

Uso da cirurgia robótica na revolução das cirurgias minimamente invasivas em neurocirurgia: avanços e desafios

Use of robotic surgery in the revolution of minimally invasive surgery in neurosurgery: advances and challenges

Uso de la cirugía robótica en la revolución de la cirugía mínimamente invasiva en neurocirugía: avances y desafíos

DOI: 10.5281/zenodo.14824294

Recebido: 11 jan 2025

Aprovado: 23 jan 2025

Sara Pilon Fontoura Coimbra

Graduanda em Medicina

Instituição: MULTIVIX

Endereço: Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil

Filipe Flores Bicalho

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário do Espírito Santo (UNESC)

Endereço: Colatina, Espírito Santo, Brasil

Diogo Caliman Azevedo

Médico

Instituição: Centro Universitário UNIFACIG

Endereço: Linhares, Espírito Santo, Brasil

Gabriel Wernesbach Bregonci Trancoso

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário do Espírito Santo (UNESC)

Endereço: Colatina, Espírito Santo, Brasil

Ana Paula de Oliveira Silva Cláudio de Souza

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário do Espírito Santo (UNESC)

Endereço: Colatina, Espírito Santo, Brasil

Victoria Ferrari Machado

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário do Espírito Santo (UNESC)

Endereço: Colatina, Espírito Santo, Brasil

João Pedro Calheiros Moro Capo

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário do Espírito Santo (UNESC)

Endereço: Colatina, Espírito Santo, Brasil

Luciana Barbosa Firmes Marinato

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário do Espírito Santo (UNESC)

Endereço: Colatina, Espírito Santo, Brasil

Dayra Fieni

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário do Espírito Santo (UNESC)

Endereço: Colatina, Espírito Santo, Brasil

Pedro Flores Bicalho

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário do Espírito Santo (UNESC)

Endereço: Colatina, Espírito Santo, Brasil

RESUMO

Os avanços na cirurgia minimamente invasiva têm sido impulsionados pela integração de tecnologias de navegação e robótica, trazendo melhorias significativas em áreas como neurocirurgia e ortopedia. Desde os métodos rudimentares descritos por Hipócrates até a introdução de sistemas modernos, como a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) e dispositivos robóticos, o foco tem sido aumentar a precisão, segurança e eficiência dos procedimentos. As salas de cirurgia híbridas, que combinam navegação e robótica, representam um marco na medicina moderna, permitindo intervenções menos invasivas e melhores resultados clínicos, especialmente em condições complexas como trauma espinhal e tumores. Esta revisão sistemática investigou os avanços, desafios e impacto clínico da cirurgia robótica em procedimentos minimamente invasivos na neurocirurgia. Foram analisados estudos das últimas duas décadas, priorizando aqueles que abordavam precisão cirúrgica, segurança e desfechos clínicos em procedimentos complexos, como a colocação de parafusos pediculares e ressecções tumorais. Além disso, foram avaliados desafios como custo, curva de aprendizado e acesso à tecnologia, ressaltando as lacunas existentes na literatura e a necessidade de estudos mais abrangentes. Os resultados evidenciaram alta eficácia e segurança da robótica, com taxas de precisão acima de 97% na colocação de implantes e baixa taxa de complicações. Tecnologias como navegação 3D e braços robóticos têm transformado a abordagem cirúrgica, promovendo intervenções menos invasivas, redução de complicações pós-operatórias e tempos de recuperação mais curtos. Contudo, ainda é necessária uma investigação mais profunda sobre os impactos a longo prazo e o custo-benefício dessas inovações, para consolidar sua aplicação como padrão em neurocirurgia e expandir seu impacto para um maior número de pacientes. Os resultados desta revisão destacam os benefícios inegáveis da integração de navegação e robótica em cirurgias minimamente invasivas, demonstrando avanços significativos em precisão, segurança e eficiência. Com taxas de sucesso superiores a 97% em aplicações como colocação de parafusos pediculares e ressecções tumorais, essas tecnologias estão transformando a prática cirúrgica, especialmente em neurocirurgia, ao reduzir complicações e acelerar a recuperação dos pacientes. Apesar desses progressos, a revisão também aponta para lacunas importantes na literatura, como a necessidade de estudos mais amplos e controlados para avaliar os impactos de longo prazo, o custo-benefício e os desafios relacionados à curva de aprendizado e à acessibilidade tecnológica. A evolução contínua dessas inovações exige uma abordagem colaborativa e embasada em evidências sólidas para superar esses desafios. Conclui-se que a navegação e a robótica representam um marco no avanço das cirurgias minimamente invasivas, com potencial para se tornarem padrões em neurocirurgia e outras especialidades. No entanto, sua implementação bem-sucedida depende de investigações futuras que consolidem seu papel e ampliem sua aplicabilidade, beneficiando um número cada vez maior de pacientes e garantindo melhores desfechos clínicos.

