



## ***Ressecção de gliomas: desafios e estratégias clínicas***

Maria Carolina Fagundes Rodrigues, Bruno Henrique Batista Valcácer, Mariana Abrantes Maciel Bonifácio, Rafael Morais Marques de Andrade, Gabriela Mendes Messias, Maria Paula Pereira Alves, Jessé Alves da Cunha, Marco Tulio Alves de Paula Filho, Fillipe Morais Rodrigues, Thaís Lavareda Nascimento, Rafaela da Silva Claudino de Oliveira, Cynara Bezerra Sampaio, Antonio Marcos Moreira da Silva, Arlon Gravatá Almeida Lima, Mailson Meireles Batista, Natacha da Silva Estevão Cáceres Marques

### **REVISÃO INTEGRATIVA**

#### **RESUMO**

A ressecção de gliomas representa um desafio significativo na neurocirurgia devido à complexidade anatômica e funcional do cérebro. **INTRODUÇÃO:** A remoção cirúrgica de gliomas, tumores primários do cérebro, é essencial para o controle da doença e a melhora da qualidade de vida dos pacientes. No entanto, a proximidade desses tumores a áreas eloquentes do cérebro torna a cirurgia complexa e arriscada. **OBJETIVOS:** Revisar os desafios e estratégias na ressecção de gliomas. **METODOLOGIA:** Realizou-se uma revisão integrativa utilizando as bases de dados Scientific Electronic Library Online (SCIELO) e Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), com descritores em ciências da saúde como “glioma”, “ressecção cirúrgica” e “neurocirurgia”, combinados entre si através dos operadores booleanos AND e OR. **RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A análise dos estudos revelou que técnicas avançadas como ressonância magnética intraoperatória, neuronavegação e mapeamento cerebral intraoperatório têm sido fundamentais para aumentar a precisão cirúrgica e minimizar danos funcionais. Além disso, a integração de tecnologias como fluorescência guiada por 5-ALA e monitoramento neurofisiológico intraoperatório tem contribuído significativamente para a ressecção segura e eficaz de gliomas. **CONCLUSÃO:** A adoção de abordagens multimodais e personalizadas, combinada com avanços tecnológicos, é crucial para melhorar os resultados cirúrgicos e a qualidade de vida dos pacientes com gliomas.

**Palavras-chave:** Glioma; Neurocirurgia; Ressecção cirúrgica.

# Glioma resection: challenges and clinical strategies

## ABSTRACT

The resection of gliomas represents a significant challenge in neurosurgery due to the anatomical and functional complexity of the brain. **INTRODUCTION:** The surgical removal of gliomas, primary brain tumors, is essential for disease control and improving patients' quality of life. However, the proximity of these tumors to eloquent areas of the brain makes the surgery complex and risky. **OBJECTIVES:** Review the challenges and strategies in glioma resection. **METHODOLOGY:** An integrative review was conducted using the Scientific Electronic Library Online (SCIELO) and Latin American and Caribbean Health Sciences Literature (LILACS) databases, with health science descriptors such as "glioma", "surgical resection", and "neurosurgery", combined through the boolean operators AND and OR. **RESULTS AND DISCUSSION:** The analysis of the studies revealed that advanced techniques such as intraoperative magnetic resonance imaging, neuronavigation, and intraoperative brain mapping have been fundamental in increasing surgical precision and minimizing functional damage. Additionally, the integration of technologies such as 5-ALA guided fluorescence and intraoperative neurophysiological monitoring has significantly contributed to the safe and effective resection of gliomas. **CONCLUSION:** The adoption of multimodal and personalized approaches, combined with technological advances, is crucial to improving surgical outcomes and the quality of life for patients with gliomas.

**Keywords:** Glioma; Neurosurgery; Surgical resection

**Dados da publicação:** Artigo recebido em 24 de Junho e publicado em 14 de Agosto de 2024.

**DOI:** <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n8p-2047-2065>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



## **INTRODUÇÃO**

A ressecção de gliomas é uma das intervenções mais desafiadoras na neurocirurgia, dada a complexidade anatômica do cérebro e a natureza infiltrativa desses tumores. Gliomas representam a maioria dos tumores malignos primários do cérebro, e sua remoção completa é muitas vezes complicada pela localização e pela invasão das células tumorais em tecidos cerebrais saudáveis. A cirurgia visa maximizar a remoção tumoral enquanto preserva a função neurológica, um equilíbrio delicado que exige precisão e expertise. Tecnologias emergentes e técnicas avançadas têm sido desenvolvidas para enfrentar esses desafios, proporcionando aos neurocirurgiões ferramentas adicionais para melhorar os resultados cirúrgicos<sup>6,7,10</sup>.

Historicamente, a remoção de gliomas era limitada pela falta de visualização clara do tumor durante a cirurgia, resultando em ressecções incompletas e maiores riscos de déficits neurológicos pós-operatórios. Avanços na imagem intraoperatória, como a ressonância magnética (RM) e a tomografia computadorizada (TC), revolucionaram a capacidade dos cirurgiões de mapear e monitorar a ressecção em tempo real. Essas tecnologias permitem a identificação precisa das margens tumorais e a preservação das áreas funcionais críticas do cérebro<sup>2,6,10</sup>.

