

Exercício físico e cognição: comparação entre os treinamentos contínuo e intervalado

*Physical exercise and cognition: comparison between
continuous and interval training*

*Ejercicio físico y cognición: comparación entre
entrenamiento continuo e intercalado*

Thaís Amanda da Costa Pereira¹, Luiza Soares de Miranda Lino²,
Carlos Humberto Andrade-Moraes³

1.Graduada em Biologia. Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Ciências Fisiológicas (PPGMCF), Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade (NUPEM), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Macaé-RJ, Brasil. Orcid: <https://orcid/0000-0002-8964-6291>

2.Acadêmica do Instituto de Ciências Médicas. Centro Multidisciplinar da Universidade Federal do Rio de Janeiro, *Campus* Macaé. Macaé-RJ, Brasil. Orcid: <https://orcid/0000-0001-8409-3811>

3.Doutor em Ciências Morfológicas. Professor Adjunto de Anatomia e Neurociência do Instituto de Ciências Médicas, Centro Multidisciplinar, Universidade Federal do Rio de Janeiro - *Campus* Macaé. Laboratório Integrado de Morfologia do Instituto NUPEM UFRJ. Macaé-RJ, Brasil. Orcid: <https://orcid/0000-0003-4759-315X>

Resumo

Introdução. Durante as últimas décadas foram descobertos novos potenciais efeitos do Exercício Físico com relação às atividades cerebrais que, no entanto, deixaram em aberto algumas lacunas com relação aos tipos de treinamento e seu respectivo benefício para a cognição humana **Objetivo.** O presente trabalho teve por objetivo elucidar qual tipo de exercício físico apresentaria melhorias cognitivas. **Método.** Para isso, foi realizada pesquisa nas bases científicas BVS® (Biblioteca Virtual em Saúde), *Scopus*®, *SciELO*® e *PubMed*®, de acordo com os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), foram: *Physical Exercise*, *High-Intensity Interval Training* (HIIT), *Moderate Intensity Continuous Training* (MICT) and *Cognitive Functions*. **Resultados.** Dos 57 artigos que atendiam aos critérios da busca, apenas 15 foram incluídos, pois atendiam aos critérios: perfil dos participantes, protocolos de treinamento utilizados, tipo de avaliação cognitiva, resultados obtidos e limitações. **Conclusão.** Os resultados demonstram que o HIIT promove melhoria significativa na performance cognitiva, quando comparado ao MICT. No entanto, os mecanismos fisiológicos envolvidos nesse aprimoramento permanecem sem esclarecimento na literatura, sendo necessários novos estudos e maior aprofundamento.

Unitermos. Treinamento Intervalado de Alta Intensidade; Treinamento Contínuo de Intensidade Moderada; Cognição; Cérebro

Abstract

Introduction. During the last decades, new potential effects of Physical Exercise have been discovered in relation to brain activities, however, some gaps regarding the types of training and their respective benefits for human cognition remain open. **Objectives.** This review aims to clarify which type of physical exercise improves cognitive performance. **Method.** For this purpose, a systematic review on the scientific bases of *Scopus*®, *SciELO*® and *PubMed*®, according to the Health Sciences Descriptors (DeCS), were: *Physical Exercise*, *High-Intensity Interval Training* (HIIT), *Moderate Intensity Continuous Training* (MICT) and *Cognitive Functions*. **Results.** Among the 57 articles that met the search criteria, 15 were included: participant profile, training protocols used, type of cognitive assessment, results achieved and study limitations. **Conclusion.** The results show that HIIT significantly improves the cognitive performance of individuals when compared to MICT. The physiological mechanisms through

which HIIT promotes cognitive improvement are still unclear, and therefore need to be explored in greater depth.

Keywords. High-Intensity Interval Training; Moderate Continuous Training; Cognition; Brain

RESUMEN

Introducción. Durante las últimas décadas fueron descubiertos nuevos efectos potenciales del Ejercicio Físico en relación con las actividades cerebrales, que, sin embargo, dejaron algunos vacíos en relación con los tipos de entrenamiento y sus respectivos beneficios para la cognición humana. **Objetivo.** El presente trabajo tuvo como objetivo dilucidar qué tipo de ejercicio físico podría presentar mejoras cognitivas. Método. Para ello, se investigó en las bases científicas BVS® (Biblioteca Virtual en Salud), Scopus®, SciELO® y PubMed®, según los Descriptores de Ciencias de la Salud (DeCS), los cuales fueron *Physical Exercise*, *High-Intensity Interval Training* (HIIT), *Moderate Intensity Continuous Training* (MICT) e *Cognitive Functions*.