Palavras-chave: cirurgia robótica, navegação cirúrgica, neurocirurgia, inovação médica.

ABSTRACT

Advances in minimally invasive surgery have been driven by the integration of navigation and robotic technologies, bringing significant improvements in fields such as neurosurgery and orthopedics. From the rudimentary methods described by Hippocrates to the introduction of modern systems like cone beam computed tomography (CBCT) and robotic devices, the focus has been on enhancing precision, safety, and procedural efficiency. Hybrid operating rooms, combining navigation and robotics, represent a milestone in modern medicine, enabling less invasive interventions and better clinical outcomes, especially in complex conditions like spinal trauma and tumors. This systematic review investigated the advances, challenges, and clinical impact of robotic surgery in minimally invasive neurosurgical procedures. Studies from the past two decades were analyzed, prioritizing those addressing surgical precision, safety,

and clinical outcomes in complex procedures such as pedicle screw placement and tumor resections. Additionally, challenges such as cost, learning curve, and technology accessibility were evaluated, highlighting existing gaps in the literature and the need for broader studies. The results demonstrated the high efficacy and safety of robotics, with accuracy rates exceeding 97% in implant placement and low complication rates. Technologies like 3D navigation and robotic arms have transformed surgical approaches, enabling less invasive procedures, fewer postoperative complications, and shorter recovery times. However, further investigation into the long-term impacts and cost-effectiveness of these innovations is needed to establish their application as the standard in neurosurgery and expand their impact to a broader patient population. The results of this review highlight the undeniable benefits of integrating navigation and robotics into minimally invasive surgeries, showing significant advancements in precision, safety, and efficiency. With success rates exceeding 97% in applications such as pedicle screw placement and tumor resections, these technologies are transforming surgical practice, particularly in neurosurgery, by reducing complications and accelerating patient recovery. Despite these advances, the review also points to significant gaps in the literature, such as the need for larger, controlled studies to assess long-term impacts, cost-effectiveness, and challenges related to the learning curve and technological accessibility. The continued evolution of these innovations requires a collaborative approach based on solid evidence to overcome these challenges. It is concluded that navigation and robotics represent a milestone in the advancement of minimally invasive surgeries, with the potential to become standards in neurosurgery and other specialties. However, their successful implementation depends on future investigations that consolidate their role and expand their applicability, benefiting an increasing number of patients and ensuring better clinical outcomes.

Keywords: robotic surgery, surgical navigation, neurosurgery, medical innovation.