Além das melhorias tecnológicas, abordagens como o mapeamento cerebral intraoperatório e o uso de agentes fluorescentes, como o ácido 5-aminolevulínico (5-ALA), têm proporcionado uma maior precisão na diferenciação entre tecido tumoral e normal. O mapeamento cerebral, que pode ser realizado através da estimulação elétrica direta ou de técnicas de neuroimagem funcional, ajuda a localizar áreas eloquentes do cérebro que devem ser evitadas durante a ressecção. O 5-ALA, por sua vez, acumula-se seletivamente nas células tumorais, fluorescendo sob luz azul e permitindo a visualização clara das margens tumorais durante a cirurgia<sup>3,5,7</sup>.

## **METODOLOGIA**

Esta revisão integrativa foi conduzida no mês de julho de 2024 e incluiu estudos publicados nos últimos cinco anos. A pesquisa foi realizada nas bases de dados Scientific

Electronic Library Online (SCIELO) e Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS). Os descritores utilizados foram “glioma”, “ressecção cirúrgica” e “neurocirurgia”, combinados entre si através dos operadores booleanos AND e OR. Foram incluídos estudos que abordaram técnicas cirúrgicas avançadas na ressecção de gliomas, enquanto estudos com foco em tratamentos não cirúrgicos ou com dados insuficientes foram excluídos.

A pergunta norteadora desta revisão foi: “Quais são os desafios e as estratégias clínicas mais eficazes na ressecção de gliomas?” Dois revisores independentes conduziram a seleção dos estudos, e divergências foram resolvidas por consenso. A revisão seguiu um protocolo sistemático, envolvendo a identificação, seleção, extração e síntese dos dados relevantes. Estudos que não abordaram diretamente o tema ou que apresentaram metodologias fracas foram excluídos para garantir a qualidade e a relevância dos achados.

A pesquisa inicial resultou em um grande número de artigos, que foram filtrados com base nos critérios de inclusão e exclusão. Após a triagem e análise detalhada, chegou-se a uma amostra final de estudos que forneceram uma visão abrangente sobre as técnicas cirúrgicas avançadas e seus impactos na ressecção de gliomas. Os estudos selecionados foram avaliados quanto à qualidade metodológica e à relevância dos resultados apresentados.

## **RESULTADOS**

A utilização de imagem intraoperatória, como a ressonância magnética (RM) e a tomografia computadorizada (TC), tem sido um avanço crucial na ressecção de gliomas. Essas tecnologias permitem uma visualização precisa do tumor e das estruturas cerebrais adjacentes durante a cirurgia, aumentando a segurança e a eficácia da ressecção. A RM intraoperatória, por exemplo, possibilita a atualização contínua das imagens, ajudando os cirurgiões a ajustar suas estratégias em tempo real. Estudos demonstraram que o uso da RM intraoperatória resulta em uma taxa de ressecção mais alta e em melhores desfechos clínicos para os pacientes. Além disso, a TC intraoperatória oferece uma visualização tridimensional detalhada, permitindo uma navegação mais precisa no cérebro. Esses avanços tecnológicos são fundamentais para a remoção segura

de gliomas, minimizando os riscos de danos neurológicos<sup>1,7,8</sup>.

A ressonância magnética (RM) intraoperatória e a tomografia computadorizada (TC) revolucionaram a ressecção de gliomas. A RM intraoperatória permite a atualização contínua das imagens durante a cirurgia, ajudando os cirurgiões a ajustar suas estratégias em tempo real. Estudos demonstram que o uso da RM intraoperatória resulta em uma taxa de ressecção mais alta e em melhores desfechos clínicos para os pacientes. A precisão proporcionada por essa tecnologia reduz significativamente a necessidade de cirurgias adicionais e melhora o prognóstico dos pacientes<sup>1,6,7,8</sup>.

Além da RM, a TC intraoperatória oferece uma visualização tridimensional detalhada do cérebro. Essa técnica é especialmente útil em tumores localizados em áreas de difícil acesso, permitindo uma navegação mais precisa no cérebro. A capacidade de obter imagens de alta resolução em tempo real ajuda os cirurgiões a identificar e evitar estruturas críticas durante a ressecção, minimizando os riscos de danos neurológicos. Estudos indicam que a combinação de RM e TC intraoperatória pode aumentar ainda mais a precisão cirúrgica e os resultados clínicos<sup>6,7,9</sup>.

A integração dessas tecnologias na prática cirúrgica tem sido um avanço significativo. A capacidade de visualizar o tumor e as estruturas cerebrais adjacentes com alta precisão permite uma ressecção mais segura e eficaz. A RM intraoperatória, em particular, tem se mostrado eficaz na identificação de margens tumorais que não são visíveis a olho nu, permitindo uma remoção mais completa do tumor. Isso é crucial para reduzir a recorrência do tumor e melhorar a sobrevida dos pacientes<sup>2,6,10</sup>.

