



ISSN 2674-8169



Latindex



DOI



Estimulação cerebral profunda no Tratamento do tremor essencial: evidências atuais.

Keren Suely Rocha Bezerra¹, Raiane Maria Beserra de Brito¹, João Gabriel de Castro Correia¹, Yasmin Marques Fagundes Protásio¹, Rodrigo Dantas do Nascimento Filho¹, Maria Júlia Toscano de Azevedo Santos¹, Pedro Eduardo Gurjão de Gois¹, Ana Larissa Fernandes de Holanda Soares²



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2026v8n3p850-871>

Artigo recebido em 13 de Fevereiro e publicado em 13 de Março de 2026

REVISÃO INTEGRATIVA

RESUMO

Introdução: O tremor essencial (TE) é uma doença neurológica crônica com o potencial de impactar a qualidade de vida daqueles acometidos por ela, sobretudo em casos refratários. Nesse sentido, o presente artigo visa avaliar as evidências atuais e as perspectivas da estimulação cerebral profunda (ECP) como tratamento do TE. **Metodologia:** a revisão integrativa foi baseada em 35 estudos sobre a ECP no tratamento do TE. Utilizou-se a estratégia PICO e as bases de dados MEDLINE/PubMed, BVS e Science Direct para seleção dos artigos. **Resultados:** A ECP mostrou-se eficaz na redução do tremor essencial com melhora de até 87% no tremor contralateral e redução significativa de 66% nos marcos de pontuação da escala de classificação de tremor após 6 meses de tratamento contínuo. A segurança da ECP foi classificada como de risco aceitável, com efeitos adversos leves ou ajustáveis por meio de reprogramação. **Conclusão:** A ECP é uma abordagem eficaz e segura para o tratamento do TE refratário e se mostrou superior frente outras alternativas terapêuticas. Dentre os avanços tecnológicos, a ECPa é notória, mas a neuroplasticidade induzida pela estimulação crônica e a Habituação levam a perda gradual da eficácia a longo prazo.

Palavras-chave: Tremor essencial. Tratamento. Estimulação cerebral profunda.

Deep brain stimulation in the treatment of essential tremor: current evidence

ABSTRACT

Introduction: Essential tremor (ET) is a chronic neurological disorder that can impact the quality of life of those affected, especially in refractory cases. This article aims to evaluate the current evidence and perspectives of deep brain stimulation (DBS) as a treatment for ET. **Methodology:** The integrative review was based on 35 studies on DBS in the treatment of ET. The PICO strategy and the MEDLINE/PubMed, BVS, and Science Direct databases were used to select the articles. **Results:** DBS proved effective in reducing essential tremor, with an 87% improvement in contralateral tremor and a significant 66% reduction in tremor rating scale scores after 6 months of continuous treatment. The safety of DBS was rated as acceptable risk, with mild adverse effects or effects that could be adjusted through reprogramming. **Conclusion:** DBS is an effective and safe approach for treating refractory ET and has proven superior to other therapeutic alternatives. Among technological advances, ECPa is notorious, although neuroplasticity induced by chronic stimulation and habituation lead to a gradual loss of long-term efficacy.

Keywords: Essential tremor. Treatment. Deep brain stimulation

Instituição afiliada – Docente de Medicina da Universidade Potiguar-UNP. ² Doutora em ciências pela Universidade de São Paulo (FORP/USP)

Autor correspondente: Keren Suely Rocha Bezerra kerensuely10@gmail.com

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





INTRODUÇÃO

O tremor essencial (TE) é uma doença neurológica crônica e progressiva, que leva, principalmente, ao tremor cinético das mãos e braços. Essa condição afetou um total de 24,91 milhões de pessoas em 2020, das quais 56% eram homens².

Segundo a Sociedade Internacional de Parkinson e Distúrbios do Movimento o tremor é um movimento involuntário, rítmico e oscilatório de uma parte do corpo que pode ser caracterizado por um tremor de ação, isolado, bilateral e de membro superior³. O seu tratamento é amplo e varia conforme cada paciente, podendo se basear no manejo farmacológico (propranolol e primidona) ou cirúrgicos, dentre os quais está a estimulação cerebral profunda (ECP)⁴.

A ECP foi responsável por mudar a forma como doenças neurológicas são tratadas, sendo superior a outras abordagens cirúrgicas pois, dentre outras razões, não causa lesões e os parâmetros de estimulação podem ser adequados para equilibrar benefícios e riscos⁵.

Apesar de revolucionar o tratamento do TE ao longo do tempo e da sua relevância para o cenário atual da neurocirurgia, a ECP ainda não tem seu mecanismo específico de funcionamento bem compreendido, o seu uso é criterioso e deve ser avaliado conforme o paciente e conforme os riscos e os benefícios para que tenha eficácia significativa⁶.

Além disso, o rápido avanço na tecnologia e o surgimento de inteligência artificial (IA), ainda não muito explorado na literatura, mostra um novo contexto de possibilidades para a ECP no manejo do paciente com TE.

Nesse contexto, entende-se que o uso da ECP em tremores, apesar de maduro em alguns aspectos, requer estudos e discussões que, não apenas estimulem avanços, mas que possibilitem uma maior compreensão de seu funcionamento. O objetivo do presente estudo foi, desse modo, revisar a literatura existente no que tange a eficácia, mecanismo de ação, indicação clínica e perfil de segurança da ECP, assim como discutir avanços tecnológicos na terapia e suas perspectivas futuras no tratamento do TE.



METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão integrativa conduzida de acordo com os seguintes passos: 1) identificação do tema e construção da pergunta de pesquisa; 2) estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão; 3) definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados; 4) avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa; 5) interpretação dos resultados; 6) a exposição da revisão.