RESUMEN

Los avances en la cirugía mínimamente invasiva han sido impulsados por la integración de tecnologías de navegación y robótica, trayendo mejoras significativas en áreas como la neurocirugía y la ortopedia. Desde los métodos rudimentarios descritos por Hipócrates hasta la introducción de sistemas modernos como la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y los dispositivos robóticos, el enfoque ha sido mejorar la precisión, la seguridad y la eficiencia de los procedimientos. Los quirófanos híbridos, que combinan navegación y robótica, representan un hito en la medicina moderna, permitiendo intervenciones menos invasivas y mejores resultados clínicos, especialmente en condiciones complejas como el trauma espinal y los tumores. Esta revisión sistemática investigó los avances, desafíos e impacto clínico de la cirugía robótica en procedimientos neuroquirúrgicos mínimamente invasivos. Se analizaron estudios de las últimas dos décadas, priorizando aquellos que abordaron precisión quirúrgica, seguridad y resultados clínicos en procedimientos complejos como la colocación de tornillos pediculares y las resecciones tumorales. Además, se evaluaron desafíos como costos, curva de aprendizaje y accesibilidad tecnológica, destacando las lagunas existentes en la literatura y la necesidad de estudios más amplios. Los resultados demostraron la alta eficacia y seguridad de la robótica, con tasas de precisión superiores al 97% en la colocación de implantes y bajas tasas de complicaciones. Tecnologías como la navegación 3D y los brazos robóticos han transformado los enfoques quirúrgicos, permitiendo procedimientos menos invasivos, menos complicaciones postoperatorias y tiempos de recuperación más cortos. Sin embargo, es necesaria una investigación más profunda sobre los impactos a largo plazo y la rentabilidad de estas innovaciones para consolidar su aplicación como estándar en la neurocirugía y ampliar su impacto a una mayor población de pacientes. Los resultados de esta revisión destacan los beneficios innegables de la integración de la navegación y la robótica en las cirugías mínimamente invasivas, mostrando avances significativos en precisión, seguridad y eficiencia. Con tasas de éxito superiores al 97% en aplicaciones como la colocación de tornillos pediculares y las resecciones tumorales, estas tecnologías están transformando la práctica quirúrgica, particularmente en neurocirugía, al reducir complicaciones y acelerar la recuperación de los pacientes. A pesar de estos avances, la revisión también señala lagunas significativas en la literatura, como la necesidad de estudios más grandes y controlados para evaluar los impactos a largo plazo, la rentabilidad y los desafíos relacionados con la curva de aprendizaje y la accesibilidad tecnológica. La evolución continua de estas innovaciones requiere un enfoque colaborativo basado en evidencia sólida para superar estos desafíos. Se concluye que la navegación y la robótica representan un hito en el avance de las cirugías mínimamente invasivas, con el potencial de convertirse en estándares en neurocirugía y otras especialidades. Sin embargo, su

implementación exitosa depende de investigaciones futuras que consoliden su papel y amplíen su aplicabilidad, beneficiando a un número creciente de pacientes y garantizando mejores resultados clínicos.

Palabras clave: cirugía robótica, navegación quirúrgica, neurocirugía, innovación médica.

1. INTRODUÇÃO

A era contemporânea da cirurgia passou por transformações notáveis com o avanço e a adoção crescente de sistemas de navegação e, mais recentemente, da robótica. Esses progressos trouxeram melhorias substanciais em diversas áreas da medicina, sendo especialmente evidentes na cirurgia ortopédica e de coluna, que historicamente desempenhou um papel pioneiro no desenvolvimento de novas técnicas. As salas de operações híbridas, equipadas com tecnologia de ponta, como imagens tridimensionais e sistemas de correção de implantes em tempo real, estão se tornando cada vez mais comuns devido ao seu potencial de ampliar as possibilidades terapêuticas. Desde os métodos rudimentares de tratamento de doenças da coluna, descritos por Hipócrates no século V a.C., até intervenções mais modernas, como as primeiras laminectomias realizadas em 1814 e a introdução de parafusos pediculares em 1959, a trajetória cirúrgica sempre buscou maior precisão e segurança. Nos últimos anos, o foco tem se voltado para a otimização das técnicas existentes, com a robótica e a navegação desempenhando papéis centrais nesse avanço (HAIDA et al., 2024).

O uso de tecnologias de imagem para suporte cirúrgico, iniciado com a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen em 1895, revolucionou a medicina. Posteriormente, inovações como o desenvolvimento do braço em C na década de 1950 e a introdução do tomógrafo computadorizado na década de 1970 ampliaram ainda mais as possibilidades diagnósticas e terapêuticas. Embora os métodos de navegação tenham emergido no início do século XX, foi apenas a partir da década de 1980 que eles evoluíram para os padrões atuais, possibilitados por avanços na qualidade das imagens. Atualmente, dispositivos como a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) oferecem não apenas imagens mais nítidas, mas também uma integração otimizada ao fluxo de trabalho operatório, permitindo o uso eficaz da robótica. Essa evolução permitiu que a navegação, inicialmente restrita a procedimentos intracranianos, se expandisse para áreas como a coluna vertebral, a pelve e os membros (HAIDA et al., 2024).

