

Pode a neuroplasticidade induzida pelo exercício físico desempenhar ação positiva na doença de Parkinson?

Can neuroplasticity induced by physical exercise play a positive action in Parkinson's disease?

Guilherme Nobre Nogueira^{1,2}, Nathália Brígida de Oliveira³, Jennison Alves Guimarães⁴, Milene Weis Becker⁵, Monique Benemerita Vilela Gomes⁶, Rafaela Fernandes Gonçalves^{1,7}, Gustavo Rassier Isolan^{1,7}

RESUMO

Introdução: Doença de Parkinson (DP) é neurodegenerativa, de caráter crônico e progressivo com comprometimento da função motora e não motora, cuja evolução leva à instabilidades.

Objetivo: Verificar a correlação da prática de atividade física e a neuroplasticidade em pessoas com DP.

Método: Trata-se de revisão sistemática da literatura utilizando as bases de dados PubMed e ScienceDirect. Os artigos selecionados corresponderam ao período de 2013 a 2023, por meio dos descritores "exercise-induced neuroplasticity", "neuronal plasticity" e "Parkinson's disease".

Resultado: Em sua maioria, os estudos selecionados evidenciaram melhora das queixas motoras, assim como, resultados favoráveis ao aumento da neuroplasticidade com a prática de exercícios físicos. A realização de atividade física intensa gera elevação dos níveis de dopamina D2 e melhora do controle postural em estágios iniciais, e exercícios aeróbicos intensos geram aumento nos níveis séricos de BDNF, fator previamente associado à alterações motoras da DP.

Conclusão: Embora existam poucos estudos envolvendo seres humanos, observou-se importantes associações, nas quais a funcionalidade e a estrutura cerebral são moduladas pela atividade física. Nesse sentido, melhoram os sintomas comportamentais, motores e cognitivos relacionados à DP, mediante elevação de níveis dopaminérgicos.

PALAVRAS-CHAVE: Doença de Parkinson. Neuroplasticidade induzida pelo exercício. Plasticidade neuronal.

Mensagem Central

A neuroplasticidade induzida pelo exercício é tema promissor no tratamento da doença de Parkinson. Esta revisão explora os mecanismos neurobiológicos envolvidos e os benefícios potenciais dessa abordagem terapêutica, destacando sua relevância clínica e científica.

Perspectiva

A realização de atividade física intensa gera elevação dos níveis de dopamina D2 e melhora do controle postural, em pacientes com Parkinson em estágios iniciais, e exercícios aeróbicos intensos podem gerar aumento nos níveis séricos de BDNF, fator previamente associado às alterações motoras da doença.

ABSTRACT

Introduction: Parkinson's disease (PD) is a neurodegenerative, chronic and progressive disease with impaired motor and non-motor function, whose progression leads to instability.

Objective: To verify the correlation between physical activity and neuroplasticity in people with PD.

Method: This is a systematic review of the literature using the PubMed and ScienceDirect databases. The selected articles corresponded to the period from 2013 to 2023, through the descriptors "exercise-induced neuroplasticity", "neuronal plasticity" and "Parkinson's disease".

Result: Most of the selected studies showed improvement in motor complaints, as well as favorable results in increasing neuroplasticity with the practice of physical exercises. Performing intense physical activity increases dopamine D2 levels and improves postural control in the early stages, and intense aerobic exercise increases serum BDNF levels, a factor previously associated with motor changes in PD.

Conclusion: Although there are few studies involving humans, important associations have been observed in which brain functionality and structure are modulated by physical activity. In this sense, behavioral, motor and cognitive symptoms related to PD improve through increased dopaminergic levels.

KEYWORDS: Exercise-induced neuroplasticity. Neuronal plasticity. Parkinson's disease.