Como ferramenta de construção da pergunta de pesquisa foi utilizada a estratégia PICO. Desse modo, o primeiro elemento (P = população) diz respeito a pacientes portadores de TE, o segundo (I = Intervenção) corresponde ao manejo terapêutico com o método ECP, o terceiro (C = controle) foram pacientes portadores de TE que realizavam terapias convencionais que não a ECP e, por fim, o quarto (O = desfecho) buscou avaliar a eficácia e relevância do método ECP no tratamento de pacientes com tremor essencial. Dessa forma, a pergunta de pesquisa norteadora elaborada: “Como a ECP contribui para os avanços no tratamento e qualidade de vida de pacientes com TE?” foi utilizada para auxiliar na busca de artigos científicos e na estruturação de um objetivo de pesquisa claro, direcionado e específico.

Para o levantamento dos artigos na literatura, realizou-se uma busca em fevereiro de 2025 nas seguintes bases de dados: USA National Library of Medicine (MEDLINE/PubMed), Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e Science Direct. Na estratégia de busca foram utilizados operadores booleanos e Descritores em Ciência da Saúde (DeCS) e Medical Subjects Heading (MeSH) que juntos resultaram em (“Essential Tremor” AND “Treatment” AND “Deep Brain Stimulation”).

Como critério de inclusão, foram selecionados artigos disponíveis na íntegra, publicados entre 2020 e 2025, em língua inglesa e portuguesa, cujo tema e conteúdo contemplassem a pergunta norteadora determinada para a pesquisa em questão. Foram excluídos artigos duplicados e aqueles que não atenderam aos critérios de inclusão. Após a aplicação da estratégia de busca supracitada, foi feita a seleção prévia com base na leitura dos títulos e dos resumos, excluindo os que não correspondiam aos critérios de inclusão. Posteriormente, os trabalhos selecionados foram lidos na íntegra e foram excluídos aqueles que não estavam condizentes com o objetivo do estudo.



A extração dos dados, representada pelo fluxograma da Figura 1, inclui tais divisões para o fichamento: identificação (título, autor e ano de publicação), tipo de publicação, objetivo do estudo e principais resultados.

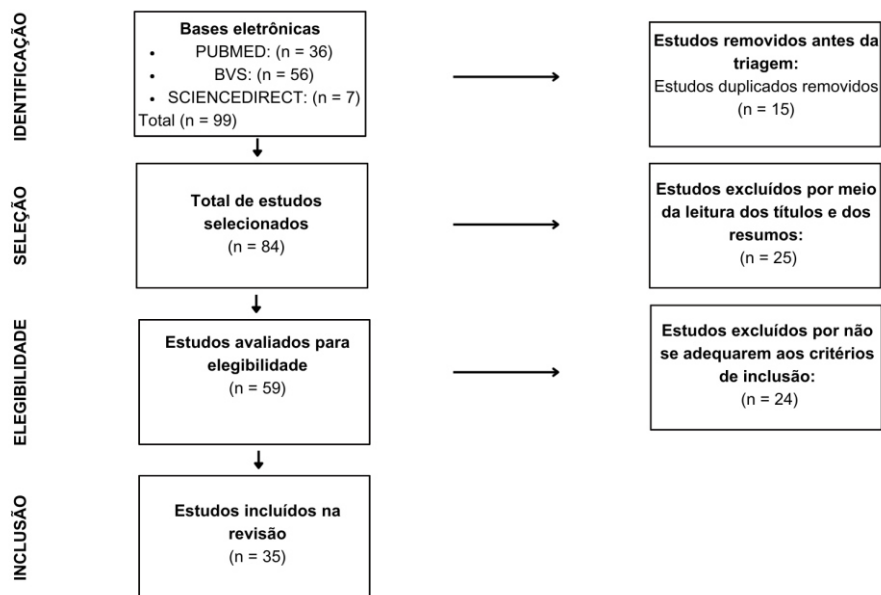


Figura 1: Fluxograma representando as etapas seguidas no processo de seleção dos artigos encontrados nas bases de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca pelos descritores resultou em um total de 99 artigos, distribuídos entre três bases de dados. Após uma triagem inicial realizada por sete avaliadores, com base nos critérios de inclusão e exclusão, 59 artigos foram selecionados por meio da leitura dos títulos e resumos. Posteriormente, uma análise mais aprofundada levou à escolha de 35 estudos, considerados os mais pertinentes para responder à pergunta norteadora desta pesquisa. As principais informações extraídas desses artigos estão organizadas no Quadro 1.

Quadro 1. Principais resultados obtidos de acordo com os artigos selecionados na presente revisão



