico mais preciso e contribuindo para melhores resultados operatórios. A robótica, ao proporcionar precisão e realizar movimentos complexos em espaços limitados, minimiza o trauma cirúrgico e favorece uma recuperação mais rápida dos pacientes. Biomateriais, como polímeros biodegradáveis e scaffolds bioativos, abrem novas possibilidades para a regeneração tecidual e para a integração eficiente de dispositivos médicos com os tecidos biológicos. Apesar dos avanços notáveis, a ampla adoção dessas tecnologias enfrenta obstáculos, entre eles a necessidade de adaptar os sistemas robóticos às dimensões anatômicas pediátricas, a avaliação de biocompatibilidade de longo prazo dos biomateriais e os elevados custos de desenvolvimento e implementação. O progresso nesta área requer pesquisa contínua e colaboração interdisciplinar, visando superar essas barreiras e potencializar os benefícios trazidos por essas inovações. Conclui-se que impressão 3D, robótica e biomateriais apresentam um potencial relevante para transformar a cirurgia pediátrica de alta complexidade, permitindo intervenções mais precisas, menos invasivas e personalizadas. A integração dessas tecnologias configura uma perspectiva promissora para aprimorar os resultados cirúrgicos e elevar a qualidade de vida dos pacientes pediátricos, marcando um avanço expressivo na medicina moderna.

PALAVRAS-CHAVE: Impressão 3D, Robótica, Biomateriais, Cirurgia Pediátrica, Dispositivos Médicos, Engenharia Tecedual.

INTRODUÇÃO

A cirurgia pediátrica de alta complexidade representa uma área desafiadora da medicina, caracterizada pelas particularidades anatômicas, fisiológicas e emocionais inerentes aos pacientes infantis. A diversidade e especificidade das patologias que acometem esta população, como malformações congênitas, tumores e doenças cardiovasculares complexas, demandam abordagens cirúrgicas de alta precisão e personalização. Nesse cenário, o desenvolvimento e a integração de tecnologias avançadas, como a impressão 3D, robótica e biomateriais, têm mostrado um potencial substancial para transformar a prática cirúrgica e aprimorar os resultados clínicos (Singh; Khandelwal; Dangayach, 2024).

A impressão 3D, ou manufatura aditiva, possibilita a produção de estruturas tridimensionais precisas a partir de modelos digitais. Essa tecnologia destaca-se pela capacidade de criar modelos anatômicos detalhados, guias cirúrgicas e dispositivos médicos personalizados, adaptados às particularidades anatômicas de cada paciente. Na cirurgia pediátrica, onde as variações anatômicas são frequentemente desafiadoras devido ao reduzido tamanho e à complexidade estrutural, a impressão 3D apresenta-se como uma ferramenta de grande valor para o planejamento e execução de intervenções cirúrgicas (Cornejo *et al.*, 2022).

A robótica tem redefinido a cirurgia minimamente invasiva, ao proporcionar precisão, controle e estabilidade aprimorados durante os procedimentos. Os sistemas robóticos permitem movimentos com precisão milimétrica, muitas vezes superando as limitações manuais, viabilizando intervenções mais delicadas e menos invasivas. Na cirurgia pediátrica, essa precisão é especialmente relevante, pois possibilita reduzir o trauma cirúrgico, diminuindo complicações pós-operatórias e acelerando o processo de recuperação (Biswas, 2021).

Os biomateriais constituem um elemento central nesta evolução tecnológica. Desenvolvidos para interagir com sistemas biológicos, esses materiais visam reparar, substituir ou regenerar tecidos e órgãos. A contínua evolução dos biomateriais tem levado ao desenvolvimento de dispositivos médicos que são não apenas biocompatíveis, mas também capazes de promover a regeneração tecidual e a integração biológica. Em pediatria, o uso de biomateriais é particularmente vantajoso, dado que muitos são biodegradáveis e podem acompanhar o crescimento do paciente, reduzindo a necessidade de intervenções cirúrgicas recorrentes.