¹Centro Avançado de Neurologia e Neurocirurgia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

²Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil

³Faculdade de Minas de Belo Horizonte, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

⁴Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil

⁵Universidade de Joinville, Joinville, Santa Catarina, Brasil

⁶Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, Brasil

⁷Instituto Abuchaim, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

⁸Cilla Tech Park, Guarapuava, Paraná, Brasil

Conflito de interesse: Nenhum | Financiamento: Nenhum | Recebido em: 27/05/2025 | Aceito em: 19/08/2025 | Data de publicação: 19/09/2025 | Correspondência: gisolan@yahoo.com.br | Editor Associado: Rafaela Fernandes Gonçalves

Como citar:

Nogueira GN, de Oliveira NB, Guimarães JA, Becker MW, Gomes MBV, Gonçalves RF, Isolan GR. Pode a neuroplasticidade induzida pelo exercício físico desempenhar ação positiva na doença de Parkinson?. BioSCIENCE. 2025;83:e00022

INTRODUÇÃO

Doença de Parkinson (DP) é doença neurodegenerativa, resultante da perda de neurônios dopaminérgicos na substância negra, de caráter crônico e progressivo, apresentando-se com comprometimento da função motora e não motora.¹

É doença heterogênea, decorrente de variabilidades fenotípicas e sua natureza é progressiva.² Com a evolução há também grave progressão da instabilidade e dos distúrbios motores.³ Dessa forma, tem-se estudado a associação da prática física em pacientes com DP, em razão dos mecanismos neuroprotetores oferecidos por essa atividade.²

É escasso o conhecimento sobre as modulações neuroplásticas induzidas pelo exercício físico. Entretanto, segundo a literatura, os pacientes que passaram por reabilitação intensiva apresentaram aumento de dopamina, da densidade dos receptores e melhor controle postural, fato este que corrobora a favor da teoria da relação entre os mecanismos neuroplásticos influenciando positivamente as doenças neurodegenerativas como a DP.^{1,2}

O objetivo desta revisão foi o de compreender a papel da modulação neuroplástica induzida pela prática de exercícios e estabelecer evidências atuais da correlação entre a prática de atividade física e a neuroplasticidade em pessoas com DP.

MÉTODO

Trata-se de revisão sistemática da literatura, o qual pesquisou por meio dos descritores DeCS/MeSH “exercise-induced neuroplasticity”, “neuronal plasticity” e “Parkinson’s disease” intercruzados com os operadores booleanos “AND” e “OR”, para a busca nas bases de dados PubMed e ScienceDirect no período de 2012 a 2023. Foram encontrados 378 artigos, de acordo com os critérios de inclusão, período de publicação, texto gratuito na íntegra e aspectos relevantes sobre a questão norteadora, sendo que ao final foram analisados 78 artigos, dos quais 10 foram selecionados para compor a presente revisão (Figura).

A amostra foi composta por 10 artigos 1-10, publicados entre 2012 e 2023, sendo 1 em 2012, 1 em 2013, 1 em 2014, 2 em 2016, 1 em 2017, 1 em 2020, 2 em 2022, 1 em 2023, sendo todos em inglês. Demais características dos estudos se encontram na Tabela 1.

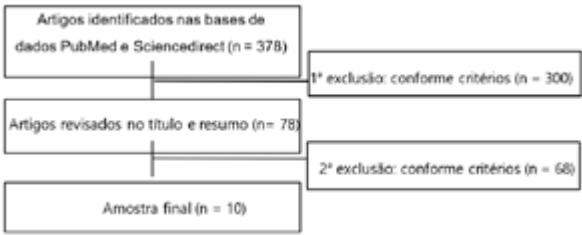


FIGURA — Fluxograma de seleção dos estudos.

Para avaliação da correlação exercício físico e neuroplasticidade na DP, os 10 estudos 1-10 foram dispostos na Tabela 2, que destaca os objetivos e resultados das avaliações segundo autoria e ano de publicação.

Na análise dos resultados obtidos a partir da amostra, observa-se tanto no modelo animal quanto nos estudos em humanos com DP, alterações favoráveis na função e estrutura cerebral após um período de exercício, melhora nos sintomas motores, assim como, validação da correlação entre neuroplasticidade após um período de exercício físico.

DISCUSSÃO

A prática de atividade física, de forma prática contínua, e a participação em esportes competitivos durante a juventude estão associadas ao menor risco de DP na vida adulta. Estudos mais recentes mostram que a realização de atividade física intensa gera elevação dos níveis de dopamina D2 e melhora do controle postural em estágios iniciais, e exercícios aeróbicos intensos geram aumento nos níveis séricos de BDNF, fator previamente associado às alterações motoras da DP. Mesmo já sendo estabelecido que a neuroplasticidade é modulada por exercícios através do BDNF, a fisiopatologia desta via é desconhecida, inclusive, sem uma noção completa se a realização de exercícios físicos leva à propriedades neuroprotetoras ou neurodegenerativas.⁴