Resultados. De los 57 artículos que cumplieron con los criterios de búsqueda, solo 15 fueron incluidos, porque cumplieron con los criterios: perfil del participante, protocolos de entrenamiento utilizados, tipo de evaluación cognitiva, resultados obtenidos y limitaciones.

Conclusión. Los resultados demuestran que HIIT promueve una mejora significativa en el rendimiento cognitivo en comparación con MICT. Sin embargo, los mecanismos fisiológicos involucrados en esta mejoría permanecen sin estar claros en la literatura, por lo cual son necesarios nuevos estudios y mayor profundización en el tema.

Palabras clave: Entrenamiento por intervalos de alta intensidad; Entrenamiento Continuo de Intensidad Moderada; Cognición; Cerebro

Trabalho realizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Macaé-RJ, Brasil.

Conflito de interesse: não

Recebido em: 29/12/2022

Aceito em: 16/02/2023

Endereço para correspondência: Carlos Humberto Andrade-Moraes. Av. Aluísio da Silva Gomes 50. Granja dos Cavaleiros. Macaé-RJ. Brasil. CEP 27930-560. Telefone: (22) 2796-2500. Celular: (22) 99774-9209. Email: humberto@macae.ufrj.br / carloshamoraes@outlook.com

INTRODUÇÃO

Efeitos do Exercício Físico (EF) sobre a fisiologia humana já são bem descritos pela literatura. No entanto, nas últimas décadas, os estudos relacionados ao EF e atividades cerebrais ganharam maior visibilidade no cenário acadêmico, a partir de descobertas promissoras, como o aumento da neurogênese e da angiogênese cerebral, e a diminuição do estresse oxidativo e da inflamação¹.

Inicialmente, é importante que sejam diferenciados os conceitos de "atividade física" e "exercício físico". A atividade física (AF) é definida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como sendo qualquer movimento corporal produzido

pelos músculos esqueléticos e que determina o aumento do gasto energético acima do gasto de repouso². Assim, práticas cotidianas como tarefas domésticas, atividades de lazer ou ocupações laborais são exemplos de atividades físicas. O exercício físico (EF), por sua vez, possui um conceito menos abrangente e consiste na atividade planejada, estruturada e repetitiva, com o propósito de melhorar ou manter um ou mais componentes da aptidão física³. Desse modo, o EF pode ser compreendido como um subconjunto da AF.

A identificação do músculo esquelético como um órgão endócrino, capaz de produzir e secretar miocinas também estabeleceu questionamentos de como a contração muscular pode influenciar no metabolismo e na função de outros tecidos e órgãos, como o cérebro. Uma das miocinas produzidas por meio desse órgão endócrino durante a prática de EF é a irisina, formada por meio da clivagem de FNDC5 (do inglês, *Fibronectin type III domain-containing protein 5*), a qual entra na corrente sanguínea e atravessa a barreira hematoencefálica, alcançando o hipocampo. Nesta região, a irisina, por meio da via ERK1/2 (*extracellular signal-regulated kinase 1 and 2*), a qual faz parte do grupo de proteínas quinases ativadas por mitogênio (MAPKs), aumenta a produção de BDNF (*Brain Derived Neurotrophic Factor*) e do transdutor de sinais e ativador de transcrição 3 (STAT3), proteína pertencente à família dos fatores de transcrição ativados por tirosinas quinases (STATs) e relacionada à expressão de genes responsáveis por processos celulares como proliferação, diferenciação e

apoptose. Dessa forma, a liberação de irisina promove, respectivamente, neuroplasticidade e proliferação celular, o que resulta em benefícios diretos à memória⁴. Assim, há dados na literatura que mostram o papel da irisina como importante miocina indutora de processos neuroplásticos no cérebro, principalmente no hipocampo. Contudo, uma importante pergunta emerge. Que tipo de EF pode ser mais eficiente para provocar tais alterações neurais? O treinamento intervalado de alta intensidade (em inglês, *High Intensity Interval Training*, HIIT) e o treinamento contínuo de intensidade média (*Moderate Intensity Continuous Training*, MICT) tem sido apontados como aqueles mais eficientes para o aprimoramento cognitivo. No HIIT, há uma atividade intensa, seguida de períodos de descanso. Por outro lado, o MICT é caracterizado por intensidade baixa/moderada e de longa duração, normalmente de cunho aeróbio. Para ser considerado um EF de baixa/moderada intensidade, é necessário que o consumo máximo de oxigênio esteja em torno dos 50%. Por sua vez, aqueles caracterizados como alta intensidade devem manter o consumo de oxigênio em aproximadamente 70%^{5,6}.