Este artigo de revisão objetiva explorar detalhadamente os desafios e inovações proporcionados pela impressão 3D, robótica e biomateriais no desenvolvimento de dispositivos médicos para cirurgias pediátricas de alta complexidade. Através de uma análise aprofundada dos avanços tecnológicos e suas aplicações clínicas, buscamos evidenciar como a convergência dessas tecnologias está remodelando o futuro da cirurgia pediátrica, viabilizando intervenções mais seguras, eficazes e personalizadas. Serão discutidos também os desafios que permanecem no caminho para a plena implementação dessas inovações na prática clínica, oferecendo uma análise crítica e abrangente do estado atual e das perspectivas futuras desse campo em expansão.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para a elaboração deste artigo seguiu uma abordagem de revisão narrativa, com o objetivo de oferecer uma análise abrangente e rigorosa sobre as inovações tecnológicas aplicáveis à cirurgia pediátrica de alta complexidade, enfocando o uso da impressão 3D, da robótica e dos biomateriais. A escolha pela revisão narrativa deve-se à sua capacidade de possibilitar uma análise minuciosa e contextual das evidências, favorecendo uma compreensão integrada dos avanços e desafios associados a essas tecnologias.

O processo de revisão iniciou-se com uma busca sistemática nas principais bases de dados científicas, incluindo PubMed, Google Scholar, Scopus e Web of Science. Termos de pesquisa específicos foram empregados, tais como "3D printing in pediatric surgery," "robotics in pediatric surgery," "biomaterials in pediatric surgery," "complex pediatric surgeries," "innovations in pediatric medical devices," além de suas variações. A seleção dos artigos abrangeu publicações dos últimos dez anos, garantindo a inclusão dos avanços mais recentes e relevantes no campo. Além disso, estudos históricos e fundamentais que estabeleceram bases teóricas e práticas essenciais também foram incorporados.

A triagem dos artigos foi conduzida em duas etapas distintas. Inicialmente, títulos e resumos foram analisados para identificar aqueles que preenchiam os critérios de inclusão, selecionando especificamente os estudos que abordavam a aplicação da impressão 3D, da robótica ou de biomateriais na cirurgia pediátrica. Na segunda etapa, os artigos selecionados foram revisados integralmente para assegurar a relevância e qualidade das informações. Estudos que não tratavam diretamente da cirurgia pediátrica ou que ofereciam dados insuficientes sobre as tecnologias em questão foram excluídos.

Os dados extraídos dos artigos selecionados foram organizados de forma sistemática, destacando-se as principais inovações, aplicações clínicas, benefícios e desafios de cada tecnologia. Especial atenção foi dada a estudos clínicos, revisões sistemáticas e meta-análises, dada a robustez metodológica e relevância de seus achados. Relatos e séries de casos também foram incluídos para ilustrar aplicações clínicas práticas e específicas dessas tecnologias.

A análise crítica dos dados envolveu uma comparação detalhada dos resultados entre os estudos revisados, identificando convergências e divergências nas evidências apresentadas. Foram também avaliados aspectos éticos, econômicos e de viabilidade técnica para a implementação dessas tecnologias na prática clínica cotidiana. A discussão dos desafios incluiu uma análise das limitações metodológicas dos estudos avaliados, assim como das lacunas de conhecimento que requerem investigação adicional.

Com esta metodologia, buscou-se construir uma narrativa coesa e informativa, que ofereça uma fonte de referência abrangente para profissionais de saúde, pesquisadores e desenvolvedores de tecnologia. A revisão narrativa permitiu a integração de um amplo conjunto de informações oriundas de diversas fontes, proporcionando uma visão consolidada das inovações tecnológicas que impulsionam o futuro da cirurgia pediátrica de alta complexidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Impressão 3D

A tecnologia de impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, tem transformado a produção de dispositivos médicos, oferecendo soluções inovadoras particularmente valiosas para a cirurgia pediátrica de alta complexidade. Essa técnica possibilita a criação de estruturas tridimensionais precisas a partir de modelos digitais derivados de imagens avançadas, como tomografia computadorizada (CT) e ressonância magnética (MRI). A capacidade de fabricar dispositivos médicos personalizados e adaptados às particularidades anatômicas de cada paciente representa um progresso notável na medicina personalizada (Pavan Kalyan; Kumar, 2022).

