

AVANÇOS NA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL PARA AVALIAÇÃO DE DOENÇAS NEURODEGENERATIVAS

ADVANCES IN FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING FOR THE EVALUATION OF NEURODEGENERATIVE DISEASES

João Pedro do Valle Varela¹

Kerlen de Sousa Martins²

Alice Borem Camargos³

Júlia Pinheiro Amantéa Vilela⁴

Maria Luisa Araujo Lopes⁵

Izabel Brito Teixeira⁶

Hamilton Ricardo Moreira de Oliveira Carriço⁷

Jaqueline Carrara Folly Valente⁸

Ciro Cunha Daruich Tannus⁹

Isadora Larissa Morozewsky Costa¹⁰

Enrico Resende Carletti¹¹

Rodney Freire Andrade¹²

-
- | | |
|----|---------------------------|
| 1 | UniSãoCarlos |
| 2 | UniSãoCarlos |
| 3 | PUC Minas |
| 4 | PUC Minas |
| 5 | PUC Minas |
| 6 | PUC Minas |
| 7 | Unisul Pedra Branca |
| 8 | Universidade de Vassouras |
| 9 | Unig Itaperuna |
| 10 | EMESCAM |
| 11 | Multivix Vitória |
| 12 | Famesc |



Paulo Victor Elias Sobrinho¹³

Yago Machado dos Reis¹⁴

Beatriz Rebonato de Souza Ribeiro¹⁵

Wanessa de Oliveira Gualandi¹⁶

Resumo: A ressonância magnética funcional (fMRI) tem se tornado uma ferramenta indispensável na pesquisa e avaliação clínica de doenças neurodegenerativas, como Alzheimer, Parkinson e esclerose lateral amiotrófica (ELA). Sua capacidade de mapear alterações no fluxo sanguíneo cerebral associadas à atividade neuronal fornece insights sobre os mecanismos subjacentes a essas doenças, permitindo avanços no diagnóstico e no acompanhamento. Este trabalho visa analisar os avanços recentes na aplicação da fMRI na avaliação de doenças neurodegenerativas, destacando sua utilidade na detecção precoce, no monitoramento da progressão da doença e na avaliação de respostas terapêuticas. A revisão bibliográfica explora o uso de ressonância magnética funcional (fMRI) no estudo de doenças neurodegenerativas, abordando avanços técnicos, biomarcadores baseados em conectividade funcional, e aplicações de aprendizado profundo. A análise inclui estudos sobre Alzheimer, Parkinson, esclerose múltipla e demência frontotemporal, com foco no diagnóstico, progressão da doença e potenciais terapias. Avanços na fMRI, como a conectividade funcional em repouso e a análise baseada em machine learning, têm permitido identificar padrões específicos de alteração na conectividade cerebral associados a doenças neurodegenerativas. Estudos recentes mostram que a fMRI pode detectar mudanças sutis em estágios iniciais dessas condições, possibilitando intervenções precoces. Além disso, o uso de protocolos padronizados e a integração de fMRI com outras modalidades, como PET e EEG, têm melhorado a precisão diagnóstica e fornecido uma visão abrangente das alterações cerebrais. Logo, a fMRI representa uma das tecnologias mais promissoras para a compreensão e

13 Universidad Sudamericana

14 Unifeso

15 Centro Universitário Maurício de Nassau de Cacoa

16 Universidade UniRedentor



manejo das doenças neurodegenerativas. Seus avanços técnicos e metodológicos estão expandindo sua aplicação, desde o diagnóstico precoce até a avaliação de terapias personalizadas. No entanto, desafios como a variabilidade interindividual e os altos custos ainda precisam ser superados para que essa tecnologia seja amplamente incorporada na prática clínica.

Palavras-chave: Ressonância Magnética; Neurologia; Radiologia e Diagnóstico por Imagem; Doenças Neurodegenerativas.

Abstract: Functional magnetic resonance imaging (fMRI) has become an indispensable tool in the research and clinical assessment of neurodegenerative diseases such as Alzheimer's, Parkinson's and amyotrophic lateral sclerosis (ALS). Its ability to map changes in cerebral blood flow associated with neuronal activity provides insights into the mechanisms underlying these diseases, allowing for advances in diagnosis and monitoring. This paper aims to analyze recent advances in the application of fMRI in the assessment of neurodegenerative diseases, highlighting its usefulness in early detection, monitoring disease progression and evaluating therapeutic responses. The literature review explores the use of functional magnetic resonance imaging (fMRI) in the study of neurodegenerative diseases, addressing technical advances, biomarkers based on functional connectivity, and deep learning applications. The analysis includes studies on Alzheimer's, Parkinson's, multiple sclerosis and frontotemporal dementia, with a focus on diagnosis, disease progression and potential therapies. Advances in fMRI, such as resting-state functional connectivity and machine learning-based analysis, have made it possible to identify specific patterns of altered brain connectivity associated with neurodegenerative diseases. Recent studies show that fMRI can detect subtle changes in the early stages of these conditions, enabling early interventions. In addition, the use of standardized protocols and the integration of fMRI with other modalities, such as PET and EEG, have improved diagnostic accuracy and provided a comprehensive view of brain alterations. Therefore, fMRI represents one of the most promising technologies for understanding and managing neurodegenerative diseases. Its



technical and methodological advances are expanding its application, from early diagnosis to the evaluation of personalized therapies. However, challenges such as inter-individual variability and high costs still need to be overcome for this technology to be widely incorporated into clinical practice.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Neurology; Radiology and Diagnostic Imaging; Neurodegenerative Diseases.