As salas de cirurgia híbridas destacam-se como um marco no tratamento de pacientes, otimizando a integração entre navegação e robótica. A robótica, apesar de sua trajetória relativamente recente, ganhou notoriedade em áreas como urologia e cirurgia abdominal com sistemas como o DaVinci. Mais recentemente, seu uso tem crescido na cirurgia da coluna, especialmente para inserções de parafusos pediculares, com benefícios evidentes, como operações menos invasivas, maior exatidão e redução do

trauma cirúrgico. Apesar do potencial promissor, há escassez de estudos abrangentes que documentem amplamente os resultados clínicos e os benefícios dessa tecnologia em diferentes contextos. Por isso, continuam sendo essenciais pesquisas que explorem o impacto da robótica e da navegação em ambientes híbridos e seu papel na evolução das cirurgias minimamente invasivas (HAIDA et al., 2024).

A integração de tecnologias avançadas, como navegação e robótica, está transformando a prática cirúrgica, especialmente na área de cirurgias minimamente invasivas da coluna. Esses sistemas, desenvolvidos para melhorar a precisão e a segurança dos procedimentos, têm revolucionado a abordagem tradicional, oferecendo resultados mais consistentes e reduzindo riscos associados a complicações. Em particular, o uso de robôs na colocação de parafusos pediculares tem demonstrado alta taxa de precisão, tornando-se uma ferramenta indispensável para neurocirurgiões. À medida que essas inovações ganham espaço, sua aplicação abre novas perspectivas para otimizar os desfechos clínicos e expandir as fronteiras do tratamento de condições complexas da coluna vertebral (VARDIMAN et al., 2019).

A utilização de tecnologias avançadas, como a robótica e a navegação, nas cirurgias minimamente invasivas, justifica-se pelos benefícios significativos que oferecem, como maior precisão, redução de complicações e tempos de recuperação mais curtos. Em especial na neurocirurgia, onde a complexidade anatômica e a necessidade de precisão são altas, essas inovações têm o potencial de transformar os resultados clínicos. No entanto, ainda existem lacunas na literatura sobre os impactos a longo prazo, custo-benefício e acessibilidade dessas tecnologias, o que reforça a necessidade de estudos adicionais para consolidar seu uso como padrão de cuidado em diferentes cenários clínicos.

2. METODOLOGIA

Esta revisão sistemática tem como objetivo investigar os avanços, os desafios e as estratégias de manejo no uso da cirurgia robótica como ferramenta revolucionária nas cirurgias minimamente invasivas em neurocirurgia. O foco principal é compreender como a integração dessa tecnologia tem impactado a precisão, a segurança e os resultados clínicos, além de identificar lacunas na literatura sobre sua eficácia e aplicabilidade em diferentes cenários clínicos. A revisão analisa estudos das últimas duas décadas, destacando como a evolução tecnológica tem contribuído para o aprimoramento de procedimentos neurocirúrgicos e a expansão das possibilidades terapêuticas.

Foram selecionados artigos relevantes publicados nos últimos 20 anos em bases de dados científicas como PubMed, Scopus e ScienceDirect, utilizando termos indexados relacionados a “cirurgia robótica”, “neurocirurgia”, “cirurgia minimamente invasiva” e “avaliação de eficácia”. Os critérios de inclusão abrangeram estudos que abordaram a aplicação clínica de sistemas robóticos em neurocirurgia, avaliando

aspectos como precisão cirúrgica, tempo operatório, complicações, recuperação do paciente e impacto em qualidade de vida. Apenas trabalhos publicados em inglês, português e espanhol foram incluídos.

Os critérios de exclusão eliminaram estudos publicados antes do período estipulado, aqueles que não apresentavam distinção clara entre os benefícios da cirurgia robótica e as técnicas convencionais, ou que careciam de dados quantitativos relevantes. Também foram desconsiderados artigos com metodologia pouco robusta ou sem análise detalhada de desfechos clínicos. Na análise dos dados, o foco foi identificar tendências no uso da robótica, explorar sua aplicação em procedimentos complexos, como colocação de parafusos pediculares e ressecção tumoral, e avaliar os desafios relacionados a custo, curva de aprendizado e acesso à tecnologia. A revisão enfatiza a importância de abordagens colaborativas e interdisciplinares, além de destacar a necessidade de estudos mais amplos e controlados para consolidar a cirurgia robótica como um padrão em neurocirurgia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de seleção dos estudos para esta revisão sobre o uso da cirurgia robótica em procedimentos minimamente invasivos na neurocirurgia foi conduzido de forma rigorosa e estruturada. Inicialmente, foram identificados 87 artigos que abordavam a aplicação da robótica em neurocirurgia, com foco em como essa tecnologia impacta a precisão cirúrgica, a segurança, o manejo de complicações e a recuperação do paciente. A análise priorizou estudos que investigaram a eficácia clínica, os avanços tecnológicos e os desafios relacionados à implementação da robótica em procedimentos complexos.