O desenvolvimento da impressão 3D tem sido impulsionado por melhorias contínuas na precisão dos equipamentos, na diversidade e qualidade dos materiais disponíveis e na complexidade dos softwares de modelagem. Dispositivos médicos impressos em 3D podem ser produzidos com materiais variados, incluindo polímeros, metais e biomateriais, cada um selecionado de acordo com a aplicação clínica e os requisitos de biocompatibilidade e durabilidade. Polímeros biodegradáveis, como ácido polilático (PLA) e ácido poliglicólico (PGA), são amplamente empregados na fabricação de dispositivos que se degradam no organismo após o cumprimento de sua função terapêutica, eliminando a necessidade de intervenções cirúrgicas adicionais para remoção (Clegg, *et al.*, 2024).

Na cirurgia pediátrica, a impressão 3D tem uma ampla gama de aplicações práticas, desde o planejamento cirúrgico até a criação de implantes personalizados. Modelos anatômicos impressos em 3D são empregados para simulação pré-operatória, permitindo que os cirurgiões visualizem e pratiquem intervenções complexas antes de realizá-las no paciente. Esse preparo detalhado se mostra particularmente relevante em casos de malformações congênitas, onde as estruturas anatômicas apresentam grandes variações (Allam *et al.*, 2024).

Por exemplo, em cirurgias corretivas para atresia esofágica, a impressão 3D pode gerar réplicas precisas do esôfago do paciente, auxiliando na determinação da abordagem cirúrgica mais adequada. Guias cirúrgicas personalizadas também podem ser impressas para orientar cortes ósseos ou a colocação de implantes, aumentando a precisão da intervenção e reduzindo o tempo de operação (Wu *et al.*, 2024).

Apesar do seu considerável potencial, a impressão 3D enfrenta desafios técnicos e práticos que limitam sua adoção ampla na cirurgia pediátrica. A biocompatibilidade dos materiais de impressão é uma questão crítica, pois materiais inadequados podem desencadear reações inflamatórias ou rejeição pelo organismo. Assim, a pesquisa em novos materiais e técnicas de acabamento de superfície torna-se essencial para garantir a segurança e eficácia dos dispositivos impressos (Datta; Barua, 2024).

Outro fator determinante é a resolução dos modelos. A precisão da impressão 3D precisa capturar detalhes anatômicos mínimos, particularmente em pacientes pediátricos, onde as estruturas anatômicas são frequentemente menores e mais delicadas. A reprodutibilidade e a consistência dos dispositivos impressos são igualmente fundamentais para a obtenção de resultados clínicos confiáveis (Łajczak; Jóźwik; Torrico, 2024).

O custo e o tempo de produção também representam entraves significativos. Embora os custos da impressão 3D tenham diminuído com os avanços tecnológicos, ainda são elevados para muitas instituições de saúde, especialmente em ambientes com recursos limitados. Além disso, o tempo necessário para projetar e imprimir dispositivos personalizados pode ser incompatível com a urgência de certos procedimentos cirúrgicos (Kanumilli *et al.*, 2024).

O futuro da impressão 3D na cirurgia pediátrica de alta complexidade apresenta um panorama promissor, impulsionado por contínuos avanços tecnológicos e uma aceitação clínica crescente. A combinação da impressão 3D com outras tecnologias emergentes, como realidade aumentada e inteligência artificial, pode elevar ainda mais a precisão e a eficiência tanto no planejamento quanto na execução dos procedimentos. A realidade aumentada, por exemplo, pode ser integrada a modelos 3D para proporcionar uma visualização em tempo real das estruturas anatômicas durante a cirurgia (Yasli *et al.*, 2023).

