



## **AVANÇOS NO TRATAMENTO CIRÚRGICO DE TRAUMATISMO CRANIOENCEFÁLICO (TCE): TÉCNICAS EMERGENTES E SUAS IMPLICAÇÕES NA RECUPERAÇÃO NEUROLÓGICA.**

Advances in the Surgical Treatment of Traumatic Brain Injury (TBI): Emerging Techniques and their Implications in Neurological Recovery.

Avances en el tratamiento quirúrgico del daño cerebral traumático (TBI): técnicas emergentes y sus implicaciones en la recuperación neurológica.

### **Artigo de revisão**

DOI: [10.5281/zenodo.13644652](https://doi.org/10.5281/zenodo.13644652)

|Recebido: 23/08/2024 | Aceito: 30/08/2024 | Publicado: 03/09/2024

Ítalo Íris Boiba Rodrigues da Cunha  
Graduando em Medicina  
Universidade Nilton Lins-UNL, Manaus-AM, Brasil  
Email: [italoboiba@hotmail.com](mailto:italoboiba@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-5224-7887>

Lorena Karen de Moraes Moura Castro  
Graduanda em Medicina  
UNINOVAFAPI AFYA, Teresina-PI, Brasil  
Email: [lorennakaren@yahoo.com.br](mailto:lorennakaren@yahoo.com.br)  
<https://orcid.org/0000-0003-4671-5450>

Antônio Carlos da Silva Araújo Neto  
Graduanda em Medicina  
Universidade Nilton Lins-UNL, Manaus-AM, Brasil  
Email : [acsaneto@gmail.com](mailto:acsaneto@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0009-2191-8850>

Lílian de Melo Bona  
Graduanda em Medicina  
UNINOVAFAPI AFYA, Teresina-PI, Brasil  
Email : [lih.melo.bona@gmail.com](mailto:lih.melo.bona@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0005-7011-9482>

Leilane Lira da Cunha  
Graduanda em Medicina  
Universidade Nilton Lins-UNL, Manaus-AM, Brasil  
Email : [leilanelira@hotmail.com](mailto:leilanelira@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0004-0841-5371>



Gabriel Antunes Ribeiro Mendes  
Graduado em Medicina  
Universidade Federal do Piauí-UFPI, Teresina-PI, Brasil  
Email: gabriel.arm@outlook.com  
<https://orcid.org/0000-0003-3162-0264>

Alaíne Sttefany Martins do Carmo  
Graduanda em Medicina  
CENTRO UNIVERSITÁRIO APARÍCIO CARVALHO – FIMCA, Porto Velho-RO, Brasil  
Email : alainesttefany@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0006-9450-3996>

Aline Maria de Melo Amorim  
Graduanda em Medicina  
Universidade Nilton Lins-UNL, Manaus-AM, Brasil  
Email : alinermmelo@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0002-1476-6683>

Nailma Taynara da Costa Machado  
Graduanda em Medicina  
Universidade Estadual do Piauí-UESPI, Teresina-PI, Brasil  
Email : nailmataynara@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0003-2409-7890>

Fernanda Lima Ferreira  
Graduanda em Medicina  
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO -MANAUS/AM,Brasil  
Email: schneiderlfernanda@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0005-7595-7354>



*This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), and a [LOCKSS \(Lots of Copies Keep Stuff Safe\)](https://lockss.org/) sistem.*

## RESUMO

**Introdução:** O Traumatismo Cranioencefálico (TCE) é uma das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo, frequentemente resultando em déficits neurológicos permanentes. Nos últimos anos, avanços significativos nas técnicas cirúrgicas têm oferecido novas perspectivas para o tratamento desses casos, visando minimizar danos cerebrais e melhorar a recuperação dos pacientes. **Objetivos:** Analisar os avanços recentes nas técnicas cirúrgicas emergentes para o tratamento de traumatismo cranioencefálico (TCE). **Metodologia:** A pesquisa foi realizada através do acesso online nas bases de dados National Library of Medicine (MEDLINE), Scientific Electronic Library Online (SCIELO), literatura latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) no mês de agosto de 2024. **Resultados e Discussões:** Os avanços nas técnicas cirúrgicas para o tratamento do TCE, como a cirurgia minimamente invasiva, neuroendoscopia e a utilização de dispositivos de monitoramento intracraniano, têm



demonstrado melhora nos desfechos neurológicos dos pacientes. Estudos recentes indicam que a intervenção precoce e menos invasiva pode reduzir a pressão intracraniana, minimizar danos secundários e acelerar a recuperação funcional. No entanto, os resultados variam conforme a gravidade da lesão e o tempo de intervenção. As técnicas emergentes apresentam grande potencial, mas ainda carecem de estudos de longo prazo para comprovar sua eficácia e segurança em diferentes populações. A personalização do tratamento, levando em consideração o tipo e a extensão do TCE, será essencial para otimizar os resultados clínicos. Conclusão: As técnicas cirúrgicas emergentes para o tratamento do TCE têm mostrado avanços promissores na melhora da recuperação neurológica, especialmente com abordagens menos invasivas. Embora os resultados iniciais sejam encorajadores, mais estudos são necessários para avaliar os efeitos a longo prazo e a aplicabilidade em diferentes perfis de pacientes. A evolução contínua dessas tecnologias e a personalização do tratamento serão fundamentais para otimizar os desfechos clínicos no manejo do TCE.