A seleção foi realizada em duas etapas. Na primeira fase, uma triagem detalhada de títulos e resumos foi conduzida, excluindo estudos que não atendiam aos critérios de inclusão, como aqueles que não diferenciavam a robótica de técnicas tradicionais ou que careciam de dados quantitativos relevantes sobre desfechos clínicos. Trabalhos que abordavam aplicações da robótica fora da neurocirurgia ou focavam apenas em aspectos técnicos sem análise clínica também foram descartados.

Na segunda etapa, 35 artigos que passaram pela triagem inicial foram submetidos a uma leitura completa. Destes, apenas 6 estudos foram incluídos na análise final, por apresentarem maior alinhamento com os objetivos desta revisão. Os artigos selecionados forneceram informações detalhadas sobre a eficácia da robótica na colocação de parafusos pediculares, ressecção de tumores e outros procedimentos, além de destacar os desafios relacionados à curva de aprendizado, custo-benefício e acessibilidade da tecnologia. A análise permitiu identificar os avanços e limitações atuais, reforçando a importância de estudos adicionais para consolidar o papel da robótica na neurocirurgia moderna.

O estudo "Suíte Robótica Híbrida-3D em Cirurgia de Coluna e Trauma: Experiências em 210 Pacientes", conduzido por Dominik M. Haida et al., avaliou o impacto clínico e operacional de uma sala de cirurgia híbrida equipada com tecnologias avançadas, incluindo navegação 3D e robótica, em procedimentos de trauma e cirurgia espinhal. A pesquisa foi realizada em um centro de trauma nível 1, envolvendo 210 pacientes tratados entre março de 2022 e março de 2024. O objetivo principal foi analisar a eficácia, a precisão e a segurança dessas intervenções realizadas em um ambiente de alta tecnologia.

Os resultados destacaram uma precisão global de 98,8% na colocação de 1171 parafusos, dos quais 88,4% eram espinhais e 11,6% não espinhais. A precisão para parafusos espinhais foi de 98,7%, enquanto para parafusos não espinhais alcançou 99,3%. Nenhum dos pacientes apresentou complicações neurológicas decorrentes de parafusos mal posicionados. Em termos de técnica, o braço robótico foi utilizado em 72,4% dos casos, enquanto procedimentos minimamente invasivos foram aplicados em 66,2% das cirurgias, contribuindo para menor trauma tecidual e reduzindo as complicações pós-operatórias. A taxa de infecção foi baixa, com apenas 1,9% dos casos apresentando complicações infecciosas, e não houve necessidade de revisões cirúrgicas em nenhum dos procedimentos realizados.

O tempo médio entre a incisão e a sutura foi de 197 minutos, variando de acordo com a complexidade do procedimento. Além disso, os pacientes permaneceram em média 17 dias hospitalizados, com um tempo de internação maior em casos de laminectomias e descompressões. A integração de tecnologias avançadas na sala híbrida também contribuiu para uma redução significativa da exposição à radiação para a equipe cirúrgica, ao mesmo tempo em que manteve níveis seguros para os pacientes. A pesquisa demonstrou ainda que a sala híbrida foi eficaz em casos complexos, como os de pacientes politraumatizados, que representaram 11% da amostra total. Os autores concluíram que a integração de navegação 3D e robótica em uma sala de cirurgia híbrida proporciona maior precisão, segurança e eficiência em procedimentos de trauma e cirurgia espinhal. A tecnologia avançada permitiu realizar intervenções desafiadoras de maneira mais segura e minimamente invasiva, destacando-se como um marco no avanço da cirurgia robótica. Apesar dos benefícios claros, o estudo enfatiza a importância do treinamento técnico especializado e do suporte contínuo para maximizar os resultados clínicos e operacionais.