A pesquisa contínua desempenha um papel essencial para superar os desafios atuais e expandir as aplicações da impressão 3D. Colaborações interdisciplinares entre engenheiros, cientistas de materiais e profissionais de saúde são indispensáveis para o desenvolvimento de novos materiais, aprimoramento das técnicas de impressão e validação clínica dos dispositivos produzidos, consolidando o impacto dessa tecnologia na medicina pediátrica (Mendoza *et al.*, 2023).

Robótica

A introdução de sistemas robóticos na cirurgia constitui uma das mais significativas inovações da medicina moderna, sobretudo no contexto da cirurgia pediátrica de alta complexidade. A robótica cirúrgica evoluiu de maneira marcante desde os primeiros protótipos, desenvolvidos nas décadas finais do século XX, até os sistemas de alta precisão atualmente empregados, como o Da Vinci Surgical System. Esses sistemas têm redefinido a execução de procedimentos cirúrgicos, oferecendo precisão aprimorada, controle superior e uma redução considerável do trauma operatório (Mei; Tang, 2023).

Na cirurgia pediátrica, a robótica oferece benefícios exclusivos, considerando a necessidade de precisão extrema e o espaço operacional limitado. Pacientes infantis, particularmente, apresentam características anatômicas complexas, que exigem abordagens cirúrgicas especializadas. Os sistemas robóticos capacitam os cirurgiões a utilizar instrumentos miniaturizados capazes de realizar movimentos precisos em espaços restritos. A possibilidade de escalonar movimentos e eliminar tremores naturais da mão do cirurgião contribui para uma execução mais segura e controlada dos procedimentos (O'Brien *et al.*, 2023).

Um exemplo relevante da aplicação da robótica na cirurgia pediátrica é a correção de anomalias congênitas complexas, como atresia esofágica e obstruções duodenais. Tradicionalmente, esses procedimentos necessitavam de incisões abertas extensas, resultando em longos períodos de recuperação e elevados riscos de complicações pós-operatórias. Com o auxílio da robótica, essas cirurgias podem ser realizadas de forma minimamente invasiva, por meio de pequenas incisões que reduzem a dor, minimizam a perda sanguínea e aceleram a recuperação (Zapackaite *et al.*, 2024).

Estudos clínicos indicam que o emprego de sistemas robóticos na cirurgia pediátrica pode elevar significativamente os resultados operatórios. Em cirurgias cardíacas, por exemplo, a robótica tem permitido reparações septais e anastomoses complexas com maior precisão e menor tempo de circulação extracorpórea, em comparação com técnicas convencionais. A precisão robótica é especialmente vantajosa para suturas de vasos sanguíneos finos e manipulação de tecidos frágeis, comuns em pacientes pediátricos (Koulaouzidis *et al.*, 2023).

No entanto, a adoção ampla da robótica na cirurgia pediátrica enfrenta obstáculos substanciais. Um dos principais desafios é a adaptação dos sistemas robóticos às dimensões anatômicas dos pacientes pediátricos, pois os instrumentos e interfaces atuais foram majoritariamente projetados para adultos e requerem modificações para otimizar o desempenho em crianças. O custo elevado dos sistemas robóticos e a necessidade de treinamento intensivo dos cirurgiões também limitam a disseminação dessa tecnologia (Chatterjee *et al.*, 2024).

A literatura científica discute ainda a curva de aprendizado associada ao uso de robótica. Embora seus benefícios sejam evidentes, os cirurgiões devem passar por um treinamento rigoroso para desenvolver a destreza necessária para operar os sistemas robóticos com segurança e eficácia. A introdução de simuladores de realidade virtual tem mostrado ser uma abordagem eficaz para acelerar esse processo, permitindo que os cirurgiões pratiquem e aperfeiçoem suas habilidades em ambiente controlado antes de realizar procedimentos em pacientes reais (Blanc *et al.*, 2024).

Existem, também, considerações éticas que devem ser avaliadas. A introdução de novas tecnologias na medicina exige uma análise criteriosa de sua segurança e eficácia. Estudos de longo prazo são fundamentais para avaliar os efeitos dos procedimentos robóticos nos desfechos a longo prazo e na qualidade de vida dos pacientes pediátricos (Snyder; Stewart; Hunter, 2024).