Palavras Chaves: Traumatismo; cranioencefálico; Tratamento Cirúrgico; craniotomia; Descompressiva

#### ABSTRACT

**Introduction:** Traumatic brain injury (TBI) is one of the main causes of morbidity and mortality worldwide, often resulting in permanent neurological deficits. In recent years, significant advances in surgical techniques have offered new perspectives for the treatment of these cases, aiming to minimize brain damage and improve patient recovery. **Objectives:** To analyze recent advances in emerging surgical techniques for the treatment of traumatic brain injury (TBI). **Methodology:** The research was carried out through online access to the National Library of Medicine (MEDLINE), Scientific Electronic Library Online (SCIELO), Latin American and Caribbean Literature in Health Sciences (LILACS) databases in the month of August 2024. **Results and Discussions:** Advances in surgical techniques for the treatment of TBI, such as minimally invasive surgery, neuroendoscopy and the use of intracranial monitoring devices, have demonstrated improvements in patients' neurological outcomes. Recent studies indicate that early and less invasive intervention can reduce intracranial pressure, minimize secondary damage, and accelerate functional recovery. However, results vary depending on the severity of the injury and the length of intervention. Emerging techniques have great potential, but there is still a lack of long-term studies to prove their effectiveness and safety in different populations. Personalizing treatment, taking into account the type and extent of TBI, will be essential to optimize clinical results. **Conclusion:** Emerging surgical techniques for the treatment of TBI have shown promising advances in improving neurological recovery, especially with less invasive approaches. Although the initial results are encouraging, more studies are needed to evaluate the long-term effects and applicability in different patient profiles. The continued evolution of these technologies and the personalization of treatment will be fundamental to optimizing clinical outcomes in the management of TBI.

**KEYWORDS:** Traumatic brain injury; Surgical Treatment; Decompressive Craniotomy



## RESUMEN

**Introducción:** El traumatismo craneoencefálico (TCE) es una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel mundial, resultando a menudo en déficits neurológicos permanentes. En los últimos años, importantes avances en las técnicas quirúrgicas han ofrecido nuevas perspectivas para el tratamiento de estos casos, con el objetivo de minimizar el daño cerebral y mejorar la recuperación del paciente. **Objetivos:** Analizar los avances recientes en las técnicas quirúrgicas emergentes para el tratamiento del traumatismo craneoencefálico (TCE). **Metodología:** La investigación se realizó mediante acceso en línea a las bases de datos de la Biblioteca Nacional de Medicina (MEDLINE), Biblioteca Electrónica Científica en Línea (SCIELO), Literatura Latinoamericana y del Caribe en Ciencias de la Salud (LILACS) en el mes de agosto de 2024. **Resultados y Discusiones:** Los avances en las técnicas quirúrgicas para el tratamiento del TCE, como la cirugía mínimamente invasiva, la neuroendoscopia y el uso de dispositivos de monitorización intracraneal, han demostrado mejoras en los resultados neurológicos de los pacientes. Estudios recientes indican que una intervención temprana y menos invasiva puede reducir la presión intracraneal, minimizar el daño secundario y acelerar la recuperación funcional. Sin embargo, los resultados varían según la gravedad de la lesión y la duración de la intervención. Las técnicas emergentes tienen un gran potencial, pero aún faltan estudios a largo plazo que demuestren su eficacia y seguridad en diferentes poblaciones. Personalizar el tratamiento, teniendo en cuenta el tipo y extensión del TCE, será fundamental para optimizar los resultados clínicos. **Conclusión:** Las técnicas quirúrgicas emergentes para el tratamiento del TCE han mostrado avances prometedores en la mejora de la recuperación neurológica, especialmente con enfoques menos invasivos. Aunque los resultados iniciales son alentadores, se necesitan más estudios para evaluar los efectos a largo plazo y la aplicabilidad en diferentes perfiles de pacientes. La evolución continua de estas tecnologías y la personalización del tratamiento serán fundamentales para optimizar los resultados clínicos en el tratamiento del TCE.

**Palabras clave:** Lesión cerebral traumática; Tratamiento Quirúrgico; Craneotomía descompresiva

## INTRODUÇÃO

O traumatismo cranioencefálico (TCE) é uma condição grave que resulta de lesões na cabeça e pode envolver danos não apenas ao cérebro, mas também a outras estruturas do crânio. Este tipo de trauma pode causar fraturas no crânio, lesões no couro cabeludo e comprometimentos funcionais das meninges, do encéfalo ou de seus vasos sanguíneos. O TCE é uma das principais causas de morte e invalidez em todo o mundo, afetando especialmente crianças e jovens (Oliveira et al., 2020).

Para classificar a gravidade do TCE, utiliza-se a Escala de Coma de Glasgow (ECG), que divide os casos em três categorias: (1) leve, com pontuação entre 14 e 15; (2) moderado, com pontuação entre 9 e 13; e (3) grave, com pontuação entre 3 e 8. No último caso, o paciente pode estar em coma. O crânio desempenha um papel crucial ao proteger o cérebro, e por isso, traumas





na cabeça são preocupantes (Guidão & Souza, 2020).