De forma geral, os estudos demonstraram efeitos positivos da atividade física na neuroplasticidade; porém, as vias bioquímicas pelas quais se obtém tais efeitos ainda necessitam de estudos mais aprofundados para melhor compreensão. Essa revisão mostrou que tanto a função quanto a estrutura cerebrais melhoraram em pacientes com DP idiopática, após um período de atividade física. Contudo, a adaptação neuroquímica do cérebro aos exercícios teve resultados heterogêneos, sem

TABELA 1 — Caracterização dos estudos segundo autoria, ano de publicação, periódico, idioma e objeto de estudo 1-10

Autoria/Ano de Publicação	Periódico e idioma	Objeto de Estudo
Hirsch MA et al. 2016 ⁴	Parkinsonism Relat Disord Inglês	8 estudos com 144 adultos com DP de gravidade variável
Liu HH et al. 2022 ⁶	Geriatr Nurs Inglês	28 indivíduos com DP, sendo 14 do grupo experimental e 14 do grupo controle
Nicolini C et al. 2020 ⁷	Neuroscience Inglês	05 estudos sobre diferentes protocolos de exercícios em adultos jovens fisicamente ativos ou sedentários, saudáveis.
Petzinger GM et al. 2013 ⁸	Lancet Neurol Inglês	Estudos publicados em seres humanos e modelos animais de DP
Ridgel AL et al. 2012 ³	Arch Phys Med Rehabil Inglês	10 indivíduos com DP idiopática, sendo 4 homens e 6 mulheres
Shih IF et al. 2016 ⁵	Parkinsonism Relat Disord Inglês	357 casos incidentes de DP e 341 controles
Tsai CL et al. 2023 ⁹	Mental Health and Physical Activity Inglês	23 participantes com DP leve a moderada
Vitorino LC et al. 2022 ¹⁰	Neurosci Lett Inglês	40 camundongos Swiss machos, divididos em: controle sedentário (n = 10), controle exercício (n = 10), Parkinson sedentário (n = 10) e Parkinson exercício (n = 10).
Wang Z et al. 2014 ¹	Neurobiol Aging Inglês	Ratos Sprague-Dawley machos de 3 meses de idade, divididos em: lesão/exercício (n= ¼12), lesão/sem exercício (n= ¼10) e simulado/sem exercício (n= ¼9)
Watson JW et al. 2017 ²	Academic Press Inglês	Compilado de investigações em nível molecular e de sistemas em modelos animais e estudos humanos.