Autores	Metodologia	Categoria	Principais resultados
Hopfner et al.,20208	Revisão de literatura	Eficácia da ECP	A ECP no núcleo ventral intermediário do tálamo resultou na redução de 87% dos tremores. A ECP melhora a qualidade de vida e é mais eficaz do que técnicas ablativas.
Peprah et al,20219	Revisão de literatura	Tecnologia da ECP	A ECP adaptativa (ECPa) com tecnologia BrainSense, contribuiu para a redução dos efeitos adversos e desconforto no paciente. Além da diminuição da utilização de energia envolvendo a prática
Chandra et al,202210	Metanálise	Eficácia da ECP	A ECP resultou em uma melhora média de 61,3% na escala de tremor (TRS) após a estimulação por um período de 20 meses. A estimulação bilateral mostrou tendência a ser mais eficaz (67,8%) que a unilateral(57,6%). Os efeitos adversos mais comuns foram: disartria(10,5%), cefaleia (6,7%) e parestesia(6,3%).
Lu et al,202011	Metanálise	Eficácia da ECP	A ECP é altamente eficaz para TE, com reduções que variam de 53% a 79%.Outros alvos anatômicos como o PSA e ZI podem ter melhor eficácia na supressão de tremores a depender do contexto
Kvermo et al,202212	Ensaio clínico randomizado	Eficácia da ECP	A estimulação da área subtalâmica posterior (PSA) foi superior à estimulação do núcleo ventral intermediário do tálamo (VIM) na redução do tremor do membro superior dominante.
Kremer et al,202113	Revisão sistemática	Eficácia da ECP	A ECP no núcleo VIM melhora o TE entre 55% a 65% em 6 meses, todavia essa eficácia reduz para 33% a 48% após 6 anos. Alvos alternativos como PSA e cZI indicaram eficácia de até 92%, com maior risco de instabilidade postural e disartria
Peters et al,202114	Revisão sistemática	Eficácia da ECP	Destaca-se que a eficácia da ECP para tremores, especialmente no VIM, pode diminuir ao passar do tempo devido a habituação. A habituação está intimamente atrelada a estimulação contínua de alta intensidade, bilateralidade e tremor de ação.
Zhang et al,202415	Revisão sistemática e metanálise	Eficácia da ECP	A análise de 33 estudos com 1251 pessoas mostrou que a ECP foi o tratamento mais eficaz para TE. Ela teve desempenho melhor que medicamentos como propranolol e atenolol. A ECP ficou em primeiro lugar no ranking de eficácia (SUCRA=0,97)
Hopfner et al,202416	Revisão de literatura	Indicações clínicas da ECP	O tratamento farmacológico com propranolol e primidona, a ECP e o Ultrassom focalizado se mostraram eficazes para a melhora do TE, sendo a de destaque a ECP. Os fármacos tiveram maior incidência para efeitos adversos
Loh et al,202217	Revisão sistemática	Mecanismo de ação da ECP	Em pacientes com TE, a ECP no núcleo VIM gerou ativações correlacionadas à melhora clínica, majoritariamente no cerebelo. ECP na zona incerta caudal (cZI) também modulou regiões sensorio-motoras de forma mais complexa.
Guidetti et al,202118	Revisão narrativa	Segurança da ECP	Em paciente com TE, a ECPa no VIM reduziu o tremor em 44% e consome 50% menos energia do que na ECP de prática convencional, mantendo eficácia clínica semelhante



Zhang et al,202419	Revisão sistemática	Indicações clínicas da ECP	ECP permanece como técnica mais consolidada em TE, mas há destaque crescente para MRgFUS, novos alvos como PSA e cZI e avanços de técnicas de localização
Frażczek et al,202120	Revisão de literatura	Tecnologia da ECP	A ECPa se mostrou mais eficaz na redução dos tremores e com melhor consumo de energia. O sistema usou LFPs corticais, com sensibilidade de até 91,8% e maior eficácia clínica. A versão final foi totalmente implantável e adaptável, com programação semi-automatizada.
Middlebrooks et al,202221	Ensaio Clínico randomizado	Eficácia da ECP	A ECP direcionada ao trato dDRTT reduziu o tremor em 64,6%, melhor que o placebo (44,8%) e o ajuste padrão (50,7%). Quanto mais próxima a estimulação do dDRTT, melhor os efeitos clínicos
Patel et al,202422	Revisão de literatura	Indicações clínicas da ECP	A ECP é eficaz e sustentada por até 10 anos, com PSA sendo alvo emergente; MRgFUS é eficaz em casos de condição não operável
Aleid et al,202323	Revisão de literatura	Segurança da ECP	ECP para TE apresentou melhora de 47,5% a 68% na situação de gravidade do tremor, com taxa de eventos adversos rondando entre 16,7% e 30%. Não houveram eventos graves relatados. Melhorias na qualidade de vida também foram observadas.
Erro et al,202224	Revisão de literatura	Mecanismo de ação da ECP	Destaca progressos na utilização de sensores para avaliar o tremor, avanços no entendimento da fisiopatologia e no tratamento, com: ECP, MRgFUS e novas drogas em desenvolvimento (T-channel blockers, moduladores GABA-A, etc.).
Alharbi et al. 202425	Revisão sistemática	Eficácia da ECP	O tratamento farmacológico oferece alívio temporário, mas têm efeitos colaterais e eficácia limitada. Por outro lado, a ECP melhora o controle motor a longo prazo, mas os tremores podem piorar com a progressão da doença.
Lefaucheur et al. 202426	Revisão de literatura	Eficácia da ECP	A ECP VIM é eficaz no controle do tremor, mas pode perder efeito com o tempo e causar efeitos colaterais. Alternativas, como a estimulação da área subtalâmica posterior, mostraram bons resultados com menos efeitos adversos.
Fenoy et al. 202427	Ensaio clínico	Eficácia da ECP	A ECP melhora significativamente os TES, influenciando a conectividade funcional, e tem a vantagem de ser ajustável conforme os sintomas.
Neudorfer et al. 202428	Revisão sistemática	Tecnologia da ECP	A ECP é eficaz no tratamento do TE e estudos recentes apontam o PSA como um alvo promissor. Apesar dos benefícios, a ECP pode apresentar complicações e perda de efetividade ao longo do tempo, exigindo ajustes individualizados.
Fan et al. 202229	Revisão sistemática	Mecanismo de ação da ECP	O estudo mostrou que a ECP na área subtalâmica posterior (PSA) foi mais eficaz e segura que no núcleo ventral intermediário (VIM) para tratar TE em 12–24 meses, com maior supressão do tremor (66,1% vs. 55,6%) e menor taxa de complicações (48,2% vs. 106,3%).
Hidding et al. 202230	Ensaio Clínico	Tecnologia da ECP	Novos algoritmos de ECP, como pulsos curtos e estimulação direcional, reduzem efeitos colaterais como ataxia e são mais eficazes na doença de Parkinson do que no TE.