Estudos comparativos entre cirurgias realizadas com e sem o auxílio de imagem intraoperatória mostram uma clara vantagem para aquelas que utilizam essas tecnologias. A taxa de ressecção completa é significativamente maior, e os desfechos clínicos, incluindo a função neurológica pós-operatória, são melhores. A redução das complicações e a melhora na qualidade de vida dos pacientes são benefícios adicionais que justificam o investimento em tecnologias de imagem intraoperatória<sup>5,6,7</sup>.

A RM intraoperatória também permite a avaliação imediata da ressecção, possibilitando a remoção de remanescentes tumorais identificados durante a cirurgia. Isso evita a necessidade de procedimentos adicionais e reduz o tempo total de tratamento. A precisão dessa abordagem tem sido destacada em vários estudos, que

mostram uma correlação positiva entre o uso de RM intraoperatória e a extensão da ressecção tumoral<sup>2,5,7</sup>.

Além da RM e TC, outras modalidades de imagem intraoperatória, como a ultrassonografia, também estão sendo exploradas. A ultrassonografia intraoperatória oferece a vantagem de ser uma técnica em tempo real, sem a necessidade de interrupções prolongadas da cirurgia. Embora a resolução não seja tão alta quanto a da RM, a ultrassonografia pode ser útil em situações específicas, complementando outras técnicas de imagem<sup>6,10</sup>.

A adoção de tecnologias de imagem intraoperatória está associada a uma curva de aprendizado para os cirurgiões. A familiarização com os sistemas e a interpretação correta das imagens são cruciais para maximizar os benefícios dessas tecnologias. Programas de treinamento e simulação têm sido desenvolvidos para ajudar os cirurgiões a adquirir as habilidades necessárias para utilizar essas ferramentas de forma eficaz<sup>7,10</sup>.

### **Mapeamento Cerebral Intraoperatório**

O mapeamento cerebral intraoperatório é uma técnica que permite a identificação de áreas eloquentes do cérebro durante a cirurgia. Utilizando a estimulação elétrica direta ou a neuroimagem funcional, os cirurgiões podem mapear regiões críticas responsáveis por funções motoras, sensoriais e linguísticas. Essa abordagem reduz significativamente o risco de déficits neurológicos pós-operatórios, pois permite a ressecção máxima do tumor enquanto preserva as funções cerebrais essenciais. Estudos mostram que o mapeamento cerebral aumenta a segurança da cirurgia e melhora a qualidade de vida dos pacientes após a operação<sup>3,6,7,9</sup>.

A estimulação elétrica direta é uma das técnicas mais comuns de mapeamento cerebral. Durante a cirurgia, pequenos eletrodos são utilizados para estimular áreas específicas do cérebro, enquanto o paciente é monitorado para respostas motoras ou sensoriais. Essa técnica ajuda a delinear as regiões funcionais que devem ser preservadas. Estudos demonstram que o uso de estimulação elétrica direta durante a ressecção de gliomas está associado a uma menor incidência de déficits neurológicos permanentes<sup>2,6</sup>.

A neuroimagem funcional, como a ressonância magnética funcional (fMRI) e a

magnetoencefalografia (MEG), também desempenha um papel crucial no mapeamento cerebral. Essas técnicas permitem a visualização das áreas funcionais do cérebro antes e durante a cirurgia. A fMRI, por exemplo, pode identificar áreas cerebrais ativadas durante tarefas específicas, como a fala ou o movimento, proporcionando um mapa detalhado das regiões críticas. A MEG mede a atividade magnética cerebral e pode localizar áreas eloquentes com alta precisão<sup>7,8,10</sup>.

A integração do mapeamento cerebral com outras tecnologias, como a neuronavegação, melhora ainda mais a precisão cirúrgica. A neuronavegação utiliza imagens pré-operatórias para guiar o cirurgião durante a ressecção, combinando essas informações com o mapeamento cerebral em tempo real. Essa abordagem multimodal permite uma ressecção mais segura e eficaz, maximizando a remoção tumoral enquanto minimiza os riscos de déficits neurológicos<sup>4,5,10</sup>.

O mapeamento cerebral é particularmente útil em tumores localizados em áreas eloquentes, onde a ressecção completa é desafiadora. A capacidade de identificar e evitar essas áreas críticas permite uma remoção mais agressiva do tumor sem comprometer as funções neurológicas essenciais. Estudos mostram que pacientes submetidos a cirurgias com mapeamento cerebral apresentam melhores desfechos funcionais e uma maior qualidade de vida pós-operatória<sup>4,6,7</sup>.

Embora o mapeamento cerebral ofereça muitos benefícios, ele também apresenta desafios. A técnica requer a cooperação do paciente, que deve estar acordado durante partes da cirurgia para permitir a avaliação das respostas neurológicas. Isso pode ser desconfortável e estressante para alguns pacientes. Além disso, o mapeamento cerebral é tecnicamente exigente e requer uma equipe cirúrgica altamente treinada para interpretar corretamente os resultados e tomar decisões intraoperatórias adequadas<sup>6,10</sup>.

A evolução contínua das técnicas de mapeamento cerebral promete ainda mais melhorias na ressecção de gliomas. Novas tecnologias, como a optogenética e a estimulação magnética transcraniana, estão sendo exploradas para oferecer um mapeamento cerebral ainda mais preciso e menos invasivo. A optogenética, por exemplo, utiliza luz para controlar a atividade neuronal e pode oferecer uma nova maneira de mapear áreas funcionais com alta precisão<sup>3,6,7</sup>.