BIOMATERIAIS

Os biomateriais ocupam uma posição essencial na medicina contemporânea, especialmente na cirurgia pediátrica de alta complexidade, onde a interação segura e eficaz entre dispositivos médicos e tecidos biológicos é imperativa. O desenvolvimento de biomateriais inovadores possibilitou a criação de soluções terapêuticas que atendem às necessidades imediatas e promovem a regeneração tecidual e integração biológica a longo prazo. Este campo interdisciplinar reúne princípios de engenharia, biologia e ciência dos materiais para criar materiais aplicáveis em dispositivos implantáveis, enxertos, próteses e sistemas de liberação de fármacos (Nellenbach *et al.*, 2024).

Na cirurgia pediátrica, biomateriais devem atender a rigorosos critérios de biocompatibilidade, biodegradabilidade e adaptabilidade ao crescimento. Dado que crianças possuem sistemas imunológicos e metabólicos em desenvolvimento, a seleção e aplicação de biomateriais exige uma abordagem personalizada. Polímeros biodegradáveis, como o ácido polilático (PLA) e o ácido poliglicólico (PGA), destacam-se pela capacidade de serem absorvidos pelo organismo após cumprir sua função, eliminando a necessidade de remoção cirúrgica subsequente (Ahmad *et al.*, 2024).

Um exemplo notável na cirurgia pediátrica é o uso de stents esofágicos biodegradáveis para tratar estenoses congênitas. Historicamente, stents metálicos ou de plástico exigiam remoção em procedimentos adicionais, aumentando o risco de complicações. Com o uso de stents biodegradáveis, o material se degrada naturalmente ao longo do tempo, reduzindo o risco de inflamação crônica e proporcionando uma solução que acompanha o crescimento do paciente (Brambilla *et al.*, 2023).

Outro campo promissor é a engenharia de tecidos, que utiliza scaffolds de biomateriais para regenerar tecidos danificados ou defeituosos. Scaffolds produzidos com polímeros naturais, como colágeno e quitosana, ou sintéticos, como os à base de ácido láctico, podem ser projetados para imitar a matriz extracelular natural, oferecendo suporte estrutural e bioquímico para a proliferação e diferenciação celular. Estudos clínicos e pré-clínicos têm demonstrado o potencial desses scaffolds para regenerar tecidos ósseos, cartilaginosos e vasculares, oferecendo novas possibilidades de tratamento para defeitos congênitos complexos (Charbe *et al.*, 2023).

A incorporação de fatores de crescimento e outras biomoléculas bioativas em biomateriais é uma área de intensa pesquisa. Esses materiais bioativos podem ser projetados para liberar fatores de crescimento de maneira controlada, promovendo a regeneração tecidual de forma mais eficiente. Scaffolds impregnados com fator de crescimento endotelial vascular (VEGF), por exemplo, têm demonstrado sucesso na promoção da angiogênese, essencial para a regeneração de tecidos em áreas com fluxo sanguíneo limitado (Singh *et al.*, 2024).

Apesar do avanço substancial, o desenvolvimento e aplicação de biomateriais enfrentam desafios consideráveis. A biocompatibilidade a longo prazo continua sendo uma preocupação, pois a resposta imune pode evoluir com o tempo, levando a complicações como inflamação crônica ou rejeição. É fundamental a pesquisa contínua para compreender melhor as interações complexas entre biomateriais e o sistema imunológico, assim como para desenvolver materiais que minimizem essas respostas adversas (Deguchi; Zambaiti; De Coppl, 2023).

CONCLUSÃO

A integração de tecnologias emergentes como impressão 3D, robótica e biomateriais está remodelando o campo da cirurgia pediátrica de alta complexidade. Essas inovações oferecem soluções adaptadas às necessidades exclusivas dos pacientes pediátricos, permitindo intervenções cirúrgicas mais precisas, menos invasivas e personalizadas. A criação de modelos anatômicos detalhados por meio da impressão 3D aprimora o planejamento cirúrgico e possibilita o desenvolvimento de dispositivos médicos personalizados. A robótica, por sua vez, aumenta a precisão e minimiza o trauma cirúrgico, fatores determinantes para otimizar os desfechos clínicos e acelerar a recuperação dos pacientes mais jovens.