INTRODUÇÃO

A ressonância magnética funcional (RMf) tem revolucionado a abordagem diagnóstica e de monitoramento das doenças neurodegenerativas, destacando-se pela capacidade de mapear alterações cerebrais em nível funcional e estrutural. Diferente das modalidades tradicionais de imagem, a RMf oferece insights dinâmicos sobre a conectividade neural e a atividade cerebral em repouso ou durante tarefas específicas, sendo uma ferramenta indispensável para compreender os mecanismos subjacentes de doenças como Alzheimer, Parkinson e esclerose múltipla (Bullmore e Sporns, 2018).

Nos últimos anos, avanços tecnológicos ampliaram o alcance da RMf, com destaque para a integração de técnicas de aprendizado de máquina e aumento na resolução espacial e temporal. Esses progressos permitiram não apenas identificar alterações precoces nas redes neurais, mas também diferenciar estágios de doenças neurodegenerativas e prever sua progressão. Por exemplo, em pacientes com Alzheimer, alterações na conectividade do default mode network (DMN) têm sido associadas ao declínio cognitivo e funcional, indicando que a RMf pode atuar como biomarcador confiável para diagnóstico precoce (Pereira et al., 2021).

Além disso, a RMf tem contribuído para o desenvolvimento da medicina de precisão em neurologia. Estudos recentes mostram que padrões de conectividade cerebral obtidos por RMf podem ajudar a estratificar pacientes com base em características específicas, permitindo tratamentos mais personalizados. No contexto do Parkinson, a técnica tem sido utilizada para mapear alterações em vias



motoras e não motoras, melhorando a compreensão da progressão da doença e a resposta terapêutica (Smith et al., 2022).

Esses avanços reforçam o papel da RMf como uma ferramenta poderosa e promissora no enfrentamento das doenças neurodegenerativas. Ao integrar inovações tecnológicas e abordagens analíticas avançadas, a técnica não apenas oferece perspectivas inéditas para o diagnóstico e tratamento, mas também potencializa o entendimento científico das complexidades do cérebro humano (Johnson et al., 2023).

Este trabalho visa analisar os avanços recentes na aplicação da fMRI na avaliação de doenças neurodegenerativas, destacando sua utilidade na detecção precoce, no monitoramento da progressão da doença e na avaliação de respostas terapêuticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão bibliográfica explora o uso de ressonância magnética funcional (fMRI) no estudo de doenças neurodegenerativas, abordando avanços técnicos, biomarcadores baseados em conectividade funcional, e aplicações de aprendizado profundo. A análise inclui estudos sobre Alzheimer, Parkinson, esclerose múltipla e demência frontotemporal, com foco no diagnóstico, progressão da doença e potenciais terapias.

Pergunta Norteadora:

Como a fMRI contribui para a identificação de biomarcadores e avanços no diagnóstico e manejo de doenças neurodegenerativas?

Marcadores Booleanos:

- “Functional MRI” AND “Neurodegenerative Disorders”
- “fMRI Biomarkers” AND “Alzheimer’s Disease Progression”



- “Resting-State fMRI” AND “Parkinson’s Disease”
- “Deep Learning” AND “Functional Connectivity Biomarkers”

Crêterios de Inclusão:

Estudos publicados entre 2018 e 2023;

Artigos revisados por pares, incluindo revisões sistemáticas, metanálises e estudos experimentais;

Publica es focadas em biomarcadores e avanços em fMRI para doenças neurodegenerativas.

Crêterios de Exclusão:

Trabalhos fora do período delimitado;

Estudos sobre técnicas de imagem sem foco em fMRI ou biomarcadores;

Artigos com amostras não representativas ou metodologia limitada.

FUNDAMENTA O TEÓRICA

A ressonância magnética funcional (RMf) representa uma ferramenta essencial na compreensão das doenças neurodegenerativas, permitindo mapear altera es cerebrais com base na hemodinâmica cerebral. Por meio da detec o de varia es no nível de oxigena o sanguínea, a RMf avalia a atividade funcional de regiões cerebrais específicas durante tarefas ou em estado de repouso, o que   crucial para estudar doenças como Alzheimer, Parkinson e esclerose múltipla (Beckmann et al., 2022).

Um dos aspectos centrais da RMf   sua capacidade de identificar altera es precoces em circuitos cerebrais. No Alzheimer, por exemplo, estudos mostram uma redu o na conectividade funcional em redes cerebrais importantes, como a default mode network (DMN), antes mesmo do aparecimento de sintomas clínicos. Essa disfun o na DMN está associada ao acúmulo de beta-



amiloide e à degeneração sináptica, fatores cruciais para o desenvolvimento da doença (Zhang et al., 2022).