O mapeamento cerebral intraoperatório é uma ferramenta essencial para a ressecção segura e eficaz de gliomas. A capacidade de identificar e preservar áreas eloquentes do cérebro reduz os riscos de déficits neurológicos e melhora a qualidade de vida dos pacientes. A integração com outras tecnologias avançadas e a evolução contínua das técnicas de mapeamento prometem ainda mais avanços na neurocirurgia, beneficiando pacientes com gliomas<sup>7,10</sup>.

### **Fluorescência Guiada por 5-ALA**

O uso de 5-ALA (ácido 5-aminolevulínico) é uma técnica inovadora que melhora a visualização do tumor durante a cirurgia. O 5-ALA é um agente fluorescente que se acumula seletivamente nas células tumorais, fluorescendo sob luz azul. Esta fluorescência permite aos cirurgiões diferenciar claramente entre tecido tumoral e normal, facilitando a remoção completa do tumor. Estudos indicam que a fluorescência guiada por 5-ALA aumenta significativamente a taxa de ressecção total e reduz a recorrência do tumor<sup>3,6,7</sup>.

A fluorescência guiada por 5-ALA (ácido 5-aminolevulínico) é uma técnica inovadora que tem transformado a ressecção de gliomas. O 5-ALA é um agente fluorescente que se acumula seletivamente nas células tumorais, fluorescendo sob luz azul. Esta fluorescência permite aos cirurgiões diferenciar claramente entre tecido tumoral e normal durante a cirurgia, facilitando a remoção completa do tumor. Estudos indicam que a fluorescência guiada por 5-ALA aumenta significativamente a taxa de ressecção total e reduz a recorrência do tumor<sup>7,8,9</sup>.

O 5-ALA é administrado oralmente algumas horas antes da cirurgia. Após a administração, o 5-ALA é metabolizado em protoporfirina IX, um composto que se acumula nas células tumorais e emite fluorescência sob luz azul. Durante a cirurgia, uma fonte de luz azul é utilizada para iluminar o campo cirúrgico, e a fluorescência emitida pelas células tumorais é visualizada através de um microscópio especial. Esta visualização permite uma distinção clara entre o tumor e o tecido cerebral saudável<sup>4,6</sup>.

A técnica de fluorescência guiada por 5-ALA tem sido amplamente estudada e validada em ensaios clínicos. Resultados mostram que os pacientes submetidos a ressecções guiadas por 5-ALA apresentam uma taxa de ressecção total

significativamente maior em comparação com as cirurgias tradicionais. A remoção mais completa do tumor é crucial para reduzir a taxa de recorrência e melhorar a sobrevivência dos pacientes. Além disso, a fluorescência guiada permite uma ressecção mais precisa, minimizando os danos ao tecido cerebral saudável<sup>1,7</sup>.

A utilização de 5-ALA é especialmente vantajosa em gliomas de alto grau, que são frequentemente infiltrativos e difíceis de distinguir do tecido cerebral normal. A fluorescência proporcionada pelo 5-ALA oferece uma ferramenta adicional para identificar e remover células tumorais residuais que poderiam passar despercebidas em uma cirurgia convencional. Isso é particularmente importante em gliomas de alto grau, onde a remoção completa do tumor é essencial para melhorar o prognóstico<sup>6,8</sup>.

### **Neuronavegação**

A neuronavegação é uma tecnologia que utiliza imagens pré-operatórias para guiar o cirurgião durante a ressecção do glioma. Essa técnica fornece uma visualização tridimensional em tempo real, permitindo uma navegação precisa no cérebro. A neuronavegação é especialmente útil para tumores localizados em áreas complexas ou de difícil acesso. Pesquisas demonstram que a utilização da neuronavegação melhora a precisão cirúrgica, reduz o tempo de operação e minimiza os danos ao tecido cerebral saudável<sup>3,6,7</sup>.

A base da neuronavegação é a aquisição de imagens de alta resolução do cérebro do paciente antes da cirurgia, geralmente através de ressonância magnética (RM) ou tomografia computadorizada (TC). Essas imagens são então integradas a um sistema de navegação que mapeia a anatomia cerebral em três dimensões. Durante a cirurgia, o sistema de neuronavegação rastreia a posição dos instrumentos cirúrgicos em tempo real, permitindo que o cirurgião visualize a trajetória e a localização exata dos instrumentos em relação às estruturas cerebrais<sup>6,10</sup>.

A precisão da neuronavegação é crucial para a ressecção segura de gliomas. Tumores localizados perto de áreas críticas do cérebro, como as regiões eloquentes responsáveis por funções motoras e linguísticas, apresentam desafios significativos. A neuronavegação permite aos cirurgiões planejar e executar abordagens cirúrgicas que

minimizam os riscos de danos a essas áreas. Estudos mostram que a neuronavegação reduz significativamente a taxa de complicações neurológicas pós-operatórias<sup>6,7,9</sup>.