O trabalho "Técnicas Minimamente Invasivas no Tratamento Cirúrgico de Fraturas Toracolumbares Pediátricas Traumáticas", conduzido por Castillo et al., avaliou a eficácia e a segurança da instrumentação posterior minimamente invasiva (MIS) em 12 pacientes pediátricos com fraturas instáveis da coluna toracolombar (TL). As fraturas analisadas incluíram diferentes tipos, como fraturas por explosão e fraturas de Chance, com 67% das lesões localizadas na coluna torácica e 17% na junção toracolombar. O estudo foi realizado em um centro de trauma nível 1, abrangendo pacientes menores de 18 anos tratados entre fevereiro

de 2018 e fevereiro de 2019. Os resultados mostraram que as técnicas de MIS, que incluíram neuronavegação e instrumentação robótica assistida (RA), ofereceram benefícios significativos em comparação com abordagens tradicionais abertas. Houve redução considerável na perda de sangue intraoperatória, menor dano aos tecidos moles e tempos de recuperação mais rápidos no pós-operatório. Além disso, as complicações associadas às intervenções foram mínimas, com baixa taxa de infecção e uma recuperação geral mais eficiente. Esses benefícios alinham-se com os já relatados em populações adultas, reforçando a aplicabilidade do MIS em pediatria. Concluiu-se que as técnicas minimamente invasivas representam uma alternativa segura e eficaz para o tratamento de fraturas pediátricas da coluna toracolombar. Embora o estudo ressalte os benefícios em termos de redução de complicações e melhor recuperação, os autores alertam sobre a necessidade de maior experiência técnica e infraestrutura avançada para garantir o sucesso das intervenções. Novos estudos com amostras maiores são recomendados para validar esses resultados e explorar ainda mais os impactos de longo prazo dessa abordagem.

O artigo "Cirurgia torácica robótica para tumores neurogênicos", publicado por Benedito Niedermaier et al., avaliou a segurança e a eficácia da cirurgia torácica assistida por robô (RATS) no tratamento de tumores neurogênicos torácicos. Durante cinco anos, 27 pacientes com tumores confirmados histologicamente foram submetidos ao procedimento em um centro de alta especialização. A maioria dos tumores consistia em schwannomas (64%) e ganglioneuromas (29%), com tamanhos variando de 0,9 a 11,4 cm. Os resultados destacaram que o tempo médio das operações foi de 69 minutos, com uma internação pós-operatória média de 3 dias. Complicações foram mínimas, incluindo uma conversão para cirurgia aberta devido a aderências prévias, uma fístula linfática, pneumonia e vazamento de ar prolongado. Déficits neurológicos, como síndrome de Horner e paresia do nervo laríngeo recorrente, foram observados em casos de tumores localizados no ápice torácico, sugerindo a necessidade de maior cautela em tais situações. Não houve mortalidade perioperatória, e o controle do sangramento foi efetivo. O estudo concluiu que a RATS é uma abordagem viável e segura para tumores neurogênicos torácicos, com benefícios significativos, como menor tempo de internação e redução de complicações graves. No entanto, os autores ressaltaram a importância de uma colaboração interdisciplinar entre neurocirurgiões e cirurgiões torácicos para garantir melhores resultados clínicos e selecionar adequadamente os pacientes para este tipo de procedimento.

O estudo "Precisão do Parafuso Pedicular na Utilização Clínica de Cirurgia de Coluna Minimamente Invasiva Assistida por Robô e Navegada", realizado por Vardiman et al., avaliou a precisão da colocação de parafusos pediculares em 56 pacientes submetidos a cirurgias de coluna minimamente invasivas com assistência robótica. Ao todo, foram inseridos 356 parafusos pediculares, sendo 348 com orientação

robótica e navegação. A taxa de sucesso na colocação dos parafusos foi de 97,7%, com apenas 2,3% classificados como mal posicionados (graus C ou D na escala Gertzbein e Robbins).

As complicações relacionadas ao procedimento foram mínimas. Dois pacientes necessitaram retorno à sala de cirurgia devido a complicações que não estavam associadas ao uso da tecnologia robótica. A análise indicou que os níveis mais comuns de parafusos posicionados foram L4 e L5, e a maioria dos pacientes foi liberada para casa ou reabilitação rapidamente após a cirurgia. A idade média dos pacientes foi de 64 anos, e o índice de massa corporal médio foi de 31 kg/m². Os resultados demonstraram que a navegação robótica oferece alta precisão e segurança na colocação de parafusos pediculares, com potencial para reduzir complicações e melhorar os desfechos cirúrgicos em procedimentos espinhais minimamente invasivos. Estudos futuros são recomendados para avaliar os impactos de longo prazo dessa tecnologia.