Os traumatismos cranianos podem ser classificados em dois tipos principais: fraturas com afundamento e fraturas lineares. As fraturas com afundamento envolvem fragmentos ósseos que se deslocam para dentro, comprimindo o tecido cerebral adjacente. Esse tipo de fratura pode expor o cérebro ao ambiente externo e a materiais estranhos, resultando em complicações como compressão, ruptura e trombose dos seios venosos adjacentes (Santos et al., 2020).

No Brasil, o TCE representa um grave problema de saúde pública, não apenas pela sua alta incidência, mas também por impactar principalmente jovens em idade reprodutiva. Os custos públicos, tanto diretos, com despesas médicas, quanto indiretos, como o afastamento do trabalho e a perda de produtividade, são significativos. Além disso, as lesões podem resultar em alterações cognitivas, físicas e comportamentais, onerando o sistema de saúde e comprometendo a qualidade de vida das vítimas e de suas famílias. Muitos pacientes conseguem recuperar parcialmente suas funções, mas a maioria ainda apresenta déficits residuais ao longo da vida (Almeida & Brasileiro, 2018).

Entre as principais causas de TCE estão quedas, agressões físicas, acidentes em ambientes domésticos, acidentes de trânsito e atividades esportivas. O trauma pode ser classificado como aberto ou fechado. O trauma aberto ocorre quando há penetração no crânio, com exposição dos tecidos cranianos e possível infecção intracraniana. Já o trauma fechado, geralmente resultado de impactos e movimentos de aceleração e desaceleração, pode não causar fraturas estruturais no encéfalo, mas ainda pode levar a contusões, hemorragias ou edemas, resultando em lesão cerebral devido à compressão (Araújo & Souza, 2021).

Os principais sinais de traumatismo craniano incluem dor de cabeça intensa, sonolência, alterações no nível de consciência, amnésia, náuseas, sangramento pelo nariz ou ouvidos, fala desconexa, perda da orientação temporal e ferimentos extensos. O tratamento e a reabilitação de pacientes com TCE são complexos e dividem-se em várias fases: (i) fase pré-trauma, que antecede o trauma; (ii) fase aguda, que vai desde o atendimento inicial até a internação em CTI/UTI; (iii) fase intensiva, que se estende do CTI/UTI até a alta hospitalar; (iv) fase de recuperação, com educação e treinamento em um programa de reabilitação; e (v) fase ambulatorial, que envolve o estabelecimento de uma nova rotina de vida (Brennan, P. M.; Murray, G. D.; Teasdale, 2018).

A reabilitação pode envolver uma equipe multidisciplinar, incluindo fisioterapeutas,



terapeutas ocupacionais, fonoaudiólogos e psicólogos, que auxiliam o paciente a reaprender atividades diárias e oferecem suporte aos familiares e cuidadores. O tratamento pode ser conservador, utilizando medicamentos e monitoramento de parâmetros como pressão intracraniana e oxigenação cerebral, ou cirúrgico, especialmente em casos de hematomas, lacerações ou contusões cerebrais significativas (Caetano et al., 2021).

As lesões cerebrais são divididas em primárias e secundárias. As lesões primárias ocorrem no momento do trauma e causam danos diretos ao cérebro. Já as lesões secundárias surgem após o trauma, resultantes de processos fisiológicos sistêmicos que afetam o cérebro e podem levar à morte de células não diretamente atingidas no momento do acidente. O prognóstico do TCE não depende apenas da gravidade do dano inicial, mas também da qualidade do atendimento recebido, como tratamento de emergência adequado e rápida identificação de complicações secundárias. A prevenção de danos neurológicos irreversíveis depende da correção dos fenômenos associados ao dano cerebral secundário (Silva et al., 2021).

Estudos indicam que 80% dos pacientes com TCE são classificados como leves e, geralmente, apresentam uma recuperação sem complicações. No entanto, cerca de 20% dos pacientes podem desenvolver disfunções neurológicas graves. As causas mais comuns de TCE são acidentes de trânsito e quedas, que implicam em choques mecânicos com a caixa craniana. A maioria dos TCEs, mesmo os leves, pode ter efeitos duradouros, sendo uma das consequências mais preocupantes a demência, além de comprometimentos na memória, atenção, linguagem e velocidade de processamento de informações (Brennan, P. M.; Murray, G. D.; Teasdale, 2018).

O tratamento do TCE pode ser conservador, utilizando medicamentos e monitoramento, ou cirúrgico, dependendo da gravidade e localização das lesões. A escolha do tratamento leva em consideração o tamanho e o impacto das lesões, com o objetivo de minimizar danos e promover a melhor recuperação possível para o paciente (Soares et al., 2021).

Desse modo, o principal objetivo deste estudo é analisar os avanços recentes em abordagens cirúrgicas emergentes para o tratamento de traumatismo cranioencefálico (TCE).