Boogers et al. 202231	Ensaio Clínico randomizado	Tecnologia da ECP	Pulsos bifásicos e simétricos aumentaram a janela terapêutica, elevando o limiar de efeitos colaterais, sendo promissores para pacientes com TE e TWs pequenos.
Bai et al. 202232	Metanálise	Segurança da ECP	O estudo mostrou que o VIM-ECP oferece melhora sustentada no controle motor por até 4 anos, com estabilidade na função motora, mas queda na função da mão e nas atividades diárias devido à tolerância e progressão da doença. A pontuação pré-operatória e a frequência de estimulação influenciam os resultados a longo prazo.
Ondo, WG 202033	Revisão de literatura	Segurança da ECP	A resposta aos tratamentos variam entre pacientes, reforçando a importância da abordagem personalizada e da pesquisa contínua para terapias mais seguras e eficazes.
Wong et al. 202034	Revisão de literatura	Eficácia da ECP	A ECP é eficaz no controle do TE, especialmente no VIM, com avanços tecnológicos que melhoram a precisão e reduzem efeitos colaterais. Outros alvos também mostram potencial, e a personalização do tratamento é essencial devido aos possíveis efeitos adversos.
(Dembek et al. 2020)35	Estudo observacional retrospectivo	Eficácia da ECP	A eficácia da ECP no TE é maior quando a estimulação está próxima do DRTT, com a PSA mostrando melhores resultados que o VIM. O planejamento preciso é essencial.
(Steffen et al. 2020)36	Estudo clínico observacional	Eficácia da ECP	A estimulação bipolar direcional mostrou-se mais eficaz e com menos efeitos colaterais que a convencional, oferecendo melhor controle do tremor em pacientes com TE e parkinsoniano.
(Sandström et al. 2020)37	Estudo clínico observacional	Eficácia da ECP	A ECP pode reduzir a inteligibilidade da fala em alguns pacientes com TE, especialmente com estimulação no núcleo ventral intermediário (VIM). Ajustes nos parâmetros são essenciais para equilibrar controle do tremor e preservação da fala.
(Becker et al. 2020)38	Ensaio clínico randomizado	Segurança da ECP	A ECP reduz o tremor em ambos os alvos (VIM e PSA), mas o VIM tem maior risco de afetar a fala. A escolha do alvo e os ajustes da estimulação são cruciais para equilibrar fala e controle motor.
(Sharma et al. 2020)39	Revisão de literatura	Eficácia da ECP	O estudo conclui que propranolol e primidona são eficazes para casos leves, enquanto a ECP é uma opção eficaz para casos graves, apesar de possíveis efeitos colaterais. O ultrassom focalizado surge como alternativa promissora. O tratamento deve



			ser individualizado conforme o perfil do paciente.
(Loh et al. 2022) ¹⁷	Revisão sistemática	Tecnologia da ECP	A ECP altera a atividade cerebral em regiões motoras e cognitivas, com padrões de ativação específicos conforme o local estimulado. Essas mudanças ajudam a explicar sua eficácia no alívio dos sintomas, revelando os mecanismos por trás dos efeitos terapêuticos.

Fonte: Produzido pelos autores.

1. EFICÁCIA DA ECP

A ECP mostrou-se altamente eficaz no TE, com melhora de até 87% no tremor contralateral à estimulação e redução significativa de 66% nos marcos de pontuação da escala de classificação de tremor (TRS) após 6 meses de tratamento contínuo, segundo avaliação de revisores cegos⁸. De maneira corroborativa, um meta-análise envolvendo 26 estudos e 439 pacientes identificou que aqueles que foram submetidos tiveram uma melhora de 61,3% nas escalas objetivas do tremor, seguindo como padrão um seguimento médio de 20 meses, reforçando sua potência e eficácia pautada na clínica¹¹.

O núcleo ventral intermediário (VIM) do tálamo foi alvo mais manuseado entre os estudos analisados, sendo extremamente associado a reduções expressivas na intensidade do tremor. Em um coorte com 122 pacientes diagnosticados com TE, a estimulação utilizando o VIM como alvo anatômico resultou na melhora média de $2,49 \pm 0,96$ pontos na TRS após um tratamento de 12 meses, com diminuição entre 53% e 79% dos sintomas em procedimentos unilaterais, e entre 66% e 78% nas terapias bilaterais¹⁰. Em segmentos de longo prazo, a estimulação do VIM demonstrou manter a resposta na terapia com melhora funcional muito significativa e sustentada¹³.

Além de benefícios rápidos, estudos também ressaltam a durabilidade dos efeitos terapêuticos em relação a utilização no VIM, mesmo levando em consideração os ajustes periódicos dos parâmetros de estímulo, uma condição relevante no âmbito das doenças crônicas e progressivas como o TE^{24,13}. Comparações entre alvos também foram objeto de estudo, sugerindo que estruturas como a área subtalâmica posterior (PSA) podem manifestar eficácia semelhante ao VIM^{12,21}, principalmente em casos de



pacientes com tremor refratário e efeitos adversos inaceitáveis relacionadas a prática no VIM.

Nos estudos mais novos, nota-se também, como contrapartida, uma onda de tendência a reforçar a ECP como terapia de primeira linha em casos refratários. Revisões sistemáticas e metanálises firmam sua superioridade clínica frente a abordagens com a utilização de fármacos e cirurgias ablativas relacionadas ao tálamo, tanto em termos de controle motor quanto a sua segurança de prática ^{15,16,19,25,27}. Outros estudos consolidam e reforçam essa visão também, com metodologias e dados de primeira linha que sustentam o uso da ECP como intervenção de referência ^{29,30,31,32}.

Ainda que alternâncias nos protocolos e nos perfis amostrais limitem comparações de forma direta, a união dos resultados entre diferentes grupos cristaliza o papel da ECP como terapia eficaz na prática clínica.