Biomateriais representam uma revolução silenciosa no design de dispositivos médicos implantáveis, proporcionando biocompatibilidade e funcionalidades que respondem às necessidades dinâmicas de um corpo em desenvolvimento. Polímeros biodegradáveis e scaffolds bioativos para regeneração tecidual trazem perspectivas promissoras no tratamento de condições congênitas e lesões complexas, oferecendo alternativas eficazes e seguras. No entanto, a adoção abrangente dessas tecnologias enfrenta barreiras importantes, incluindo a biocompatibilidade a longo prazo, os custos elevados e a necessidade de capacitação especializada.

A adaptação de tecnologias robóticas para pacientes pediátricos, dada sua anatomia singular, exige progressos contínuos em miniaturização e precisão. O custo elevado dos sistemas robóticos e o extenso treinamento necessário para operá-los continuam a limitar sua ampla adoção. Da mesma forma, a produção e a regulamentação de biomateriais necessitam de avanços para assegurar segurança, eficácia e viabilidade econômica no contexto pediátrico.

Para superar essas barreiras, uma abordagem interdisciplinar se faz indispensável, envolvendo engenheiros, cientistas de materiais, biólogos, médicos e reguladores. A colaboração entre essas áreas tem o potencial de acelerar o desenvolvimento e a implementação de inovações tecnológicas, promovendo dispositivos médicos que atendam não apenas às necessidades clínicas imediatas, mas também ao bem-estar de longo prazo dos pacientes pediátricos.

A pesquisa e o desenvolvimento contínuo de metodologias para avaliação de biocompatibilidade e eficácia clínica são fundamentais para assegurar benefícios duradouros e seguros. A integração de técnicas avançadas de imagem, modelagem computacional e biologia molecular oferece insights sobre as interações complexas entre biomateriais e tecidos biológicos, contribuindo para o design de materiais que minimizem respostas imunes adversas e promovam uma integração tecidual eficaz.

Em síntese, a impressão 3D, robótica e biomateriais estão expandindo as fronteiras da cirurgia pediátrica de alta complexidade, proporcionando novas possibilidades para melhorar os resultados cirúrgicos e a qualidade de vida dos pacientes. Apesar dos desafios significativos, os avanços contínuos nessas áreas prometem transformar a prática cirúrgica, oferecendo soluções cada vez mais seguras, eficazes e personalizadas. O futuro da cirurgia pediátrica de alta complexidade apresenta-se promissor, marcado por inovações tecnológicas com potencial para revolucionar o tratamento de condições complexas, oferecendo esperança renovada para pacientes e suas famílias.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Ashfaq et al. An overview of biodegradable poly (lactic acid) production from fermentative lactic acid for biomedical and bioplastic applications. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 14, n. 3, p. 3057-3076, 2024.

ALLAM, Omar et al. A comprehensive review of the educational, clinical and rehabilitative applications of 3D printing technology in hand surgery. **Plastic and Aesthetic Research**, v. 11, n. 3, p. N/A-N/A, 2024.

BISWAS, Sumitra Kumar. The Digital Era and the Future of Pediatric Surgery. **Journal of Indian Association of Pediatric Surgeons**, v. 26, n. 5, p. 279-286, 2021.

BLANC, Thomas et al. Robotic Surgery in Paediatric Oncology: Expanding boundaries and defining relevant indications. **Journal of Pediatric Surgery**, p. 162017, 2024.

BRAMBILLA, Alma et al. Stents in congenital heart disease: state of the art and future scenarios. **Applied Sciences**, v. 13, n. 17, p. 9692, 2023.

CHATTERJEE, Swastika et al. Advancements in robotic surgery: innovations, challenges and future prospects. **Journal of Robotic Surgery**, v. 18, n. 1, p. 28, 2024.