## METODOLOGIA

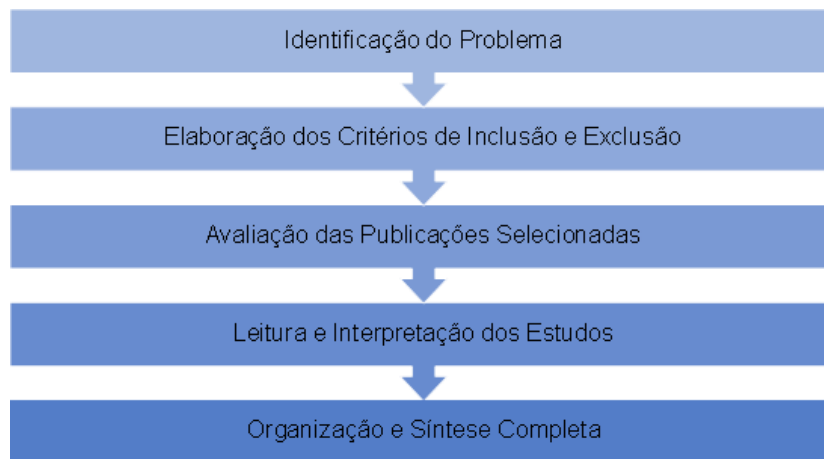
Trata-se de um estudo exploratório, analítico e de caráter descritivo, que utiliza a Revisão Integrativa da Literatura (RIL). A RIL proporciona uma gama de resultados aplicáveis à prática por meio de diferentes publicações realizadas ao longo dos anos, com diversas abordagens



metodológicas, incorporando assim conceitos e evidências de diferentes processos metodológicos.

A coleta de dados foi realizada a partir de periódicos indexados em Bibliotecas Virtuais em Saúde (BVS), como a Biblioteca Científica Eletrônica Online (SCIELO), o Sistema Online de Busca e Análise de Literatura Médica (MEDLINE) e a Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), por meio da junção de três Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) cruzados com o operador booleano “AND”: “Traumatismo cranioencefálico” AND “Tratamento Cirúrgico” AND “Craniotomia Descompressiva”.

Figura 01 - Etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Os autores (2024).

Foram selecionados para inclusão os seguintes critérios de elegibilidade: artigos originais, revisões sistemáticas e integrativas disponíveis gratuitamente, publicados entre 2018 e 2024, e escritos em português ou inglês. Critérios de inelegibilidade incluíram publicações não científicas, pesquisas incompletas, resumos, monografias, dissertações e teses.

Os artigos foram selecionados com base nos critérios estabelecidos a partir dos títulos. Em seguida, os resumos foram analisados e, finalmente, os artigos foram lidos na íntegra. Se o artigo estivesse em conformidade com a temática proposta, era selecionado para o estudo. Um instrumento foi elaborado para a coleta direta de informações nas bases de dados selecionadas para compor esta revisão.

Utilizando os três DeCS: “Traumatismo cranioencefálico” AND “Tratamento Cirúrgico” AND “Craniotomia Descompressiva”, foram encontrados 1.850 artigos nas bases de dados. Após



a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, o número de publicações foi reduzido para 280. Após a análise detalhada das pesquisas, apenas 28 publicações foram escolhidas para integrar este estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento cirúrgico do traumatismo cranioencefálico (TCE) tem evoluído significativamente ao longo das últimas décadas, à medida que novas tecnologias e abordagens cirúrgicas emergem para enfrentar os desafios associados a essa condição. O TCE, uma das principais causas de morte e incapacidade no mundo, resulta de lesões traumáticas no cérebro, que podem variar de contusões e hematomas a edemas e lacerações. Os pacientes com TCE grave frequentemente requerem intervenções cirúrgicas, pois o controle dos danos e a preservação da função cerebral são essenciais para a sobrevivência e a recuperação neurológica (Rosa et al., 2020).

Historicamente, o tratamento cirúrgico do TCE estava limitado a técnicas bastante invasivas e de abordagem ampla, nas quais os neurocirurgiões buscavam remover lesões expansivas como hematomas epidurais e subdurais, ou realizar craniectomias descompressivas para aliviar a pressão intracraniana. A craniectomia descompressiva, uma das principais intervenções, envolve a remoção de uma parte do crânio para permitir que o cérebro inchado se expanda, prevenindo danos adicionais causados pelo aumento da pressão intracraniana. Embora eficaz em muitos casos, essa técnica tem limitações consideráveis, como o risco de infecções, lesões em estruturas cerebrais delicadas e a dificuldade de prever completamente os resultados funcionais de longo prazo (Guidão & Souza, 2020).

Nos últimos anos, o panorama do tratamento cirúrgico de TCE tem se transformado com o surgimento de abordagens minimamente invasivas e tecnologias de imagem avançadas que auxiliam os cirurgiões a planejarem e executar procedimentos com maior precisão e menos risco para o paciente. A navegação neurocirúrgica assistida por imagem, por exemplo, utiliza exames de ressonância magnética (RM) ou tomografia computadorizada (TC) para guiar a cirurgia em tempo real, permitindo uma visualização detalhada das áreas afetadas do cérebro. Essa tecnologia melhora a precisão das intervenções, reduzindo a necessidade de grandes incisões e, conseqüentemente, minimizando os riscos de complicações como infecções e hemorragias (Oliveira et al., 2020).





Outra técnica emergente é o uso da endoscopia cerebral, que permite a remoção de coágulos ou a drenagem de hematomas através de pequenos acessos, em vez das grandes craniotomias utilizadas anteriormente. Essa abordagem minimamente invasiva é especialmente útil em casos de hematomas intraparenquimatosos e hidrocefalia pós-traumática, condições em que o acúmulo de líquido cefalorraquidiano exerce pressão sobre o cérebro. A endoscopia oferece uma recuperação mais rápida, com menos dor e complicações, permitindo que os pacientes retornem às suas atividades diárias em um período mais curto (Dash & Chavali, 2018).