2. SEGURANÇA DA DBS

A segurança durante os procedimentos também foi um tópico muito abordado e, de maneira geral, os estudos ressaltam que a ECP apresenta um perfil de risco aceitável, com o aparecimento de efeitos adversos leves, majoritariamente leves, autolimitados ou ajustáveis por meio de reprogramação dos parâmetros de estímulos. Fenômenos como parestesias, disartria ou desequilíbrio postural foram os mais incidentes, especialmente nas fases mais basais dos estímulos ^{11,18,23}.

Ademais, os avanços nas tecnologias recentes têm auxiliado diretamente para a otimização da prática, inferindo na melhora dos resultados e na habituação da ECP. Nesse sentido, a utilização de eletrodos direcionados permitiu maior precisão na entrega do estímulo e redução efetiva dos efeitos colaterais indesejados ³⁸. Da mesma maneira, melhorias nos sistemas de programação, com modelos clínicos mais refinados, facilitaram o ajuste personalizado dos parâmetros de estimulação³⁷. O desenvolvimento e produção de baterias recarregáveis também colocou a tona maior autonomia e conforto aos pacientes submetidos, reduzindo a necessidade de operações repetitivas para a troca da fonte³⁶.



Apesar de relatos mais pontuais de complicações envolvendo disartrias persistentes e parestesias, as informações atuais afirmam que, com profissionais capacitados e contextos adequados, a ECP mantém um perfil de segurança muito positivo³⁹.

3. MECANISMO DE AÇÃO DA ECP

O mecanismo exato pelo qual a ECP exerce seus efeitos terapêuticos ainda não é completamente compreendido, mas avanços recentes têm contribuído significativamente para elucidar essa questão.

A ECP consiste na implantação de eletrodos em áreas específicas do cérebro, comumente o VIM ou a PSA, os quais são alvos frequentes no tratamento do tremor essencial^{28,29}. A estimulação elétrica contínua modula a atividade neuronal patológica, interferindo em circuitos neurais disfuncionais, principalmente no trato dentato-rubro-talâmico, considerado essencial para a gênese do tremor^{21,31}.

Estudos com ressonância magnética funcional (RMF) têm demonstrado que a ECP não apenas influencia a atividade local do alvo estimulado, mas também afeta redes funcionais amplas, como as cortico-talâmicas e cerebelares^{17,39}. Isso indica que os efeitos da ECP são mediados por alterações na conectividade funcional entre regiões cerebrais distantes.

Ademais, a modulação da sincronização neural anormal constitui outro ponto importante em relação ao mecanismo de ação da ECP. Tremores como o essencial são frequentemente associados à oscilação rítmica excessiva em redes motoras. A estimulação elétrica pode interromper essas oscilações patológicas, promovendo uma reorganização da atividade rítmica cerebral^{9,27}.

A ECP pode atuar bloqueando a propagação de sinais motores anômalos, efeito que depende dos parâmetros de estimulação, como amplitude, frequência e direção^{10,30,35}. Avanços como a ECP adaptativa (ECPa), que ajusta esses parâmetros em tempo real com base em sinais cerebrais, têm mostrado melhor controle dos sintomas e menor ocorrência de efeitos adversos^{18,20}. No entanto, a perda gradual de eficácia ao longo do



tempo, possivelmente ligada à neuroplasticidade, ainda é um desafio a ser superado^{11,14}.

4. TECNOLOGIA DA ECP

A ECP é uma tecnologia avançada que utiliza impulsos elétricos controlados para modular a atividade de estruturas profundas do cérebro. Inicialmente desenvolvida para tratar sintomas motores da doença de Parkinson (DP), foi posteriormente adaptada com sucesso para o tratamento do TE^{8,22}.

Uma evolução significativa na tecnologia da ECP foi o desenvolvimento de eletrodos direcionais, que permitem moldar o campo de estimulação elétrica. Isso aumenta a eficácia clínica ao focar a estimulação em áreas específicas e reduzir efeitos adversos^{30,35}. Esses avanços ampliam a janela terapêutica.

Além dos eletrodos direcionais, outro progresso tecnológico importante é a ECPa, uma modalidade que ajusta automaticamente os parâmetros de estimulação com base em sinais fisiológicos em tempo real, como padrões de atividade elétrica cerebral. Essa tecnologia representa uma abordagem personalizada e responsiva, reduzindo o consumo de bateria e efeitos colaterais ao adaptar a estimulação às necessidades momentâneas do paciente^{9,18}.

A integração com tecnologias de imagem também tem se mostrado promissora. Estudos utilizando RMF para mapear os efeitos da ECP em tempo real revelam como a estimulação modula não apenas o local do eletrodo, mas redes cerebrais inteiras, o que pode ajudar a guiar ajustes de programação^{17,39}.

No entanto, mesmo com os avanços tecnológicos, os desafios persistem. A perda progressiva de eficácia em alguns pacientes, atribuída à habituação ou neuroplasticidade induzida pela estimulação crônica, destaca a importância de tecnologias adaptativas que possam mitigar esses efeitos ao longo do tempo^{13,14}.

Por fim, espera-se que futuras inovações tecnológicas avancem cada vez mais e possam integrar a inteligência artificial, visando otimizar o ajuste de parâmetros, promover interfaces cérebro-máquina mais intuitivas e ampliar o acesso a terapias de neuromodulação altamente individualizadas^{15,19,25}.



5. INDICAÇÕES CLÍNICAS DA ECP

As indicações clínicas da ECP vem se expandindo com o avanço da tecnologia e a compreensão dos mecanismos fisiopatológicos envolvidos. Inicialmente, a ECP foi aprovada para o tratamento da DP em estágios moderados a avançados, sendo indicada para pacientes com flutuações motoras graves, discinesias ou tremor incapacitante que não respondem adequadamente ao tratamento farmacológico^{9,22}. A terapia tem se mostrado eficaz principalmente na melhora da rigidez, bradicinesia e tremor parkinsoniano.