A integração da neuronavegação com outras tecnologias, como a ressonância magnética intraoperatória e a fluorescência guiada por 5-ALA, melhora ainda mais a precisão cirúrgica. A combinação dessas abordagens permite uma ressecção mais completa e segura do tumor. Por exemplo, a RM intraoperatória pode atualizar as imagens durante a cirurgia, enquanto a neuronavegação utiliza essas imagens atualizadas para guiar a ressecção. Essa abordagem integrada oferece uma visualização contínua e precisa do tumor e das estruturas adjacentes<sup>2,6,10</sup>.

Além da precisão, a neuronavegação também contribui para a eficiência cirúrgica. A capacidade de visualizar a anatomia cerebral em três dimensões e planejar a trajetória dos instrumentos permite uma execução mais rápida e precisa da cirurgia. Isso resulta em tempos operatórios mais curtos e menor exposição do paciente à anestesia, o que pode reduzir o risco de complicações relacionadas à cirurgia<sup>1,7</sup>.

A curva de aprendizado associada à neuronavegação é um fator importante a considerar. Embora a tecnologia ofereça benefícios significativos, a familiarização com o sistema e a interpretação correta das imagens são cruciais para maximizar os resultados. Programas de treinamento e simulação são essenciais para ajudar os cirurgiões a adquirir as habilidades necessárias para utilizar a neuronavegação de forma eficaz. A prática contínua e a experiência acumulada melhoram a confiança e a precisão na utilização dessa tecnologia<sup>4,5</sup>.

A evolução contínua da neuronavegação promete ainda mais avanços na ressecção de gliomas. Novas técnicas, como a integração com realidade aumentada e inteligência artificial, estão sendo exploradas para oferecer uma visualização ainda mais detalhada e precisa do cérebro durante a cirurgia. A realidade aumentada, por exemplo, pode projetar informações críticas diretamente no campo de visão do cirurgião, enquanto a inteligência artificial pode auxiliar na interpretação das imagens e na tomada de decisões intraoperatórias<sup>5,6,7</sup>.

### **Monitoramento Neurofisiológico Intraoperatório**

O monitoramento neurofisiológico intraoperatório envolve a medição contínua

das funções neurológicas durante a cirurgia. Esta técnica permite a detecção precoce de possíveis danos ao sistema nervoso, permitindo aos cirurgiões ajustar suas estratégias para evitar lesões. O monitoramento inclui técnicas como eletroencefalografia (EEG), potenciais evocados e estimulação cortical. Estudos mostram que o monitoramento neurofisiológico melhora significativamente os resultados cirúrgicos e reduz a incidência de déficits neurológicos permanentes<sup>1,7,8</sup>.

A eletroencefalografia (EEG) é uma das técnicas mais utilizadas no monitoramento neurofisiológico intraoperatório. A EEG mede a atividade elétrica do cérebro e pode detectar alterações que indicam possíveis danos neurológicos. Durante a ressecção de gliomas, a EEG é utilizada para monitorar continuamente a função cerebral e alertar o cirurgião sobre qualquer alteração significativa. Isso permite uma resposta imediata, ajustando a abordagem cirúrgica para evitar danos permanentes<sup>5,6</sup>.

Os potenciais evocados são outra técnica importante no monitoramento neurofisiológico. Esta técnica envolve a medição das respostas elétricas do cérebro a estímulos sensoriais ou motores. Durante a cirurgia, os potenciais evocados podem ser utilizados para monitorar a integridade das vias nervosas e detectar qualquer comprometimento funcional. Estudos indicam que o uso de potenciais evocados reduz significativamente o risco de déficits neurológicos pós-operatórios<sup>7,9</sup>.

A estimulação cortical direta é uma técnica que permite a identificação e preservação de áreas funcionais críticas do cérebro durante a cirurgia. Durante a ressecção de gliomas, eletrodos são utilizados para estimular diretamente o córtex cerebral, e as respostas motoras ou sensoriais são monitoradas. Isso permite ao cirurgião mapear com precisão as áreas eloquentes e ajustar a ressecção para evitar danos a essas regiões. A estimulação cortical direta é especialmente útil em tumores localizados em áreas eloquentes do cérebro<sup>2,5,7</sup>.

A integração do monitoramento neurofisiológico com outras tecnologias, como a neuronavegação e a ressonância magnética intraoperatória, melhora ainda mais a segurança e a eficácia da ressecção de gliomas. A combinação dessas abordagens permite uma visualização precisa do tumor e das estruturas cerebrais adjacentes, enquanto o monitoramento neurofisiológico garante que as funções neurológicas sejam preservadas. Essa abordagem integrada resulta em uma ressecção mais segura e eficaz,

reduzindo os riscos de complicações neurológicas<sup>6,8,10</sup>.

O monitoramento neurofisiológico intraoperatório requer uma equipe especializada e altamente treinada. A interpretação correta dos dados neurofisiológicos é crucial para a tomada de decisões intraoperatórias. A coordenação entre o cirurgião e os neurofisiologistas é essencial para garantir que as informações sejam utilizadas de forma eficaz para guiar a ressecção do tumor. Programas de treinamento e simulação são importantes para desenvolver as habilidades necessárias e garantir a precisão do monitoramento<sup>3,7</sup>.