Além das técnicas cirúrgicas diretamente aplicadas no TCE, a monitorização intracraniana em tempo real tem desempenhado um papel crucial no tratamento moderno. A medição da pressão intracraniana (PIC) e a monitorização da oxigenação cerebral proporcionam aos cirurgiões uma visão imediata do estado neurológico do paciente, auxiliando nas decisões críticas. Esses avanços são complementados por tecnologias emergentes, como a estimulação elétrica e a neuromodulação, que, embora ainda em fases experimentais, mostram-se promissoras na redução de sequelas neurológicas pós-TCE (Oliveira et al., 2020).

Entretanto, apesar de todos esses avanços, ainda há desafios consideráveis no tratamento do TCE. A identificação de quais pacientes se beneficiariam de intervenções cirúrgicas e o momento ideal para realizá-las continua a ser uma área de intensa pesquisa. Estudos mostram que, em muitos casos, a intervenção cirúrgica precoce pode melhorar os resultados, mas também há situações em que a cirurgia agressiva pode aumentar os riscos de complicações, como danos cerebrais secundários ou infecções (Fatima et al., 2019).

Adicionalmente, o treinamento de neurocirurgiões para o uso dessas novas tecnologias é um aspecto fundamental para garantir a segurança e eficácia dos tratamentos. O custo elevado dos equipamentos avançados, como sistemas de navegação assistida por imagem e robôs cirúrgicos, limita o acesso a esses tratamentos em muitas regiões do mundo, criando uma disparidade nos resultados para pacientes com TCE, especialmente em países em desenvolvimento (Rosa et al., 2020).

Em conclusão, o tratamento cirúrgico do traumatismo cranioencefálico encontra-se em um estágio de evolução contínua. As técnicas emergentes, aliadas a tecnologias de ponta, estão transformando o panorama da neurocirurgia, oferecendo novas esperanças para pacientes com lesões cerebrais traumáticas. No entanto, apesar dos avanços, o TCE continua a ser uma condição complexa e desafiadora, exigindo abordagens multidisciplinares e contínua inovação para



melhorar os resultados a longo prazo e garantir uma recuperação neurológica mais eficaz (Jha, R. M.; Kochanek, P. M.; Simard, 2019).

### **Técnicas Cirúrgicas Emergentes**

As técnicas cirúrgicas emergentes para o tratamento do traumatismo cranioencefálico (TCE) têm proporcionado avanços significativos no manejo dessa condição, que continua a ser uma das principais causas de morte e incapacidade no mundo. Essas novas abordagens têm o objetivo de melhorar a precisão das intervenções, reduzir o risco de complicações e promover uma recuperação neurológica mais eficiente, ao mesmo tempo em que abordam limitações dos métodos históricos de tratamento cirúrgico do TCE. A evolução da neurocirurgia, auxiliada por inovações tecnológicas, está permitindo que os neurocirurgiões realizem procedimentos menos invasivos, mais seguros e com melhores resultados para os pacientes (O'Leary, 2018).

Uma das principais inovações no campo é o uso da neurocirurgia minimamente invasiva para reduzir a quantidade de tecido saudável afetado durante as operações e diminuir os riscos cirúrgicos. Diferente das abordagens convencionais que muitas vezes exigem grandes incisões e a remoção de parte do crânio, as técnicas minimamente invasivas utilizam pequenas incisões e instrumentos especializados para acessar as áreas danificadas do cérebro. A endoscopia cerebral é uma das principais ferramentas nessa abordagem, permitindo aos cirurgiões remover coágulos ou drenar hematomas com precisão por meio de acessos muito menores. A endoscopia é especialmente útil em casos de hematomas intraparenquimatosos e hidrocefalia pós-traumática, nos quais a remoção ou drenagem minimiza o aumento da pressão intracraniana, preservando o máximo de tecido cerebral saudável possível (Rabelo; Rabelo, Brito, 2020).

Além da endoscopia, o uso de craniectomias descompressivas aprimoradas também representa um avanço significativo. A craniectomia descompressiva, que envolve a remoção de parte do crânio para permitir que o cérebro inchado tenha espaço para se expandir, é uma técnica estabelecida no tratamento de TCE grave. No entanto, os avanços recentes têm melhorado essa técnica com a introdução de novos métodos de medição da pressão intracraniana e monitoramento cerebral em tempo real, permitindo que os cirurgiões ajustem com maior precisão a quantidade de crânio removido e a localização da remoção, minimizando os riscos de danos permanentes. Esses refinamentos ajudam a equilibrar a necessidade de descompressão com a proteção do cérebro e da função neurológica a longo prazo (Robba, C.; Citerio, 2019).



A navegação neurocirúrgica assistida por imagem é outra tecnologia emergente que tem transformado o campo da cirurgia para TCE. Utilizando imagens de ressonância magnética (RM), tomografia computadorizada (TC) e até mesmo ultrassonografia intraoperatória, os cirurgiões podem visualizar em tempo real a anatomia cerebral e localizar com precisão áreas de lesão, hematomas ou edema. Essa tecnologia permite que as intervenções sejam realizadas com maior segurança, minimizando a remoção desnecessária de tecido cerebral saudável e reduzindo as complicações pós-operatórias, como infecções e hemorragias. A precisão oferecida por essa navegação guiada por imagem tem sido fundamental para aumentar as taxas de sucesso cirúrgico, especialmente em casos complexos de TCE (Zhang, Z.; Guo, Q.; Wang, 2019).