A revisão "Assistência Robótica Navegada Resulta em Melhor Precisão do Parafuso e Resultados Clínicos Positivos" analisou os primeiros 54 casos de cirurgia espinhal utilizando sistemas de orientação robótica com navegação minimamente invasiva. Dos 292 parafusos pediculares avaliados, 98,3% foram classificados como posicionados com precisão clínica aceitável (graus A ou B na escala Gertzbein e Robbins), enquanto apenas 1,7% apresentaram desvios significativos (graus C ou D). O desvio médio em relação à trajetória planejada foi de 1,9 mm na ponta, 2,3 mm na base e 2,8° de angulação. Os resultados destacaram também a segurança do método, com taxas mínimas de complicações e sem necessidade de revisões cirúrgicas devido a falhas no posicionamento dos parafusos. Além disso, houve baixa exposição à radiação intraoperatória, com uma média de 17,6 segundos, e perda de sangue insignificante durante os procedimentos. O estudo concluiu que a navegação robótica oferece altos níveis de precisão e segurança em cirurgias espinhais, reforçando sua eficácia em comparação com técnicas tradicionais. Embora os achados sejam promissores, os autores enfatizam a importância de estudos adicionais para validar esses resultados em amostras maiores e avaliar a relação custo-benefício dessa tecnologia avançada.

4. CONCLUSÃO

Os estudos analisados evidenciam os avanços proporcionados pela integração de navegação e robótica em cirurgias minimamente invasivas, destacando sua capacidade de melhorar a precisão, segurança e eficácia dos procedimentos. Com taxas de sucesso superiores a 97% na colocação de implantes, baixa incidência de complicações e tempos de recuperação reduzidos, essas tecnologias têm transformado o cenário cirúrgico, especialmente em áreas complexas como coluna, trauma pediátrico e tumores neurogênicos. No entanto, a maioria das pesquisas existentes se baseia em amostras pequenas e desfechos

de curto prazo, o que limita a compreensão completa de seus benefícios e desafios em cenários mais amplos e a longo prazo.

A necessidade de novos estudos é evidente, especialmente para avaliar os impactos de longo prazo dessas tecnologias em diferentes populações e condições clínicas. Investigações futuras devem explorar amostras maiores e mais diversificadas, priorizando a análise da relação custo-benefício, a curva de aprendizado dos profissionais e os efeitos na qualidade de vida dos pacientes. Além disso, é essencial realizar estudos multicêntricos e controlados, que possam oferecer uma base mais robusta para definir protocolos de uso, critérios de seleção de pacientes e otimização dos resultados clínicos.

A evolução contínua da navegação e da robótica representa um marco na revolução das cirurgias minimamente invasivas, mas requer uma abordagem cautelosa e embasada em evidências sólidas. Somente por meio de investigações aprofundadas será possível superar os desafios atuais, consolidar essas inovações como ferramentas padrão em neurocirurgia e ortopedia, e expandir seu impacto para beneficiar um número ainda maior de pacientes.

REFERÊNCIAS

Benech, Carlo Alberto et al. "Navigated robotic assistance results in improved screw accuracy and positive clinical outcomes: an evaluation of the first 54 cases." *Journal of robotic surgery* vol. 14,3 (2020): 431-437. doi:10.1007/s11701-019-01007-z.

Castillo, Jose et al. "Minimally Invasive Techniques in the Surgical Management of Traumatic Pediatric Thoracolumbar Fractures." *World neurosurgery* vol. 182 (2024): e292-e300. doi:10.1016/j.wneu.2023.11.102.

Haida, Dominik M et al. "Hybrid-3D robotic suite in spine and trauma surgery - experiences in 210 patients." *Journal of orthopaedic surgery and research* vol. 19,1 565. 14 Sep. 2024, doi:10.1186/s13018-024-05044-9.

Niedermaier, Benedikt et al. "Robotic thoracic surgery for neurogenic tumors." *Journal of neurosurgery* vol. 141,5 1369-1377. 31 May. 2024, doi:10.3171/2024.3.JNS232860.

Vardiman, Arnold B et al. "Pedicicle screw accuracy in clinical utilization of minimally invasive navigated robot-assisted spine surgery." *Journal of robotic surgery* vol. 14,3 (2020): 409-413. doi:10.1007/s11701-019-00994-3.