### **Abordagens Multimodais**

A combinação de múltiplas técnicas avançadas, conhecida como abordagem multimodal, tem se mostrado altamente eficaz na ressecção de gliomas. A integração de RM intraoperatória, mapeamento cerebral, fluorescência guiada por 5-ALA, neuronavegação e monitoramento neurofisiológico proporciona uma visão abrangente e precisa do tumor e das estruturas cerebrais adjacentes. Essa abordagem integrada permite uma ressecção mais segura e eficaz, reduzindo os riscos de complicações e melhorando os desfechos clínicos<sup>7,8,9</sup>.

A integração de várias modalidades começa com um planejamento pré-operatório detalhado. Imagens de alta resolução, como a ressonância magnética (RM) e a tomografia computadorizada (TC), são utilizadas para mapear a anatomia cerebral e identificar a localização exata do tumor. Essas imagens são então combinadas com técnicas de mapeamento cerebral para delinear as áreas funcionais críticas. A fluorescência guiada por 5-ALA é usada durante a cirurgia para visualizar o tecido tumoral, enquanto a neuronavegação guia a ressecção com precisão milimétrica<sup>3,6,7</sup>.

Durante a cirurgia, o monitoramento neurofisiológico é utilizado para garantir a preservação das funções neurológicas. A combinação dessas técnicas permite ao cirurgião ajustar continuamente a abordagem cirúrgica com base em informações em tempo real. Estudos mostram que a utilização de abordagens multimodais está associada a uma maior taxa de ressecção total do tumor e a uma menor incidência de déficits neurológicos pós-operatórios<sup>5,6,8</sup>.

A abordagem multimodal também permite uma melhor adaptação às

variabilidades individuais dos pacientes. Cada glioma é único, e a combinação de várias técnicas permite uma personalização da cirurgia com base nas características específicas do tumor e do cérebro do paciente. Isso resulta em uma ressecção mais eficaz e segura, maximizando a remoção tumoral enquanto minimiza os riscos de complicações<sup>6,10</sup>.

Os benefícios das abordagens multimodais têm sido amplamente documentados na literatura científica. Estudos comparativos mostram que pacientes submetidos a ressecções guiadas por abordagens multimodais apresentam melhores desfechos clínicos em comparação com aqueles submetidos a cirurgias tradicionais. A taxa de ressecção completa é significativamente maior, e os pacientes têm uma recuperação mais rápida e uma melhor qualidade de vida após a cirurgia<sup>4,6</sup>.

Apesar dos benefícios significativos, a implementação de abordagens multimodais também apresenta desafios. A coordenação de várias tecnologias e técnicas requer uma equipe cirúrgica altamente especializada e treinada. A interpretação e a integração das informações provenientes de diferentes modalidades podem ser complexas, exigindo uma comunicação eficaz e uma colaboração estreita entre os membros da equipe. Programas de treinamento e simulação são essenciais para desenvolver as habilidades necessárias e garantir a eficácia das abordagens multimodais<sup>1,2,3</sup>.

A evolução contínua das tecnologias e técnicas utilizadas nas abordagens multimodais promete ainda mais avanços na ressecção de gliomas. Novas inovações, como a utilização de inteligência artificial e realidade aumentada, estão sendo exploradas para melhorar ainda mais a precisão e a eficácia da cirurgia. A inteligência artificial pode ajudar a integrar e interpretar grandes volumes de dados de diferentes modalidades, oferecendo suporte adicional para a tomada de decisões intraoperatórias. A realidade aumentada pode fornecer uma visualização ainda mais detalhada e intuitiva do campo cirúrgico<sup>5,6</sup>.

### **Personalização do Tratamento**

A personalização do tratamento cirúrgico, adaptando as estratégias de ressecção às características individuais de cada paciente e tumor, é fundamental para o sucesso da cirurgia. Fatores como a localização do tumor, a idade do paciente, o estado funcional

pré-operatório e a agressividade do glioma devem ser considerados ao planejar a ressecção. Estudos indicam que a personalização do tratamento melhora significativamente os resultados cirúrgicos e a qualidade de vida dos pacientes<sup>6,7,9</sup>.

Uma das principais estratégias de personalização é a utilização de perfis moleculares e genéticos para guiar a escolha das terapias. A análise genômica dos tumores permite identificar mutações específicas e outras alterações genéticas que podem ser alvo de terapias direcionadas. Por exemplo, mutações no gene IDH1 são comuns em gliomas de baixo grau e estão associadas a um melhor prognóstico. Pacientes com essas mutações podem se beneficiar de terapias direcionadas que visam especificamente as vias moleculares alteradas<sup>3,5,6,8</sup>.

Além da genômica, a análise do microambiente tumoral também desempenha um papel crucial na personalização do tratamento. O microambiente tumoral inclui células imunes, vasos sanguíneos, e componentes da matriz extracelular que interagem com as células tumorais e influenciam o comportamento do tumor. Estudos têm demonstrado que o microambiente tumoral pode impactar a resposta aos tratamentos e a progressão do tumor. A personalização do tratamento com base nas características do microambiente pode melhorar a eficácia das terapias e reduzir a resistência ao tratamento<sup>6,7</sup>.