Outra indicação amplamente validada é o TE, sobretudo em pacientes com tremor incapacitante de membros superiores que não apresentam resposta satisfatória a agentes como propranolol ou primidona^{8,10}. Nestes casos, a ECP dirigida ao VIM tem mostrado eficácia significativa na redução dos sintomas motores^{11,13}.

Estudos também vêm demonstrando que a ECP pode ser uma alternativa viável em casos de tremor de predomínio axial ou distal, unilateral ou bilateral, sendo possível direcionar alvos distintos como o VIM ou a PSA, dependendo do padrão do tremor^{12,29}.

Além disso, a ECP tem sido estudada como opção para outras condições como distonia, transtorno obsessivo-compulsivo, epilepsia refratária e síndrome de Tourette, embora essas indicações ainda sejam consideradas experimentais em muitos centros^{19,25}.

Crerios clínicos rigorosos são aplicados na seleção de candidatos à ECP, sendo importante a exclusão de causas secundárias dos sintomas, avaliação neuropsicológica, estabilidade emocional, ausência de demência e expectativa realista de resultados^{24,39}. A avaliação multidisciplinar é essencial para garantir o sucesso da terapia.

O avanço da ECP e o uso de tecnologias de imagem e biomarcadores fisiológicos têm expandido as possibilidades de aplicação dessa terapia, incluindo casos mais precoces de DP e TE, bem como indivíduos com sintomas flutuantes ou atípicos^{18,20}.

Dessa forma, a ECP permanece como uma das ferramentas terapêuticas mais eficazes para distúrbios do movimento refratários, com indicações cada vez mais bem estabelecidas e suporte cada vez maior da literatura científica.



DISCUSSÃO

A ECP tem se consolidado como uma intervenção terapêutica de destaque no manejo de distúrbios neurológicos refratários, especialmente aqueles relacionados à motricidade^{15,19}. Inicialmente concebida para o tratamento da DP, a ECP demonstrou eficácia significativa na redução de sintomas como rigidez, bradicinesia e tremores incapacitantes, particularmente em pacientes nos quais o tratamento farmacológico apresenta limitações⁹.

Desde então, sua aplicação tem se expandido para outras condições, com destaque para o TE, cuja resposta à terapia convencional com agentes como propranolol e primidona pode ser insatisfatória em muitos casos. Nesses pacientes, a ECP aplicada ao VIM tem promovido melhoras funcionais importantes, permitindo a retomada da independência nas atividades da vida diária^{8,10}.

Essa ampliação das indicações clínicas é reflexo não apenas dos bons resultados terapêuticos obtidos, mas também da evolução na compreensão dos circuitos neurofuncionais envolvidos e dos critérios de seleção rigorosos utilizados na prática clínica. A escolha do alvo de estimulação, por exemplo, pode ser individualizada com base no padrão do tremor — axial, distal, unilateral ou bilateral — sendo possível utilizar tanto o VIM quanto a PSA para maximizar os benefícios clínicos^{12,29}. Além do TE e da DP, outras condições como distonia, epilepsia refratária, transtorno obsessivo-compulsivo e síndrome de Tourette têm sido estudadas como potenciais indicações, ainda que muitas delas permaneçam em caráter experimental^{15,19,25}.

A segurança durante os procedimentos de ECP é outro fator que sustenta sua crescente aceitação. A maioria dos estudos revela um perfil de risco considerado aceitável, com prevalência de efeitos adversos leves, transitórios ou passíveis de correção por meio da reprogramação dos parâmetros de estimulação. Sintomas como parestesias, disartria e desequilíbrio postural são os eventos mais frequentemente observados, sobretudo nas fases iniciais do processo de estimulação^{11,18,23}. A atuação



de equipes multidisciplinares experientes e a seleção adequada dos candidatos são essenciais para mitigar esses riscos e garantir maior segurança durante o tratamento³⁹.

Paralelamente, os avanços tecnológicos contribuíram de maneira decisiva para a otimização da ECP. O desenvolvimento de eletrodos direcionais permitiu maior precisão na entrega do estímulo, reduzindo efeitos adversos e aumentando a eficácia clínica^{9,18}. Da mesma forma, os progressos nos algoritmos de programação facilitaram o ajuste personalizado dos parâmetros, melhorando a resposta terapêutica³⁷. Outro marco importante foi a introdução das baterias recarregáveis, que proporcionam maior autonomia e reduzem a necessidade de substituições cirúrgicas frequentes, o que impacta positivamente no conforto e na adesão do paciente³⁶.

O mecanismo de ação da ECP, embora ainda não completamente elucidado, tem sido cada vez mais compreendido graças ao apoio de métodos de neuroimagem avançada e modelos neurofisiológicos. A modulação elétrica de áreas como o VIM ou a PSA interfere diretamente na atividade neuronal disfuncional, particularmente no trato dentato-rubro-talâmico, que desempenha papel central na gênese dos tremores^{21,28,29,31}. Além da modulação local, estudos com RMF evidenciam que a ECP influencia redes cerebrais amplas, incluindo os circuitos cortico-talâmicos e cerebelares, sugerindo que seus efeitos são mediados por alterações na conectividade funcional de longo alcance^{17,39}.

Outro aspecto fundamental é a capacidade da ECP de modular a sincronização neural anormal. Transtornos como o TE são frequentemente marcados por oscilações rítmicas patológicas, e a estimulação elétrica contínua pode interromper esses padrões, promovendo uma reorganização mais fisiológica da atividade neural. Essa interrupção da propagação de sinais motores anômalos depende diretamente dos parâmetros de estimulação, como frequência, amplitude e polaridade, os quais devem ser cuidadosamente ajustados para cada indivíduo^{9,27}.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



Dentro desse contexto, destaca-se a ECPa, uma tecnologia emergente que ajusta dinamicamente os parâmetros de estimulação com base em sinais fisiológicos em tempo real^{9,18}. A abordagem personalizada não apenas melhora o controle dos sintomas, como também reduz a ocorrência de efeitos colaterais e o consumo energético do sistema. Apesar dos benefícios, um dos desafios persistentes é a perda gradual de eficácia em alguns pacientes, que pode estar relacionada a mecanismos de neuroplasticidade induzida pela estimulação crônica^{13,14}.