Uma das áreas mais inovadoras e promissoras é o uso da cirurgia robótica e inteligência artificial (IA) no tratamento de TCE. A robótica cirúrgica permite uma precisão sem precedentes, com braços robóticos que podem realizar movimentos extremamente precisos e delicados, muitas vezes impossíveis para as mãos humanas. Essas tecnologias são particularmente úteis em cirurgias cerebrais delicadas, onde o menor erro pode resultar em danos irreversíveis ao tecido cerebral. Além disso, o uso de IA para planejar cirurgias está começando a ganhar destaque. Algoritmos de aprendizado de máquina podem analisar grandes quantidades de dados de exames de imagem e estudos de caso para sugerir as melhores abordagens cirúrgicas, personalizadas para as características específicas de cada paciente (Brennan, P. M.; Murray, G. D.; Teasdale, 2018).

Outras inovações incluem a impressão 3D, que permite aos cirurgiões criar réplicas exatas da anatomia cerebral dos pacientes antes de realizar a cirurgia. Isso permite um planejamento cirúrgico detalhado e a personalização de próteses ou placas cranianas para uso durante a cirurgia de reconstrução craniana. O uso de modelos 3D reduz os tempos cirúrgicos, melhora a precisão e ajuda a prever complicações, proporcionando um benefício significativo para o manejo do TCE grave (Robba, C.; Citerio, 2019).

As técnicas de neuromodulação e estimulação elétrica também estão começando a ser exploradas no contexto do TCE, com o objetivo de auxiliar na recuperação neurológica após a cirurgia. Embora ainda em fase experimental, essas tecnologias mostram potencial em restaurar ou melhorar as funções neurológicas afetadas, através da estimulação controlada de áreas específicas do cérebro. A neuromodulação pode ajudar a promover a neuroplasticidade, a capacidade do cérebro de se reorganizar após uma lesão, o que pode ser crucial para pacientes com danos neurológicos graves (Caetano et al., 2021).



No entanto, embora essas técnicas emergentes ofereçam promessas significativas, elas também apresentam desafios. O custo dessas tecnologias é elevado, o que pode limitar o acesso, especialmente em regiões menos desenvolvidas ou em sistemas de saúde com poucos recursos. Além disso, a necessidade de treinamento especializado para utilizar essas novas técnicas e tecnologias adequadamente representa outro obstáculo. A implementação eficaz dessas inovações requer a formação contínua de neurocirurgiões e a adaptação das instituições de saúde para incorporar essas tecnologias de maneira segura e eficaz (Dash & Chavali, 2018).

### **Avanços Tecnológicos no Tratamento de TCE**

Os avanços tecnológicos têm transformado significativamente o tratamento do traumatismo cranioencefálico (TCE), uma condição desafiadora provocada por lesões como quedas, acidentes e violência. Novas ferramentas e métodos têm surgido, proporcionando abordagens mais eficazes e menos invasivas e melhorando a recuperação neurológica dos pacientes (Bezerra et al., 2024).

Os sistemas de monitoramento intracraniano em tempo real são um dos principais avanços, permitindo a medição contínua da pressão intracraniana (PIC) e outros parâmetros cerebrais críticos. Esses sistemas são fundamentais para ajustar o tratamento de forma dinâmica e prevenir complicações graves, como herniações cerebrais e danos neurológicos irreversíveis (Bao et al., 2020).

A navegação neurocirúrgica assistida por imagem, utilizando tecnologias como ressonância magnética (RM), tomografia computadorizada (TC) e ultrassonografia intraoperatória, também tem sido crucial. Essas imagens tridimensionais ajudam a localizar com precisão áreas de lesão e a planejar intervenções, reduzindo o risco de complicações e melhorando os resultados (Bloom et al., 2019).

A cirurgia robótica representa um marco importante, oferecendo uma precisão milimétrica para procedimentos delicados em áreas críticas do cérebro. A integração da robótica com a navegação assistida por imagem melhora a precisão das intervenções e reduz o tempo de recuperação dos pacientes (Bujok et al., 2022).

A impressão 3D tem facilitado o planejamento cirúrgico ao criar modelos anatômicos precisos, permitindo intervenções personalizadas e a fabricação de próteses cranianas sob medida (Caixeta et al., 2021). Adicionalmente, a neuroimagem avançada, como a ressonância magnética





funcional (RMF) e a tomografia por emissão de pósitrons (PET), fornece informações detalhadas sobre a função cerebral, auxiliando na personalização dos tratamentos de reabilitação (Bezerra et al., 2024).

A inteligência artificial (IA) também está desempenhando um papel crescente, analisando grandes volumes de dados clínicos e de imagem para prever a evolução clínica dos pacientes e personalizar planos de tratamento (Hier et al., 2021). As técnicas de neuromodulação, como a estimulação magnética transcraniana (EMT) e a estimulação elétrica cerebral, estão sendo exploradas para promover a neuroplasticidade e a recuperação funcional após o trauma (Kochoyan et al., 2019).