A integração de dados clínicos, moleculares e de imagem em plataformas de medicina de precisão é outra abordagem fundamental para a personalização do tratamento. Essas plataformas utilizam algoritmos avançados e inteligência artificial para analisar grandes volumes de dados e identificar padrões que podem guiar as decisões terapêuticas. A personalização baseada em dados permite uma abordagem mais holística e informada, considerando múltiplos fatores para otimizar o plano de tratamento<sup>3,5,7</sup>.

Além das terapias direcionadas, a personalização do tratamento também inclui a adaptação das intervenções cirúrgicas. A neuronavegação guiada por imagem, o mapeamento cerebral intraoperatório e o monitoramento neurofisiológico são utilizados para planejar e executar ressecções tumorais de forma precisa, respeitando as áreas funcionais críticas do cérebro de cada paciente. Essa abordagem personalizada minimiza os riscos de déficits neurológicos pós-operatórios e melhora os desfechos

funcionais<sup>5,6,7</sup>.

A personalização do tratamento também se estende às terapias adjuvantes. A dosagem e o cronograma da radioterapia e da quimioterapia podem ser ajustados com base nas características individuais do paciente e do tumor. Ensaios clínicos estão explorando regimes de tratamento personalizados que combinam diferentes modalidades terapêuticas de forma otimizada para cada paciente. Essas abordagens têm o potencial de melhorar a eficácia do tratamento e reduzir os efeitos colaterais<sup>1,6,7</sup>.

### **Desafios e Limitações**

Apesar dos avanços significativos na personalização do tratamento de gliomas, vários desafios e limitações permanecem. A complexidade biológica dos gliomas, a heterogeneidade intratumoral e a resistência ao tratamento são alguns dos principais obstáculos que dificultam a implementação eficaz de abordagens personalizadas<sup>5,10</sup>.

A heterogeneidade intratumoral é um dos desafios mais significativos na personalização do tratamento. Gliomas são conhecidos por apresentar uma diversidade de subclones celulares com diferentes perfis genéticos e moleculares dentro do mesmo tumor. Essa heterogeneidade pode resultar em respostas variáveis aos tratamentos e contribuir para a resistência terapêutica. Identificar e direcionar todas as subpopulações celulares dentro do tumor é um desafio contínuo que requer abordagens avançadas de análise genômica e técnicas de imagem<sup>1,5,6</sup>.

A resistência ao tratamento é outro desafio crítico. Mesmo quando as terapias são inicialmente eficazes, os gliomas podem desenvolver mecanismos de resistência que permitem a sobrevivência e a proliferação das células tumorais. A resistência pode surgir através de mutações secundárias, ativação de vias de sinalização alternativas, ou modificações epigenéticas. Superar a resistência ao tratamento exige uma compreensão profunda dos mecanismos subjacentes e o desenvolvimento de terapias combinadas que possam direcionar múltiplas vias moleculares simultaneamente<sup>4,5,7</sup>.

A disponibilidade e o acesso a tecnologias avançadas de análise genômica e terapias direcionadas também representam uma limitação significativa. Essas tecnologias podem ser caras e exigir infraestrutura especializada, o que pode limitar sua aplicação em centros médicos menos equipados. Além disso, a interpretação dos dados

genômicos e a integração com a prática clínica requerem expertise especializada, o que pode ser um desafio em alguns contextos<sup>7,8,10</sup>.

A variabilidade na resposta dos pacientes às terapias é outra limitação. Mesmo com a personalização baseada em perfis moleculares, os pacientes podem apresentar respostas diferentes aos tratamentos devido a fatores biológicos e clínicos individuais. Ensaios clínicos personalizados são necessários para validar as abordagens de tratamento em diferentes subgrupos de pacientes e para identificar biomarcadores que possam prever a resposta ao tratamento<sup>4,5,8</sup>.

Os aspectos éticos e regulatórios também desempenham um papel importante na implementação da personalização do tratamento. A coleta e o uso de dados genômicos e clínicos requerem a garantia de privacidade e confidencialidade dos pacientes. Além disso, a aprovação regulatória de novas terapias direcionadas e combinações de tratamento pode ser um processo demorado e complexo, atrasando a disponibilidade dessas abordagens para os pacientes<sup>1,7,10</sup>.

Finalmente, a colaboração interdisciplinar é essencial para a personalização eficaz do tratamento de gliomas. Neurocirurgiões, oncologistas, radiologistas, geneticistas e cientistas de dados precisam trabalhar juntos para integrar informações de diversas fontes e desenvolver planos de tratamento personalizados. A comunicação e a coordenação eficazes entre diferentes disciplinas são fundamentais para superar os desafios e limitações da personalização do tratamento<sup>3,6,8</sup>.