TABELA 2 — Descrição do objetivo e resultados da amostra segundo autoria. 1-10

Autoria/Ano de Publicação	Objetivo	Resultados
Hirsch MA et al. 2016 ⁴	Apresentar 8 estudos de DP em humanos sobre os efeitos da atividade física e cognitiva na estrutura ou função cerebral na DP.	O exercício desencadeia eventos relacionados à neuroplasticidade e em pessoas com DP, como excitação corticomotora, aumentos e diminuições no volume de massa cinzenta e alterações nos níveis de BDNF.
Liu HH et al. 2022 ⁶	Investigar os efeitos do exercício de passo no quadrado (SSE) na função executiva em pessoas com Doença de Parkinson (DP)	Melhorias na função executiva nas tarefas de intervalo de dígito e no teste de trilha após o treinamento SSE. Nos participantes com comprometimento cognitivo leve (MCI), foi observado melhor desempenho na função executiva e cognição global, medida pela avaliação cognitiva de Montreal.
Nicolini C et al. 2020 ⁷	Revisar resultados de estudos que investigaram alterações neurofisiológicas e moleculares associadas ao exercício agudo ou de longo prazo em adultos jovens saudáveis e em mulheres saudáveis na pós-menopausa.	Mediadores de efeitos positivos do exercício de alta intensidade sobre o comportamento motor aumentam na excitabilidade corticoespinal e BDNF, ambos moduladores da neuroplasticidade.
Petzinger GM et al. 2013 ⁸	Destacar estudos publicados em seres humanos e modelos animais da DP que apontam os efeitos benéficos do exercício por meio da neuroplasticidade.	O treinamento baseado em objetivos com treinamento aeróbico pode funcionar conjuntamente para promover componentes automáticos e volitivos do controle motor.
Ridgel AL et al. 2012 ³	Desenvolver uma intervenção de Ciclismo de Cadência Rápida ou Ciclismo Ativo Assistido (AAC) em indivíduos com DP e investigar os resultados nos tremores e bradicinesia em uma única sessão de AAC em alta cadência.	O AAC foi bem tolerado por indivíduos com DP e 78% dos participantes apresentaram melhora na função motora, no tremor e na bradicinesia, imediatamente após uma sessão de ciclismo.
Shih IF et al. 2016 ⁵	Examinar o tipo e/ou o momento de atividade física realizada durante a vida adulta e sua influência no risco futuro de DP.	Os riscos de DP foram menores em 44% dos participantes que praticaram atividade física (AF) moderada a vigorosa no período de idade de 18 e 24 anos, quando comparado com o grupo menos ativo. O mesmo não foi observado no período de idade entre 25 e 44 anos. Indivíduos que praticaram AF de forma constante em níveis elevados (< 65 anos de idade) tiveram um risco de DP 51% menor do que aqueles com níveis baixos. Além disso, ter participado de esportes competitivos antes dos 25 anos foi inversamente associado à DP.
Tsai CL et al. 2023 ⁹	Analisar os efeitos agudos do exercício intervalado de alta intensidade (HIIE) e do exercício contínuo de intensidade moderada (CMIE) no desempenho neurocognitivo e nos níveis de neurotransmissores de indivíduos com DP.	Para indivíduos com DP leve a moderada, o HIIE e o CMIE agudos provaram ser modos toleráveis, seguros e eficazes de exercício aeróbico, embora os benefícios agudos a os exercícios estudados parecem ser dependentes da intensidade.
Vitorino LC et al. 2022 ¹⁰	Investigar os efeitos do treinamento em esteira nos astrócitos e striatais em um modelo de camundongo com DP, combinando imunohistoquímica e western-blotting para proteína glial fibrilar ácida (GFAP) com análises morfométricas.	O exercício físico teve efeitos neuromodulador sobre os astrócitos. Comparados aos grupos controle, os camundongos do grupo Parkinson Sedentário (SEDP) demonstraram astrogliose reativa dessas células, mostrando que o exercício constitui um estímulo externo capaz de modular as características das células gliais.
Wang Z et al. 2014 ¹	Caracterizar alterações na conectividade funcional em estado de repouso (rsFC) em um modelo de Parkinsonismo em ratos com lesão intra-estriatal de 6-hidroxi dopamina (6-OHDA) e delinear os efeitos do treinamento aeróbico de longo prazo na rsFC, com foco no circuito motor.	O exercício em ratos lesionados resultou em: normalização de alterações induzidas por lesão na rsFC; surgimento do estriado ventrolateral; e aumento da rsFC entre o córtex motor, tálamo motor, gânglios da base e cerebelo. Logo, o treinamento físico de longo prazo reverteu parcialmente as alterações induzidas por lesão na rsFC dos circuitos motores e melhorou a conectividade funcional em vias motoras em ratos parkinsonianos.
Watson JW et al. 2017 ²	Apresentar evidências científicas atuais da influência da atividade física e do exercício na função motora e alterações cerebrais associadas ao cérebro parkinsoniano	As alterações neuroplásticas observadas são: alterações na transmissão de dopamina e glutamato nas vias dos gânglios da base; aumento de fatores neurotróficos; alterações na função e na estrutura dentro e fora da rede cerebral afetada pela DP.

efeito de melhora em alguns estudos.⁵

A maior parte da compreensão de possíveis benefícios da atividade física na DP foi demonstrada apenas em modelos animais. Nesses modelos demonstrou-se que alguns exercícios, especialmente os realizados em condições de alta excitação, levaram à alterações positivas na arquitetura e função cerebrais pela neuroplasticidade, neuroproteção e neurorestauração envolvidas na realização de atividades físicas. Até então, melhores resultados foram demonstrados em pacientes mais jovens, e muitos estudos com humanos possuem grandes limitações, como pequeno número de participantes.¹

Neurotrofinas como o BDNF podem ser marcadores interessantes para se relacionar com a neuroplasticidade ou resultados induzidos por exercícios; porém, ainda é importante compreender a associação entre níveis séricos de BDNF e grau de atividade física, intervenções farmacológicas, dentre outros, visto que esse fator possui muitas variáveis imensuráveis.¹