Além disso, as biotecnologias regenerativas, incluindo o uso de células-tronco e fatores de crescimento, estão em desenvolvimento para reparar o tecido cerebral afetado, mostrando resultados promissores em ensaios clínicos iniciais (Dognin et al., 2021). As plataformas de telemedicina também têm sido essenciais, permitindo a gestão eficaz do TCE em áreas remotas através do monitoramento à distância e orientação especializada (Mathias et al., 2018).

Em resumo, os avanços tecnológicos no tratamento do TCE têm revolucionado a neurocirurgia e a neurologia, oferecendo abordagens mais precisas, menos invasivas e personalizadas, e melhorando significativamente os resultados para pacientes com TCE. Essas inovações estão aumentando as chances de sobrevivência e promovendo uma recuperação neurológica mais eficiente.

### **Riscos e Desafios Associados às Técnicas Emergentes**

Apesar das promessas significativas das novas técnicas para o tratamento do TCE, há uma série de riscos e desafios a serem considerados. A curva de aprendizado e o treinamento especializado necessário para o uso de tecnologias como cirurgia robótica e navegação neurocirúrgica são um desafio. O uso inadequado ou a falta de familiaridade com essas tecnologias podem aumentar o risco de complicações (Caixeta et al., 2021).

A segurança do paciente é outra preocupação crítica. Embora técnicas minimamente invasivas possam reduzir danos aos tecidos saudáveis, ainda há riscos associados à precisão das imagens e ao funcionamento dos sistemas robóticos. Pequenos erros podem levar a danos neurológicos e complicações (Bezerra et al., 2024). A dependência excessiva de tecnologias também pode diminuir o julgamento clínico, com a confiança em algoritmos de IA e sistemas



robóticos podendo introduzir novas vulnerabilidades (Sriyook & Gupta, 2023).

O custo elevado das novas tecnologias representa outro desafio, limitando o acesso em hospitais menores e regiões com menos recursos. Isso cria desigualdades no tratamento, perpetuando disparidades na recuperação dos pacientes (Vesterlund et al., 2023). A adoção dessas tecnologias também enfrenta barreiras financeiras e logísticas, com a necessidade de investimentos significativos em infraestrutura e treinamento (Dash & Chavali, 2018).

A falta de dados robustos sobre a eficácia a longo prazo das novas técnicas é uma preocupação adicional. Embora muitos métodos recentes mostrem benefícios em estudos iniciais, a eficácia a longo prazo ainda não é bem estabelecida (Kochoyan et al., 2019). Questões éticas relacionadas à responsabilidade médica e à precisão das tecnologias emergentes também precisam ser abordadas à medida que essas tecnologias se tornam mais prevalentes (Rabelo & Rabelo, 2018).

Por fim, a pressão para adotar rapidamente novas tecnologias pode introduzir riscos adicionais se não houver validação adequada. É essencial que as novas técnicas sejam rigorosamente testadas e monitoradas para garantir que seus benefícios superem os riscos (Santos et al., 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na última década, os avanços no tratamento cirúrgico do TCE têm sido fundamentais para melhorar os desfechos clínicos e a qualidade de vida dos pacientes. As inovações tecnológicas, como neurocirurgia minimamente invasiva, robótica cirúrgica e imagem avançada, têm aumentado a precisão das intervenções e minimizado danos a áreas cerebrais saudáveis. A integração de técnicas como monitoramento intracraniano em tempo real e neuromodulação tem aberto novas possibilidades para o controle da pressão intracraniana e a redução de complicações pós-cirúrgicas.

Esses avanços não só aumentam a sobrevivência em casos graves de TCE, mas também melhoram significativamente a recuperação neurológica, acelerando o processo de reabilitação e promovendo uma recuperação funcional mais eficaz. No entanto, a eficácia das novas técnicas a longo prazo e as implicações para a qualidade de vida pós-trauma ainda estão sendo avaliadas. O futuro do manejo cirúrgico do TCE se orienta para a otimização dos resultados, com foco na personalização e na integração de tecnologias emergentes, oferecendo uma esperança renovada



para pacientes e suas famílias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA,L.C.F. BRASILEIRO,M.E. Atuação do Enfermeiro no Atendimento ao Paciente com Traumatismo Crânioencefálico: Revisão Bibliográfica. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento; v.03, Ed. 05. 2018

ARAÚJO, J. C. de; ANDRADE SOUZA2, G. L. de . Perfil epidemiológico de internações por traumatismo cranioencefálico. Revista Atenas Higeia, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 30 - 34, 2021.

BAO, Ying-Cun et al. Midnight-noon ebb-flow acupuncture combined with rehabilitation therapy for severe craniocerebral trauma patients with vegetative state: a randomized controlled trial. Zhongguo Zhen jiu Chinese Acupuncture & Moxibustion, v. 40, n. 3, p. 234-238, 2020.

BEZERRA, Lucas Mainardo Rodrigues et al. TRAUMATISMO CRANIOENCEFÁLICO – DIAGNÓSTICO, TRATAMENTO E FATORES PROGNÓSTICOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 1-13, 22 set. 2024.

LOOM, Ben et al. A systematic review and meta-analysis of return to work after mild traumatic brain injury. Brain Injury, v. 32, n. 13-14, p. 1623-1636, 2018.