Como os treinamentos HIIT e MICT possuem protocolos diferentes, é possível que estes promovam diferentes efeitos sobre os processos cognitivos, tais como memória, aprendizagem e atenção. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é comparar os efeitos dos treinamentos HIIT e MICT sobre a cognição por meio do levantamento e análise de estudos realizados nos últimos 5 anos.

MÉTODO

Realizou-se uma revisão sistemática da literatura, utilizando quatro bases eletrônicas de dados, sendo: BVS® (Biblioteca Virtual em Saúde), Scopus®, SciELO® e PubMed®. Os termos utilizados para a busca dos artigos, de acordo com os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), foram: *Physical Exercise*, *High-Intensity Interval Training*, *Moderate Intensity Continuous Training* and *Cognitive Functions*. Como critérios preliminares de inclusão, foram selecionados estudos publicados na língua inglesa e no período de 2017 a 2022. Foram encontrados 57 artigos que atendiam às condições. Para definir quais desses seriam incluídos na revisão, adotaram-se critérios adicionais: tratar-se de estudo original; possuir como objetivo a comparação dos efeitos entre o treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e o treinamento contínuo de intensidade moderada (MICT) na cognição, seja em modelos animais ou humanos. Foram excluídos os estudos que não cumpriram um ou mais critérios acima e foram desconsiderados os resultados que apareceram em duplicidade nas diferentes bases de dados. Um estudo precisou ser excluído devido à indisponibilidade de acesso. Ao final, 15 estudos atenderam aos critérios de inclusão. A análise dos artigos selecionados foi realizada a partir dos seguintes aspectos: perfil dos participantes, protocolos de treinamento utilizados, tipo de avaliação cognitiva, resultados obtidos e limitações.

RESULTADOS

A Tabela 1 relaciona os estudos selecionados, listados em ordem cronológica, considerando o nome do autor, o tamanho da amostra (n), o sexo, a idade e a condição de saúde dos participantes, os protocolos de exercício aplicados na intervenção, o tempo de duração das intervenções, o instrumento utilizado para a análise cognitiva, as análises adicionais realizadas (quando houver) e as principais conclusões.

DISCUSSÃO

Os resultados dos 15 estudos que cumpriram os critérios de inclusão demonstraram que o HIIT apresenta potencial mais expressivo de aprimoramento cognitivo, quando comparado ao MICT. Apesar dessa tendência observada, a heterogeneidade metodológica entre os estudos configura uma limitação importante para a compreensão tanto de qual tipo de treinamento produz maiores efeitos na cognição, quanto dos parâmetros de dose-resposta. A primeira questão é a diversidade de instrumentos utilizados para a avaliação das funções cognitivas. Tian *et al.*⁷ utilizaram o tipo de teste *More-Odd Shifting*, para avaliação do desempenho de troca de tarefa, enquanto Inoue *et al.*⁸, Coetsee *et al.*⁹, Mekari *et al.*¹⁰ utilizaram o teste de *Stroop* para avaliar a mesma habilidade. Além disso, apesar de terem utilizado o mesmo instrumento, os três últimos obtiveram resultados controversos.

Tabela 1. Estudos comparando os efeitos do HIIT e do MICT na cognição, nos últimos 5 anos.