O futuro da ECP aponta para a incorporação de tecnologias ainda mais sofisticadas, como inteligência artificial, algoritmos preditivos e interfaces cérebro-máquina mais intuitivas^{15,19,25}. Essas inovações visam não apenas ampliar o espectro de condições tratáveis, mas também promover uma neuromodulação altamente personalizada, com máxima eficácia e mínimo risco. O uso combinado de biomarcadores fisiológicos, neuroimagem em tempo real e plataformas digitais integradas poderá redefinir os paradigmas atuais da terapia, tornando a ECP uma ferramenta ainda mais poderosa no tratamento de distúrbios neurológicos e psiquiátricos complexos.

REFERÊNCIAS

1. CLARK LN, LOUIS ED. Essential tremor. *Handb Clin Neurol* 2018;147:229–39. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63233-3.00015-4>.
2. Song P, Zhang Y, Zha M, Yang Q, Ye X, Yi Q, et al. The global prevalence of essential tremor, with emphasis on age and sex: A meta-analysis. *J Glob Health* n.d.;11:04028. <https://doi.org/10.7189/jogh.11.04028>.
3. Bhatia KP, Bain P, Bajaj N, Elble RJ, Hallett M, Louis ED, et al. Consensus Statement on the classification of tremors. from the task force on tremor of the International Parkinson and Movement Disorder Society. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc* 2018;33:75–87. <https://doi.org/10.1002/mds.27121>.
4. Okelberry T, Lyons KE, Pahwa R. Updates in essential tremor. *Parkinsonism Relat Disord* 2024;122:106086. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2024.106086>.
5. Lozano AM, Lipsman N, Bergman H, Brown P, Chabardes S, Chang JW, et al.



- Deep brain stimulation: current challenges and future directions. *Nat Rev Neurol* 2019;15:148–60. <https://doi.org/10.1038/s41582-018-0128-2>.
6. Lee DJ, Lozano CS, Dallapiazza RF, Lozano AM. Current and future directions of deep brain stimulation for neurological and psychiatric disorders. *J Neurosurg* 2019;131:333–42. <https://doi.org/10.3171/2019.4.JNS181761>.
 7. Iorio-Morin C, Fomenko A, Kalia SK. Deep-Brain Stimulation for Essential Tremor and Other Tremor Syndromes: A Narrative Review of Current Targets and Clinical Outcomes. *Brain Sci* 2020;10:925. <https://doi.org/10.3390/brainsci10120925>.
 8. Hopfner F, Deuschl G. Managing Essential Tremor. *Neurother J Am Soc Exp Neurother* 2020;17:1603–21. <https://doi.org/10.1007/s13311-020-00899-2>.
 9. Authors, Pevrah K, Horton J. Adaptive Deep Brain Stimulation for the Treatment of Parkinson Disease and Essential Tremor: CADTH Horizon Scan. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; 2021.
 10. Chandra V, Hilliard JD, Foote KD. Deep brain stimulation for the treatment of tremor. *J Neurol Sci* 2022;435:120190. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2022.120190>.
 11. Lu G, Luo L, Liu M, Zheng Z, Zhang B, Chen X, et al. Outcomes and Adverse Effects of Deep Brain Stimulation on the Ventral Intermediate Nucleus in Patients with Essential Tremor. *Neural Plast* 2020;2020:2486065. <https://doi.org/10.1155/2020/2486065>.
 12. Kvernmo N, Konglund AE, Reich MM, Roothans J, Pripp AH, Dietrichs E, et al. Deep Brain Stimulation for Arm Tremor: A Randomized Trial Comparing Two Targets. *Ann Neurol* 2022;91:585–601. <https://doi.org/10.1002/ana.26317>.
 13. Kremer NI, Pauwels RWJ, Pozzi NG, Lange F, Roothans J, Volkmann J, et al. Deep Brain Stimulation for Tremor: Update on Long-Term Outcomes, Target Considerations and Future Directions. *J Clin Med* 2021;10:3468. <https://doi.org/10.3390/jcm10163468>.
 14. Peters J, Tisch S. Habituation After Deep Brain Stimulation in Tremor Syndromes: Prevalence, Risk Factors and Long-Term Outcomes. *Front Neurol* 2021;12:696950. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.696950>.
 15. Zhang J, Yan R, Cui Y, Su D, Feng T. Treatment for essential tremor: a systematic review and Bayesian Model-based Network Meta-analysis of RCTs. *EClinicalMedicine* 2024;77:102889. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2024.102889>.