A neuroplasticidade induzida por exercícios gera melhorias nas funções cognitivas e motoras, redução de sintomas comportamentais, como o tremor na DP, mesmo em pessoas jovens sem comorbidades, tendo sido demonstrado melhora significativa em pacientes com DP. Exercícios de alta intensidade geram neuroplasticidade mais intensa e duradoura, com grandes melhorias nas funções motora e cognitiva, ou desacelerando a progressão de doenças neurológicas existentes. Demonstrou-se que tanto exercícios aeróbicos, como de resistência, quando realizados em alta intensidade, melhoraram marcadores de neuroplasticidade.²

O exercício é intervenção promissora e econômica

para apoiar o envelhecimento bem-sucedido e a neuroreabilitação, em casos, por exemplo, de DP.⁶ O declínio da massa cinzenta e branca acompanha o processo de envelhecimento fisiológico e contribui para os déficits motores em idosos. Acredita-se que o exercício reduza a atrofia do sistema motor e induza à neuroplasticidade, o que, por sua vez, ajuda a preservar a função motora durante o envelhecimento e promove o aprendizado de habilidades motoras, como após acidente vascular cerebral.⁶

As intervenções por meio de exercícios para pessoas com DP incluem treinamento de habilidades motoras específicas para ativar circuitos cognitivos importantes para o aprendizado motor. Nessa abordagem de exercícios, a fisioterapia apoia o aprendizado por meio de orientação e de biofeedback.⁶

As pessoas com DP se envolvem mais cognitivamente na prática e no aprendizado de movimentos e habilidades que antes eram automáticos e inconscientes. O exercício aeróbico, considerado importante para melhorar a circulação e promover a neuroplasticidade em idosos, também pode desempenhar um papel na melhoria da função comportamental em pessoas com DP.⁶ O exercício que incorpora o treinamento direcionado a metas e à atividade aeróbicas tem o potencial de melhorar os componentes cognitivos e automáticos do controle motor em indivíduos com doença leve a moderada por meio da neuroplasticidade dependente da experiência.⁷

Para aproveitar plenamente os benefícios do treinamento com exercícios, é fundamental entender melhor os mecanismos neurofisiológicos e moleculares subjacentes às alterações cerebrais desencadeadas pelo treinamento com exercícios que promovem a

neuroplasticidade e, portanto, ajudam a retardar, diminuir e melhorar as deficiências da função motora relacionadas à idade e doenças. Esse conhecimento nos permitirá desenvolver protocolos de treinamento mais eficazes e personalizados que atendam às necessidades individuais, aumentando assim a utilidade das estratégias de treinamento em ambientes clínicos e não clínicos.⁷

Um estudo realizado em 2022 comparou 40 camundongos separados entre grupos controles e com DP sedentários e que realizaram atividade física.⁸ Observou-se aumento da proteína ácida fibrilar glial em astrócitos estriatais nos camundongos com DP que realizaram atividade física quando comparados aos sedentários.⁸ Além disso, o mesmo estudo constatou que no grupo de ratos com DP praticantes de atividade física houve aumento de processos primários e secundários dos astrócitos e redução da largura dos processos primários, indicando que a morfologia dos astrócitos da amostra com DP tornou-se mais próxima à morfologia astrocitária basal de ratos sem a DP - ou seja, houve neuroplasticidade destas estruturas promovidas pela atividade física.⁸

Pesquisadores em Taiwan compararam 23 pacientes diagnosticados com DP leve e moderada após exercícios intervalados de alta intensidade e exercícios contínuos de intensidade moderada através de exames laboratoriais e testes de memória antes e logo após as atividades físicas.⁹ Essa pesquisa concluiu que ambas atividades promoveram TRs mais rápidos e ondas P3 ERP com amplitudes maiores, ou seja, melhora do desempenho cognitivo.⁹ Os autores ainda sugeriram que ambos exercícios podem retardar o declínio cognitivo.⁹ No entanto, no aspecto bioquímico, somente no exercício contínuo moderado houve aumento dos níveis de dopamina.⁹