BRENNAN, P. M.; MURRAY, G. D.; TEASDALE, G. M. Simplifying the use of prognostic information in traumatic brain injury. Part 1: The GCS-Pupils score: an extended index of clinical severity. Journal of neurosurgery, v. 128, n. 6, p. 1612-1620, 2018

BUJOK, Jan et al. Open craniocerebral trauma in a patient at work: A case report. Work, v. 72, n. 3, p. 989-995, 2022.

CAETANO DA SILVA, Maria Isabel et al . Diagnósticos de enfermagem para pacientes com traumatismo cranioencefálico: revisão integrativa. Enferm. glob., Murcia , v. 20, n. 64, p. 584-628, 2021

CAIXETA, Talles Henrique et al. Desenvolvimento de algoritmo de inteligência artificial para detecção de hemorragias intracranianas pós-traumas cranioencefálicos e seus potenciais benefícios no SUS Fácil. 2021. F 94, Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Uberlândia, [S. L], 2021

DASH, H. H.; CHAVALI, S. Management of traumatic brain injury patients. Korean Journal of Anesthesiology, v. 71, n. 1, p. 12-21, feb. 2018.

FATIMA, N. et al Hypertonic Solutions in Traumatic Brain Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. Asian J Neurosurg; v.14, n.2, p.382-391, 2019

GUIDÃO NDBN, Souza DG. A humanização à vítima de traumatismo crânioencefálico: uma revisão narrativa. São Paulo: Rev Remecs ; v.5, n.9, p.20-26, 2020

HIER, Daniel B. et al. Blood biomarkers for mild traumatic brain injury: a selective review of unresolved issues. Biomarker Research, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2021.



JHA, R. M.; KOCHANNEK, P. M.; SIMARD, J. M. Pathophysiology and treatment of cerebral edema in traumatic brain injury. *Neuropharmacology*, v. 145, p. 230-246, feb. 2019.

KOCHOYAN, A. L. et al. The ability to recover cerebral function after an isolated craniocerebral trauma. *Sudebno-meditsinskaia Ekspertiza*, v. 62, n. 5, p. 58-63, 2019.

LEFEVRE-DOGNIN, Clémence et al. Definition and epidemiology of mild traumatic brain injury. *Neurochirurgie*, v. 67, n. 3, p. 218-221, 2021.

MAGALHÃES, Ana Luísa Gonçalves et al. Traumatic brain injury in Brazil: an epidemiological study and systematic review of the literature. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, v. 80, p. 410-423, 2022.

MATHIAS, Emanuel Luiz et al. ABORDAGEM ADEQUADA DO PACIENTE VÍTIMA DE TRAUMATISMO CRANIOENCEFÁLICO (TCE) NAS PRIMEIRAS HORAS APÓS O ACOMETIMENTO. *Revista Interdisciplinar Pensamento Científico*, v. 4, n. 3, 2018

O'LEARY, R. A.; NICHOL, A. D. Pathophysiology of severe traumatic brain injury. *Journal of Neurosurgical Sciences*, v. 62, n. 5, p. 542-548, oct. 2018.

OLIVEIRA, Stephanie Guardabassio de et al. Tratamento cirúrgico de traumatismo cranioencefálico com aprofundamento no Brasil nos anos de 2014 a 2018. *Brazilian Journal of Health Review*, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 1368-1383, 2 mar. 2020.

RABELO, N. N.; RABELO, N. N.; BRITO, J. S. Hipertensão intracraniana na emergência. In: *SOCIEDADE BRASILEIRA DE CLÍNICA MÉDICA. PROURGEM: Programa de Atualização em Medicina de Urgência e Emergência: Ciclo 12*. Porto Alegre: Artmed Panamericana; 2018. p. 57-97.

ROSA, Lara Mariana et al. ABORDAGEM INICIAL À VÍTIMA DE TRAUMATISMO CRANIOENCEFÁLICO. *Revista Científica Online*, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 1-12, 6 ago. 2023.

SANTOS, ANNA BEATRIZ MOURA et al. AVALIAÇÃO NEUROLÓGICA REALIZADA PELO ENFERMEIRO AO PACIENTE COM TRAUMA CRANIOENCEFÁLICO. 2022. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA, [S. l.], 2022.

SILVA, Priscila Ferraz et al. Perfil de pacientes com traumatismo cranioencefálico atendidos em um hospital de urgência e emergência. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.3, p. 29447-29462, mar, 2021.

SOARES FMM, Mesquita KKB, Teles LESP, Pequeno CLD, Magalhães DS, Freitas JG. Diagnósticos de enfermagem em pacientes neurológicos: estudo documental. *Rev Enferm Contemp*; v.10. n.2, p.306-314, 2021  
SRIYOOK, Aniwat; GUPTA, Rajiv. Imaging of Head Trauma: Pearls and Pitfalls. *Radiologic Clinics*, v. 61, n. 3, p. 535-549, 2023.

VESTERLUND, Ronja et al. “ABC om Lätt traumatisk hjärnskada hos vuxna” [Mild traumatic brain injuries]. *Läkartidningen*, vol. 120, 23122, 28 Nov. 2023.

ZHANG, Z.; GUO, Q.; WANG, E. Hyperventilation in neurological patients: from physiology to outcome evidence. *Current Opinion In Anaesthesiology*, v. 32, n.