Artigo	Amostra (n)	Sexo	Idade	Condição	Exercício Físico	Duração	Avaliação cognitiva	Outras análises	Conclusão
7	56	M e F	20 anos	saudáveis	HIIT, MICT	1 sessão	More-Odd Shifting Task	—	Efeito do HIIT e do MICT na flexibilidade cognitiva de jovens adultos é sustentado
8	20	M	18-36 anos	obesos e sedentários	HIIT, MICT	6 semanas	Stroop test; Nonverbal Intelligence test	gordura visceral, mBDNF e proBDNF	nível de mBDNF é significativamente alterado após o exercício físico
9	67	M e F	55-75 anos	sedentários	HIIT, MICT, RT	16 semanas	Stroop test; MoCA	—	MICT e RT melhoram funções executivas; HIIT incrementa velocidade de processamento
10	25	M e F	adultos	saudáveis	HIIT, MICT	6 semanas	Stroop test; Trail Making test	—	HIIT promove melhor efeito na cognição, se comparado ao MICT
11	30	camundongo	adultos	saudáveis	HIIT, MICT	8 semanas	Novel object recognition test; Y-maze alternation	TrkB; p75NTR; VEGF; PGC1-a; FNDC5; CTSB; Cyt C; COX4	HIIT tem se mostrado promissor no incremento dos marcadores da neuroplasticidade e no hipocampo
12	36	M e F	18-30 anos	saudáveis	HIIT, MICT	3 sessões	modified Sternberg task	EEG	Melhor eficiência no processamento da memória de trabalho é observada após HIIT
13	80	camundongo	60 dias	saudáveis	HIIT, MICT, RT, RW	6 semanas	Open field test; Object Recognition test; Y-maze test	AChE; ROS; nitrito; TBARS; tiol; SOD. CAT	MICT e RT parecem efetivos como estratégias não farmacológicas de melhoria cognitiva
16	21	M e F	adultos de meia idade e idosos	saudáveis	HIIT, MICT	1 sessão	Emotional S1-S2 paradigm test	EEG, irisina e BDNF	HIIT parece ser promissor no desenvolvimento da memória de trabalho
18	16	M	adultos	atletas	HIIT, MICT	1 sessão	Flanker task	fNIRS, glicose e lactato	Exercício físico melhora a função cognitiva após 10 minutos de treinamento, mas não imediatamente após
19	25	M	30-50 anos	com sobrepeso ou obesos e sedentários	HIIT, MICT	8 semanas	Paper and Pencil Test Battery	BDNF	MICT e HIIT melhoram a função cognitiva de longo prazo e os níveis de BDNF
20	14	M e F	—	Doença de Parkinson	HIIT, MICT	3 sessões	Wechsler Adult Intelligence Scale III; Trail Making Test	—	HIIT e MICT agudos promovem melhoria nas funções cognitivas, se comparado ao controle

Tabela 1 (cont.). Estudos comparando os efeitos do HIIT e do MICT na cognição, nos últimos 5 anos.

Artigo	Amostra (n)	Sexo	Idade	Condição	Exercício Físico	Duração	Avaliação cognitiva	Outras análises	Conclusão
21	48	camundongo	3 meses	transgênicos	HIIT, MICT	12 semanas	Morri's Watter maze; Open field test	Western-blot; Elisa; Tioflavina S	HIIT e MICT podem igualmente mitigar os efeitos do declínio cognitivo
22	17	F	50-75 anos	câncer de mama	HIIT, MICIT	12 semanas	Cogstate battery	reatividade cerebrovascular	Exercício físico, especialmente HIIT, pode ser efetivo na redução de dano cognitivo
23	99	M e F	30-65 anos	com sobrepeso, sedentários e risco para DM II	HIIT, MICT	2 semanas	Feeling Scale; Physical Activity Enjoyment Scale; Affective and cognitive attitudes Conner 2011	—	Respostas afetivas e cognições sociais são similarmente afetadas pelo HIIT e MICT
24	945	M e F	idosos	saudáveis	HIIT, MICT	5 anos	MoCA	—	Exercício físico não está associado de forma significativa com a cognição entre idosos

M: masculino e F: feminino; HIIT: Treinamento Intervalado de Alta Intensidade; MICT: Treinamento Contínuo de Intensidade Moderada; RT: Treinamento Resistido; RW: Treinamento em Roda; —: não aplicado ou não informado.

Enquanto no estudo de Inoue *et al.*⁸ não houve diferenças significativas no desempenho do teste para ambos os grupos de treinamento, no estudo de Coetsee *et al.*⁹ o grupo MICT apresentou melhor performance e no de Mekari *et al.*¹⁰, de maneira oposta, o grupo HIIT obteve melhores resultados. Uma hipótese para essa divergência seria a diferença no tamanho da amostra (n) e no tempo de intervenção. Os estudos de Inoue *et al.*⁸ e Mekari *et al.*¹⁰ apresentaram número de participantes semelhantes (20 e 25, respectivamente) e 6 semanas de intervenção. Já Coetsee *et al.*⁹ utilizaram uma amostra de 67 participantes e 16 semanas de treinamento físico. Esses dados sugerem,