A personalização do tratamento de gliomas oferece uma abordagem promissora para melhorar os desfechos dos pacientes, adaptando as intervenções terapêuticas às características individuais de cada paciente e tumor. No entanto, desafios significativos, como a heterogeneidade intratumoral, a resistência ao tratamento, a disponibilidade de tecnologias avançadas, e a necessidade de colaboração interdisciplinar, precisam ser abordados para realizar plenamente o potencial da personalização na neurocirurgia oncológica<sup>5,7</sup>.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A abordagem personalizada ao tratamento de gliomas representa um avanço significativo na neurocirurgia oncológica, oferecendo potencial para melhorar os

desfechos dos pacientes ao adaptar as intervenções terapêuticas às características individuais de cada caso. Utilizando perfis moleculares e genéticos, análise do microambiente tumoral, e tecnologias avançadas de medicina de precisão, é possível desenvolver planos de tratamento mais eficazes e menos tóxicos. No entanto, para alcançar plenamente o potencial da personalização do tratamento, é necessário superar desafios críticos, como a heterogeneidade intratumoral, resistência ao tratamento, e limitações na disponibilidade e interpretação de tecnologias avançadas.

A integração interdisciplinar entre neurocirurgiões, oncologistas, geneticistas e cientistas de dados é essencial para a implementação bem-sucedida de abordagens personalizadas, permitindo uma análise abrangente e o desenvolvimento de terapias combinadas eficazes. A personalização do tratamento de gliomas, apesar dos desafios, oferece uma oportunidade promissora para transformar o manejo desses tumores complexos, proporcionando uma melhoria significativa na qualidade de vida e na sobrevida dos pacientes. É crucial continuar a pesquisa e os ensaios clínicos para validar e aprimorar essas estratégias, garantindo que os avanços na personalização do tratamento sejam amplamente acessíveis e benéficas para todos os pacientes.

## REFERÊNCIAS

Correa C, Soares MS, Cabrera HTN, Figueiredo EG, Teixeira MJ. Gliomas: casuística cirúrgica em um hospital-escola quaternário. *Arq bras neurocir* [Internet]. 2011; Available from: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-602488>

Guilherme, Cunha P, Junior, Letícia Arruda Vasconcelos, Gabriela M, Lucas Sousa Cavalcante, et al. Neuroproteção na ressecção cirúrgica de gliomas cerebrais: revisão da evidência atual. *Brazilian Journal of Development*. 2023 May 8;9(05):15394–408.

Lynch JC, Câmara L, Escosteguy C, Kislánov S, Pereira C, Berteli J. Glioma supratentorial de baixo grau em adulto: experiência com 23 pacientes operados. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*. 2004 Jun;62(2b):507–12.

Motta R. Ultrassonografia intraoperatória para identificar tumor residual em ressecção de glioma. *Radiologia Brasileira* [Internet]. 2019 [cited 2024 Aug 13];52(5):312–3. Available from: [http://www.rb.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=3192&idioma=Portugues](http://www.rb.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3192&idioma=Portugues)

Paulo, Santana G, Íris Cristina Brock, Camporeze B. Cirurgia com neurofisiologia intraoperatória para ressecção microcirúrgica dos gliomas de alto grau de área motora em pacientes desacordados com anestesia geral (ASLLEP). Melhor resultado que em pacientes acordados com testes funcionais? [Internet]. *Revista da Faculdade de Ciências*



Médicas de Sorocaba. 2018 [cited 2024 Jun 13]. Available from:  
<https://revistas.pucsp.br/index.php/RFCMS/article/view/40069>

Santana G, Íris Cristina Brock, Paulo. Cirurgia com neurofisiologia intraoperatória para ressecção microcirúrgica dos gliomas de alto grau de área motora em pacientes desacordados com anestesia geral (asleep). Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba. 2022 Jun 28;22(4):163–7.

Saúde C. Epidemiologic Evaluation of Operated Gliomas, Neurosurgery Unit, at the Base Hospital of the Federal District. 2018;29(1):7–14. Available from:  
[https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/periodicos/ccs\\_artigos/avaliacao\\_epidemiologica\\_gliomas.pdf](https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/periodicos/ccs_artigos/avaliacao_epidemiologica_gliomas.pdf)

Valadares AD, Souza-Kaneshima AM, Kaneshima EN, Fernandes IL, Jordão IP, Souza P da C, et al. Perfil Anatomopatológico e Imuno-histoquímico de Gliomas de Pacientes da Região de Maringá-PR. Revista Brasileira de Cancerologia [Internet]. 2021 Jul 21 [cited 2022 Jul 31];67(3):e–101287. Available from:  
<https://rbc.inca.gov.br/index.php/revista/article/view/1287>

Viegas CP, Leote J, Silvestre A, Pérez-Hick A, Albuquerque L, Sá MC e. Ressecção de um Gliossarcoma com Cirurgia Acordada para Mapeamento da Linguagem: Resection of a Gliosarcoma Using Awake Language Mapping. Gazeta Médica [Internet]. 2017 Sep 29 [cited 2023 Nov 15]; Available from:  
<https://gazetamedica.pt/index.php/gazeta/article/view/60>

Vilar M, Brandão M, Divaldo J, De P, Júnior A, Larré N, et al. Brazilian Journal of Health Review. Brazilian Journal of Health Review [Internet]. [cited 2024 Jun 13];(2):5761–8. Available from:  
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/download/26566/21061/68254>