16. Hopfner F, Buhmann C, Classen J, Holtbernd F, Klebe S, Koschel J, et al. Tips and tricks in tremor treatment. *J Neural Transm Vienna Austria* 1996 2024;131:1229–46. <https://doi.org/10.1007/s00702-024-02806-x>.
17. Loh A, Gwun D, Chow CT, Boutet A, Tasserie J, Germann J, et al. Probing responses to deep brain stimulation with functional magnetic resonance imaging. *Brain Stimulat* 2022;15:683–94. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.03.009>.
18. Guidetti M, Marceglia S, Loh A, Harmsen IE, Meoni S, Foffani G, et al. Clinical perspectives of adaptive deep brain stimulation. *Brain Stimulat* 2021;14:1238–47. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2021.07.063>.
19. Zhang L, Cui S, Bi H, Chen Q, Kan M, Wang C, et al. The research focus and frontiers in surgical treatment of essential tremor. *Front Neurol* 2024;15:1499652. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1499652>.
20. Fra Czek TM, Ferleger BI, Brown TE, Thompson MC, Haddock AJ, Houston BC, et al. Closing the Loop With Cortical Sensing: The Development of Adaptive Deep Brain Stimulation for Essential Tremor Using the Activa PC+S. *Front Neurosci* 2021;15:749705. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.749705>.
21. Middlebrooks EH, Okromelidze L, Carter RE, Jain A, Lin C, Westerhold E, et al. Directed stimulation of the dentato-rubro-thalamic tract for deep brain stimulation in essential tremor: a blinded clinical trial. *Neuroradiol J* 2022;35:203–12. <https://doi.org/10.1177/19714009211036689>.
22. Patel MD, Patel M, Jani R, Patel KG, Patel P, Gandhi SK. Essential Tremors: A Literature Review of Current Therapeutics. *Cureus* 2024;16:e59451. <https://doi.org/10.7759/cureus.59451>.
23. Aleid A, Aleid M, Alehaiwi G, Alharbi H, Alhuthayli A, Al Rebih ZM, et al. Advancements in the Clinical Outcomes of Functional Neurosurgery With Deep Brain Stimulation for Movement Disorders: A Literature Review. *Cureus* 2023;15:e40350. <https://doi.org/10.7759/cureus.40350>.
24. Erro R, Fasano A, Barone P, Bhatia KP. Milestones in Tremor Research: 10 Years Later. *Mov Disord Clin Pract* 2022;9:429–35. <https://doi.org/10.1002/mdc3.13418>.
25. Alharbi O, Albaibi SA, Almutairi AA, Alsaqabi E, Alharbi M, Alharbi BS, et al. The Pharmacological Management of Essential Tremor and Its Long-Term Effects on Patient Quality of Life: A Systematic Review. *Cureus* 2024;16:e76016. <https://doi.org/10.7759/cureus.76016>.
26. Lefaucheur J-P, Moro E, Shirota Y, Ugawa Y, Grippe T, Chen R, et al. Clinical



- neurophysiology in the treatment of movement disorders: IFCN handbook chapter. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol* 2024;164:57–99. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2024.05.007>.
27. Fenoy AJ, Chu ZD, Ritter RJ, Conner CR, Kralik SF. Evaluating functional connectivity differences between DBS ON/OFF states in essential tremor. *Neurother J Am Soc Exp Neurother* 2024;21:e00375. <https://doi.org/10.1016/j.neurot.2024.e00375>.
 28. Neudorfer C, Kultas-Ilinsky K, Ilinsky I, Paschen S, Helmers A-K, Cosgrove GR, et al. The role of the motor thalamus in deep brain stimulation for essential tremor. *Neurother J Am Soc Exp Neurother* 2024;21:e00313. <https://doi.org/10.1016/j.neurot.2023.e00313>.
 29. Fan H, Bai Y, Yin Z, An Q, Xu Y, Gao Y, et al. Which one is the superior target? A comparison and pooled analysis between posterior subthalamic area and ventral intermediate nucleus deep brain stimulation for essential tremor. *CNS Neurosci Ther* 2022;28:1380–92. <https://doi.org/10.1111/cns.13878>.
 30. Hidding U, Schaper M, Gulberti A, Buhmann C, Gerloff C, Moll CKE, et al. Short pulse and directional thalamic deep brain stimulation have differential effects in parkinsonian and essential tremor. *Sci Rep* 2022;12:7251. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11291-9>.
 31. Boogers A, Peeters J, Van Bogaert T, Asamoah B, De Vloo P, Vandenberghe W, et al. Anodic and symmetric biphasic pulses enlarge the therapeutic window in deep brain stimulation for essential tremor. *Brain Stimulat* 2022;15:286–90. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.01.012>.
 32. Bai Y, Yin Z, Diao Y, Hu T, Yang A, Meng F, et al. Loss of long-term benefit from VIM-DBS in essential tremor: A secondary analysis of repeated measurements. *CNS Neurosci Ther* 2022;28:279–88. <https://doi.org/10.1111/cns.13770>.
 33. Ondo WG. Current and Emerging Treatments of Essential Tremor. *Neurol Clin* 2020;38:309–23. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2020.01.002>.
 34. Wong JK, Hess CW, Almeida L, Middlebrooks EH, Christou EA, Patrick EE, et al. Deep brain stimulation in essential tremor: targets, technology, and a comprehensive review of clinical outcomes. *Expert Rev Neurother* 2020;20:319–31. <https://doi.org/10.1080/14737175.2020.1737017>.
 35. Dembek TA, Petry-Schmelzer JN, Reker P, Wirths J, Hamacher S, Steffen J, et al. PSA and VIM DBS efficiency in essential tremor depends on distance to the dentatorubrothalamic tract. *NeuroImage Clin* 2020;26:102235. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2020.102235>.
 36. Steffen JK, Reker P, Mennicken FK, Dembek TA, Dafsari HS, Fink GR, et al.



Bipolar Directional Deep Brain Stimulation in Essential and Parkinsonian Tremor. *Neuromodulation* 2020:543–9.

37. Sandström L, Blomstedt P, Karlsson F, Hartelius L. The Effects of Deep Brain Stimulation on Speech Intelligibility in Persons With Essential Tremor. *J Speech Lang Hear Res* 2020:456–71.
38. Becker J, Thies T, Petry-Schmelzer JN, Dembek TA, Reker P, Mücke D, et al. The effects of thalamic and posterior subthalamic deep brain stimulation on speech in patients with essential tremor - A prospective, randomized, doubleblind crossover study. *Brain Lang* 2020:104724–104724.
39. Sharma S, Pandey S. Treatment of essential tremor: current status. *Postgrad Med J* 2020:84–93.