portanto, que uma amostra maior pode trazer resultados com menos vieses individuais e que o HIIT pode estar associado a um incremento agudo na cognição, enquanto o MICT pode estar associado a benefícios de longo prazo. Outro aspecto relevante que limita a comparação entre os resultados e dificulta a compreensão dos mecanismos pelos quais o exercício físico influencia a cognição é a diversidade de análises complementares utilizadas. Constans *et al.*¹¹ utilizaram-se de marcadores bioquímicos, como os níveis plasmáticos do BDNF e PGC1-alfa (do inglês, *peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator1-alpha*) enquanto Kao *et al.*¹² analisaram a atividade neuroelétrica, por meio de Eletroencefalograma (EEG). Já Feter *et al.*¹³ utilizaram os níveis de acetilcolina e de espécies reativas de oxigênio (ROS) para verificar os efeitos na memória e aprendizagem e no estresse oxidativo, respectivamente. Em Zhu *et al.*¹⁴ foi utilizado fNIRS (do inglês, *Functional near-infrared spectroscopy*) para monitoramento da oxigenação do córtex pré-frontal, além das medidas dos níveis de glicose e lactato. Por se tratarem de modelos animais, algumas medições se tornam mais factíveis, como foi o caso de Constans *et al.*¹¹ e Feter *et al.*¹³, no entanto os resultados apresentados em camundongos podem ser diferentes daqueles que poderiam ser encontrados em humanos, principalmente em virtude do desenvolvimento cerebral divergente das duas espécies¹⁴.

Em relação ao perfil dos participantes, a literatura tem evidenciado uma associação direta do estrogênio com os

níveis sanguíneos de BDNF (cascata estrogênio-BDNF-NPY), influenciando, portanto, na regulação hipocampal¹⁵. Sabendo que o estrogênio se apresenta em maior concentração no sexo feminino, é plausível a hipótese de que haja diferença na modulação da cognição pelo BDNF entre os sexos feminino e masculino. Apesar desse fato, a maior parte dos estudos analisados utilizou participantes de ambos os sexos, separados randomicamente entre os grupos de intervenção^{7-10,12,15-17}, o que pode ter interferido nos resultados obtidos. Outros^{8,18,19} selecionaram apenas candidatos homens para compor a amostra da pesquisa, na tentativa de retirar o viés hormonal dos resultados.

Apesar de todos os estudos analisados terem apontado o HIIT como modalidade de treinamento associada a resultados mais expressivos no incremento da cognição, em comparação com o MICT, ainda não existem evidências contundentes da razão dessa superioridade. No entanto, algumas hipóteses podem ser levantadas. Já é sabido que, com o avanço da idade, o fluxo sanguíneo cerebral diminui e, por sua vez, os processos cognitivos se tornam defasados²⁵. Estudos apontam para a ideia de que o HIIT melhora o fluxo sanguíneo cerebral, quando comparado ao MICT. Esse dado, por sua vez, implicaria em melhoras cognitivas, já que o maior fluxo sanguíneo está diretamente associado ao aumento do transporte de oxigênio e metabolismo cerebral, além das atividades neuronais²⁶⁻²⁸. Outro estudo²⁹ aponta que talvez a grande diferença esteja relacionada ao exercício aeróbico, quando comparado ao

anaeróbico. Nesse sentido, em estudo realizado com idosos sedentários²⁹ demonstrou-se que para tarefas que exigiam controle executivo, o grupo que realizou exercício aeróbico apresentou desempenho cognitivo melhor do que o grupo que realizou o exercício anaeróbico. Essa hipótese se justifica a partir da premissa que o aumento da disponibilidade de oxigênio nos órgãos implicaria no aumento da respiração celular e na renovação dos processos metabólicos, aumentando a capacidade de sobrevivência e renovação das células, nesse caso, dos neurônios. Uma outra hipótese possível está relacionada ao BDNF, uma vez que estudos mostram que o HIIT é capaz de induzir maiores concentrações séricas de BDNF, quando comparado ao MICT³⁰.

Dessa forma, aponta-se para a necessidade de que os próximos estudos conduzidos na área busquem uma maior padronização e rigor metodológico, a fim de que comparações entre os resultados possam ser desempenhadas com maior adequação. Com isso, espera-se que as lacunas na compreensão dos efeitos do EF na cognição, assim como o tipo de treinamento e a dose-resposta mais efetiva, sejam esclarecidos com confiabilidade.