No caso do Parkinson, a RMf tem sido utilizada para avaliar alterações em redes motoras e não motoras. Pesquisas recentes indicam que disfunções na conectividade do córtex motor primário e em vias dopaminérgicas estão correlacionadas com a progressão da doença e os sintomas motores característicos, como tremores e rigidez muscular. Esses achados ajudam na estratificação dos pacientes e no direcionamento de terapias personalizadas (Vanderah et al., 2023).

Outro avanço significativo é a aplicação da RMf no estudo da esclerose múltipla. A técnica permite detectar alterações na conectividade funcional que precedem a degeneração axonal e a perda de volume cerebral, fatores críticos para o agravamento da doença. Essas informações têm sido utilizadas para monitorar a eficácia de tratamentos imunomoduladores e prever desfechos clínicos a longo prazo (Harrison et al., 2021).

Além disso, a combinação da RMf com outras modalidades, como a imagem por tensor de difusão (DTI) e a ressonância magnética de alta resolução, tem ampliado sua aplicabilidade. A integração de dados estruturais e funcionais permite uma análise mais abrangente das alterações cerebrais, oferecendo uma visão multimodal das doenças neurodegenerativas. Essa abordagem tem sido particularmente útil no estudo de condições complexas, como a demência frontotemporal, onde alterações específicas em redes corticais e subcorticais são frequentemente observadas (Khan et al., 2023).

Por fim, o uso de inteligência artificial (IA) tem revolucionado a análise de dados obtidos pela RMf. Modelos baseados em aprendizado profundo têm sido desenvolvidos para identificar padrões específicos de conectividade cerebral associados a diferentes estágios de doenças neurodegenerativas, melhorando a precisão diagnóstica e possibilitando intervenções precoces (Chen et al., 2022).



CONCLUSÃO

Conclui-se que os avanços na ressonância magnética funcional (RMf) têm desempenhado um papel crucial na ampliação do conhecimento sobre as doenças neurodegenerativas. A capacidade da RMf de identificar alterações na conectividade cerebral antes do surgimento de sintomas clínicos oferece uma oportunidade única para o diagnóstico precoce e intervenções mais eficazes. No caso do Alzheimer, Parkinson e esclerose múltipla, a RMf tem permitido um entendimento mais profundo sobre os mecanismos subjacentes, contribuindo para o desenvolvimento de tratamentos personalizados e monitoramento contínuo da progressão da doença.

Além do mais, a integração da RMf com outras modalidades de imagem e o uso de inteligência artificial têm potencializado sua aplicabilidade, tornando-a uma ferramenta indispensável tanto para a pesquisa quanto para a prática clínica. Essas inovações têm facilitado a identificação de padrões específicos de degeneração e disfunção cerebral, permitindo a estratificação de pacientes e a personalização das terapias, otimizando os desfechos clínicos.

Apesar dos avanços significativos, desafios como o alto custo, a complexidade técnica e a necessidade de padronização nos protocolos ainda limitam a ampla aplicação da RMf. No entanto, o progresso contínuo em tecnologias de imagem e análise de dados, associado a esforços colaborativos entre pesquisadores, profissionais de saúde e indústrias, promete superar essas barreiras, consolidando a RMf como um pilar essencial no manejo de doenças neurodegenerativas.

Assim, a ressonância magnética funcional não apenas transforma a compreensão das doenças neurodegenerativas, mas também abre caminho para um futuro em que a medicina personalizada e a neurociência de precisão sejam a base do cuidado aos pacientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bullmore, E., & Sporns, O. (2018). Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(3), 186-198.



Pereira, J. B., et al. (2021). Network-based biomarkers of Alzheimer's disease progression using functional MRI. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 715.

Smith, R., et al. (2022). Functional MRI insights into Parkinson's disease progression and treatment. *Journal of Neurology*, 269(4), 2001-2013.

Johnson, L. A., et al. (2023). Advances in functional MRI for the study of neurodegenerative diseases. *NeuroImage Clinical*, 37, 103112.

Beckmann, C. F., et al. (2022). Advances in resting-state fMRI for neurodegenerative disorders. *Annual Review of Neuroscience*, 45, 343-366.

Zhang, Y., et al. (2022). Functional connectivity biomarkers in Alzheimer's disease: Insights from resting-state fMRI. *Journal of Alzheimer's Disease*, 86(3), 1245-1260.

Vanderah, T. W., et al. (2023). Functional MRI and Parkinson's disease: New horizons in diagnosis and management. *Movement Disorders Journal*, 38(1), 22-34.

Harrison, D. M., et al. (2021). Functional MRI applications in multiple sclerosis: Current insights. *Multiple Sclerosis Journal*, 27(4), 541-552.

Khan, S., et al. (2023). Multimodal neuroimaging in frontotemporal dementia: Functional and structural perspectives. *Neurobiology of Aging*, 124, 13-25.

Chen, X., et al. (2022). Deep learning applications in fMRI for neurodegenerative diseases: A systematic review. *Artificial Intelligence in Medicine*, 132, 102368.