Outro estudo em Taiwan, no ano de 2022, analisou os efeitos do Square Stepping Exercise (SSE) na função executiva de pacientes portadores de DP.¹⁰ SSE é um tipo de exercício originado no Japão, em que os participantes necessitam memorizar sequências de passos multidirecionais, exercitando assim as habilidades de memória, atenção e função executiva dos praticantes.¹⁰ O estudo analisou 28 pacientes, divididos em 14 controles e 14 com DP, aplicando diversos testes antes e após a SSE.¹⁰ Após 8 semanas de SSE 2 vezes na semana, o estudo concluiu que houve melhora significativa da função executiva destes pacientes nos testes de span de dígitos e no de trilhas.¹⁰ Além disso, os autores observaram que aqueles com comprometimento cognitivo leve obtiveram melhora, não somente da função executiva, mas também na cognição global através da avaliação cognitiva de Montreal, demonstrando os benefícios de tal atividade nos portadores de DP.¹⁰

CONCLUSÃO

Apesar de existirem poucos estudos envolvendo seres humanos observaram-se importantes associações em que tanto a função quanto a estrutura cerebral

melhoram em pacientes com DP após um período de atividade física, na qual, atividades de alta intensidade geram efeitos mais intensos e duradouros, reduzem sintomas comportamentais como tremor e melhora funções cognitivas e motoras; já atividade contínua de média intensidade elevam os níveis de dopamina. Além disso, verifica-se a necessidade de estudos mais aprofundados para compreender as vias bioquímicas da neuroplasticidade resultante das atividades físicas em pacientes com DP, buscando conhecer seus mecanismos neurofisiológicos e moleculares ao ser avaliado com o uso de marcadores como a neurotrofina BDNF. A importância desses conhecimentos nos permitirá desenvolver protocolos de treinamento mais eficazes e personalizados que atendam às necessidades individuais, aumentando assim a utilidade das estratégias de treinamento em ambientes clínicos e não clínicos.

Contribuição dos autores

Conceituação: Guilherme Nobre Nogueira

Análise formal: Gustavo Rassier Isolan

Metodologia: Rafaela Fernandes Gonçalves

Redação (esboço original): Todos os autores

Redação (revisão e edição): Todos os autores

REFERÊNCIAS

1. Wang Z, Guo Y, Myers KG, Heintz R, Peng YH, Maarek JM, et al. Exercise alters resting-state functional connectivity of motor circuits in parkinsonian rats. *Neurobiol Aging*. 2015;36(1):536-44. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2014.08.016>
2. Watson J, Welman KE, Sehm B. Chapter 13 - The Effect of Exercise on Motor Function and Neuroplasticity in Parkinson's Disease. Academic Press. 2017:133-9. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805094-1.00013-7>
3. Ridgel AL, Peacock CA, Fickes EJ, Kim CH. Active-assisted cycling improves tremor and bradykinesia in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;93(11):2049-54. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.05.015>
4. Hirsch MA, Iyer SS, Sanjak M. Exercise-induced neuroplasticity in human Parkinson's disease: What is the evidence telling us? *Parkinsonism Relat Disord*. 2016;22(Suppl 1):S78-81. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2015.09.030>
5. Shih IF, Liew Z, Krause N, Ritz B. Lifetime occupational and leisure time physical activity and risk of Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2016;28:112-7. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2016.05.007>
6. Liu HH, Wang RY, Cheng SJ, Liao KK, Zhou JH, Yang YR. Effects of square-stepping exercise on executive function in individuals with Parkinson's disease: A randomized controlled pilot study. *Geriatr Nurs*. 2022;47:273-9. <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2022.08.004>
7. Nicolini C, Fahnstock M, Gibala MJ, Nelson AJ. Understanding the Neurophysiological and Molecular Mechanisms of Exercise-Induced Neuroplasticity in Cortical and Descending Motor Pathways: Where Do We Stand? *Neuroscience*. 2021;457:259-82. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.12.013>
8. Petzinger GM, Fisher BE, McEwen S, Beeler JA, Walsh JP, Jakowec MW. Exercise-enhanced neuroplasticity targeting motor and cognitive circuitry in Parkinson's disease. *Lancet Neurol*. 2013;12(7):716-26. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(13\)70123-6](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(13)70123-6)
9. Tsai CL, Lin TK. High-intensity interval vs. continuous moderate-intensity aerobic exercise for improving neurotransmitter level and neurocognitive performance in individuals with Parkinson's disease. *Mental Health and Physical Activity*. 2023;100516. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2023.100516>
10. Vitorino LC, Oliveira KF, da Silva WAB, Gomes CAB de A, Romão LF, Allodi S, et al. Physical exercise influences astrocytes in the striatum of a Parkinson's disease mouse model. *Neurosci Lett*. 2022;771:136466. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2022.136466>