CONCLUSÕES

Este estudo tem o objetivo de verificar qual dos exercícios, HIIT ou MICT, apresenta maiores contribuições para cognição. De acordo com o levantamento da literatura

evidenciado neste trabalho, os dados sugerem que o HIIT apresenta melhorias expressivas na cognição quando comparado ao MICT. No entanto, os mecanismos pelos quais isso ocorre ainda não estão claros. Dessa forma, são necessários mais estudos que possam investigar com maior profundidade os aspectos metodológicos referentes à prática do EF e os mecanismos fisiológicos adaptativos subjacentes, capazes de provocar mudanças cerebrais que promovam melhoria do desempenho cognitivo.

REFERÊNCIAS

- 1.Vergoossen LWM, Jansen JFA, de Jong JJA, Stehouwer CDA, Schaper NC, Savelberg HHCM, *et al.* Association of physical activity and sedentary time with structural brain networks—The Maastricht Study. *GeroScience* 2020;43:239-52. <https://doi.org/10.1007/s11357-020-00276-z>
- 2.Cavill N, Kahlmeier S, Racioppi F. Physical Activity in Europe: evidence for action. Copenhagen: Regional Office for Europe of the World Health Organization; 2006. https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0011/87545/E89490.pdf
- 3.Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Pub Health Rep* 1985;100:126-31. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3920711/>
- 4.Brantley EC, Benveniste EN. Signal Transducer and Activator of Transcription-3: A Molecular Hub for Signaling Pathways in Gliomas. *Mol Cancer Res* 2008;6:675-84. <https://doi.org/10.1158/1541-7786.mcr-07-2180>
- 5.Brooks GA, White TP. Determination of metabolic and heart rate responses of rats to treadmill exercise. *J App Physiol* 1978;45:1009-15. <https://doi.org/10.1152/jappl.1978.45.6.1009>
- 6.Lana AC, Paulino CA, Gonçalves ID. Influência dos exercícios físicos de baixa e alta intensidade sobre o limiar de hipernocicepção e outros parâmetros em ratos. *Rev Bras Med Esp* 2006;12:248-54. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922006000500005>
- 7.Tian S, Mou H, Fang Q, Zhang X, Meng F, Qiu F. Comparison of the Sustainability Effects of High-Intensity Interval Exercise and Moderate-Intensity Continuous Exercise on Cognitive Flexibility. *Inter J Environ Res Pub Health* 2021;18:9631. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189631>

8. Inoue DS, Monteiro PA, Gerosa-Neto J, Santana PR, Peres FP, Edwards KM, *et al.* Acute increases in brain-derived neurotrophic factor following high or moderate-intensity exercise is accompanied with better cognition performance in obese adults. *Sci Rep* 2020;10:13493. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70326-1>
9. Coetsee C, Terblanche E. The effect of three different exercise training modalities on cognitive and physical function in a healthy older population. *Eur Rev Aging and Physical Activity*. 2017 Aug 10;14(1). <https://doi.org/10.1186/s11556-017-0183-5>
10. Mekari S, Earle M, Martins R, Drisdelle S, Killen M, Bouffard-Levasseur V, *et al.* Effect of High Intensity Interval Training Compared to Continuous Training on Cognitive Performance in Young Healthy Adults: A Pilot Study. *Brain Sci* 2020;10:81. <https://doi.org/10.3390/brainsci10020081>
11. Constans A, Pin-Barre C, Molinari F, Temprado J-J, Briocche T, Pellegrino C, *et al.* High-intensity interval training is superior to moderate intensity training on aerobic capacity in rats: Impact on hippocampal plasticity markers. *Behav Brain Res* 2021;398:112977. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112977>
12. Kao S-C, Wang C-H, Kamijo K, Khan N, Hillman C. Acute effects of highly intense interval and moderate continuous exercise on the modulation of neural oscillation during working memory. *Inter J Psychophysiol* 2021;160:10-7. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.12.003>
13. Feter N, Spanevello RM, Soares MSP, Spohr L, Pedra NS, Bona NP, *et al.* How does physical activity and different models of exercise training affect oxidative parameters and memory? *Physiol Behav* 2019;201:42-52. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.12.002>
14. Semple BD, Blomgren K, Gimlin K, Ferriero DM, Noble-Haeusslein LJ. Brain development in rodents and humans: Identifying benchmarks of maturation and vulnerability to injury across species. *Prog Neurobiol* 2013;106/107:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.04.001>
15. Scharfman HE, MacLusky NJ. Estrogen and brain-derived neurotrophic factor (BDNF) in hippocampus: Complexity of steroid hormone-growth factor interactions in the adult CNS. *Front Neuroendocrinol* 2006;27:415-35. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2006.09.004>
16. Tsai C-L, Pan C-Y, Tseng Y-T, Chen F-C, Chang Y-C, Wang T-C. Acute effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous exercise on BDNF and irisin levels and neurocognitive performance in late middle-aged and older adults. *Behav Brain Res* 2021;413:113472. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113472>
17. Santos A, Stork MJ, Locke SR, Jung ME. Psychological responses to HIIT and MICT over a 2-week progressive randomized trial among individuals at risk of type 2 diabetes. *J Sports Sci* 2020;39:170-82. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1809975>
18. Zhu Y, Sun F, Chiu MM, Siu AY-S. Effects of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on executive