CHARBE, Nitin Bharat et al. Biomedical applications of three-dimensional bioprinted craniofacial tissue engineering. **Bioengineering & translational medicine**, v. 8, n. 1, p. e10333, 2023.

CLEGG, Devin J. et al. The Use and Outcomes of 3D Printing in Pediatric Craniofacial Surgery: A Systematic Review. **Journal of Craniofacial Surgery**, v. 35, n. 3, p. 749-754, 2024.

CORNEJO, José et al. Anatomical Engineering and 3D printing for surgery and medical devices: International review and future exponential innovations. **BioMed research international**, v. 2022, n. 1, p. 6797745, 2022.

DATTA, Sudipto; BARUA, Ranjit. 3D Printing in Modern Healthcare: An Overview of Materials, Methods, Applications, and Challenges. **Emerging Technologies for Health Literacy and Medical Practice**, p. 132-152, 2024.

DEGUCHI, Koichi; ZAMBAITI, Elisa; DE COPPI, Paolo. Regenerative medicine: current research and perspective in pediatric surgery. **Pediatric Surgery International**, v. 39, n. 1, p. 167, 2023.

KANUMILLI, Sri Lakshmi Devi et al. Advancements and Applications of Three-dimensional Printing Technology in Surgery. **Journal of Medical Physics**, v. 49, n. 3, p. 319-325, 2024.

KOULAOUZIDIS, George et al. Robotic-Assisted solutions for invasive cardiology, cardiac surgery and routine on-ward tasks: a narrative review. **Journal of Cardiovascular Development and Disease**, v. 10, n. 9, p. 399, 2023.

ŁAJCZAK, Paweł Marek; JÓŹWIK, Kamil; TORRICO, Cristian Jaldin. Current Applications of the Three-Dimensional Printing Technology in Neurosurgery: A Review. **Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery**, 2024.

MEI, Hong; TANG, Shaotao. Robotic-assisted surgery in the pediatric surgeons' world: Current situation and future perspectives. **Frontiers in Pediatrics**, v. 11, p. 1120831, 2023.

MENDOZA, Marcos Manuel Vásquez et al. Precision in restoration: new frontiers in surgical techniques for complex tissue reconstruction. **Salud, Ciencia y Tecnología**, v. 3, p. 551-551, 2023.

NELLENBACH, Kimberly et al. Biomaterials and other adjuncts for pediatric hemostasis. In: **Hemostasis Management of the Pediatric Surgical Patient**. Academic Press, 2024. p. 289-303.

O'BRIEN, Lukas Padraig et al. Paediatric robotic surgery: a narrative review. **Journal of Robotic Surgery**, v. 17, n. 4, p. 1171-1179, 2023.

PAVAN KALYAN, B. G.; KUMAR, Lalit. 3D printing: applications in tissue engineering, medical devices, and drug delivery. **Aaps Pharmscitech**, v. 23, n. 4, p. 92, 2022.

SINGH, Alok Bihari; KHANDELWAL, Chandni; DANGAYACH, Govind Sharan. Revolutionizing healthcare materials: Innovations in processing, advancements, and challenges for enhanced medical device integration and performance. **Journal of Micromanufacturing**, p. 25165984241256234, 2024.

SNYDER, Katherine Brooke; STEWART, Ryan Austin; HUNTER, Catherine J. Ethics of Pediatric Surgical Innovation: Considerations, Controversies, and Pitfalls. **The Journal of Clinical Ethics**, v. 35, n. 3, p. 180-189, 2024.

WU, Ruicheng et al. Three-Dimensional Printing Creates New Trends of the Technological Revolution in Urologic Surgery. **ACS Materials Letters**, v. 6, n. 8, p. 3414-3435, 2024.

YASLI, Mert et al. Additive manufacturing and three-dimensional printing in obstetrics and gynecology: a comprehensive review. **Archives of gynecology and obstetrics**, v. 308, n. 6, p. 1679-1690, 2023.