- function of healthy young males. *Physiol Behav* 2021;239:113505. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113505>
19. De Lima NS, De Sousa RAL, Amorim FT, Gripp F, Diniz e Magalhães CO, Henrique Pinto S, *et al.* Moderate-intensity continuous training and high-intensity interval training improve cognition, and BDNF levels of middle-aged overweight men. *Metab Brain Dis* 2022;37:463-71. <https://doi.org/10.1007/s11011-021-00859-5>
20. Fiorelli CM, Ciolac EG, Simieli L, Silva FA, Fernandes B, Christofolletti G, *et al.* Differential Acute Effect of High-Intensity Interval or Continuous Moderate Exercise on Cognition in Individuals With Parkinson's Disease. *J Phys Act Health* 2019;16:157-64. <https://doi.org/10.1123/jpah.2018-0189>
21. Li B, Liang F, Ding X, Yan Q, Zhao Y, Zhang X, *et al.* Interval and continuous exercise overcome memory deficits related to β -Amyloid accumulation through modulating mitochondrial dynamics. *Behav Brain Res* 2019;376:112171. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.112171>
22. Northey JM, Pumpa KL, Quinlan C, Ikin A, Toohey K, Smees DJ, *et al.* Cognition in breast cancer survivors: A pilot study of interval and continuous exercise. *J Sci Med Sport* 2019;22:580-5. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.11.026>
23. Santos A, Stork MJ, Locke SR, Jung ME. Psychological responses to HIIT and MICT over a 2-week progressive randomized trial among individuals at risk of type 2 diabetes. *J Sports Sci* 2021;39:170-82. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1809975>
24. Zotcheva E, Håberg AK, Wisløff U, Salvesen Ø, Selbæk G, Stensvold D, *et al.* Effects of 5 Years Aerobic Exercise on Cognition in Older Adults: The Generation 100 Study: A Randomized Controlled Trial. *Sports Med* 2022;52:1689-99. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01608-5>
25. Ainslie PN, Cotter JD, George KP, Lucas S, Murrell C, Shave R, *et al.* Elevation in cerebral blood flow velocity with aerobic fitness throughout healthy human ageing. *J Physiol* 2008;586:4005-10. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.158279>
26. Lucas SJ, Cotter JD, Brassard P, Bailey DM. High-Intensity Interval Exercise and Cerebrovascular Health: Curiosity, Cause, and Consequence. *J Cerebral Blood Flow Metab* 2015;35:902-11. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2015.49>
27. Klein T, Bailey TG, Abeln V, Schneider S, Askew CD. Cerebral Blood Flow during Interval and Continuous Exercise in Young and Old Men. *Med Sci Sports Exe* 2019;51:1523-31. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001924>
28. Whitaker AA, Alwatban M, Freemyer A, Perales-Puchalt J, Billinger SA. Effects of high intensity interval exercise on cerebrovascular function: A systematic review. *Plos One* 2020;15:e0241248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241248>
29. Kramer AF, Hahn S, Cohen NJ, Banich MT, McAuley E, Harrison CR, *et al.* Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature* 1999;400:418-9. <https://doi.org/10.1038/22682>

30.Saucedo Marquez CM, Vanaudenaerde B, Troosters T, Wenderoth N. High-intensity interval training evokes larger serum BDNF levels compared with intense continuous exercise. *J App Physiol* 2015;119:1363-73. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00126.2015>