



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS

Simone Follmann

**EFEITOS AGUDOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NO DESEMPENHO COGNITIVO EM
ADULTOS JOVENS SAUDÁVEIS: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Florianópolis

2022

Simone Follmann

**EFEITOS AGUDOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NO DESEMPENHO COGNITIVO EM
ADULTOS JOVENS SAUDÁVEIS: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Dissertação submetida ao Programa de Neurociências da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Neurociências.

Orientador: Prof. Dr. Andrei Mayer de Oliveira

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Follmann, Simone

Efeitos agudos do exercício físico no desempenho cognitivo em adultos jovens saudáveis: uma revisão de literatura. / Simone Follmann ; orientador, Andrei Mayer de Oliveira, 2022.

63 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós Graduação em Neurociências, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Neurociências. 2. Desempenho cognitivo agudo. 3. Controle Atencional . 4. Memória de Trabalho. 5. Exercício Físico. I. Oliveira, Andrei Mayer de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Neurociências. III. Título.

Simone Follmann

**EFEITOS AGUDOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NO DESEMPENHO COGNITIVO EM
ADULTOS JOVENS SAUDÁVEIS: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Eduardo Luiz Gasnhar Moreira, Dr
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Cassiano Ricardo Rech, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Neurociências.

Aderbal Silva Aguiar Junior
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Andrei Mayer de Oliveira
Orientador

Florianópolis, 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao Prof. Adair (*in memoriam*) pela oportunidade. O mestrado no PPGNeuro foi uma das experiências mais engrandecedoras e felizes que eu tive e sem a sua ousadia isso não teria sido possível.

Agradeço de coração ao Prof. Andrei que quando mais precisei não hesitou em apoiar e conduzir meus estudos neste momento final. A sua disponibilidade, dedicação e orientação foram fundamentais. Muito obrigada!

Ao Everton, por toda a força e apoio diários; pela parceria, por acreditar em mim e por tornar este processo leve e possível. Muito obrigada, meu amor!

À família amada, pai, mãe e irmãos que mesmo de longe sempre estiveram atentos e prontos para ajudar. Vocês são a minha base e grande parte da minha inspiração neste mundo acadêmico. Amo vocês.

À família de Blumenau, por todo o apoio e compreensão nos momentos de ausência. Obrigada pelo carinho e pelos momentos de descontração que me reenergizaram tantas vezes.

À Faculdade Borges de Mendonça que me apoiou com total flexibilidade de horário durante o mestrado e me possibilitou desenvolver projetos que possibilitaram colocar a teoria em prática e amadurecer neste caminho.

Ao Landi por todo o aprendizado e apoio dos colegas, em especial a Shelley por iluminar tanto o meu caminho do início ao fim desta trajetória; e à Scheila por todos os temas discutidos, indicações e disponibilidade de sempre. Obrigada!!!

Ao laboratório do Professor Andrei, que me recebeu tão bem e em tão pouco tempo, possibilitou que eu aprendesse tanto com cada um de vocês. Muito obrigada!

Ao bibliotecário Edson pelo apoio fundamental com a busca de dados para a revisão. Obrigada pela paciência e disponibilidade.

À Fernanda, Educadora Física e amiga de longa data, por me auxiliar com o tema “exercício físico”. Obrigada!!!

Por fim, um agradecimento especial ao PPGNeuro por toda a seriedade e comprometimento das coordenações, dos professores e dos alunos. Eu me sinto realmente privilegiada em fazer parte deste programa tão bem estruturado e ao mesmo tempo tão colaborativo.

RESUMO

Uma das intervenções mais promissoras em termos de benefícios para a saúde e o bem estar físico e mental humano é a prática de exercício físico. Também já vêm sendo relatados benefícios cognitivos agudos após uma única sessão de exercício físico, entretanto, muitos resultados divergentes tem sido alcançados devido a uma grande variedade de parâmetros de exercício físico que vêm sendo aplicados. Com base nisso, o objetivo desta revisão integrativa foi investigar as evidências científicas publicadas nos últimos 10 anos (entre 2012 a 2022) sobre os efeitos agudos do exercício físico no desempenho da memória de trabalho e da atenção em adultos jovens. A partir de uma estratégia de busca baseada nos assuntos *physical exercise*, *working memory*, e *attentional control*, selecionamos os estudos clínicos controlados publicados nas bases de periódicos Scopus, Web of Science e Pubmed nos últimos dez anos (2012 a 2022), que mediram desempenho comportamental de controle atencional ou memória de trabalho logo após a uma sessão de exercício. Após a seleção e a exclusão de artigos, analisamos os resultados de medidas comportamentais e fisiológicas de vinte e cinco trabalhos que atenderam aos critérios de inclusão. As seguintes variáveis foram extraídas e analisadas: modalidade, tipo, tempo e intensidade do exercício físico; a tarefa cognitiva aplicada; e medidas fisiológicas extraídas durante a tarefa cognitiva e variáveis externas como cronotipo, humor e outras. Os principais resultados encontrados no nosso estudo foram: 1) a maioria dos estudos tem se baseado em sessões de exercício físico aeróbico de corrida ou ciclismo em laboratório; 2) sessões de corrida em esteira de menor tempo de duração parecem trazer mais benefício cognitivo quando executados em intensidade vigorosa; 3) ciclismo ou corrida em esteira com duração de 20 ou 30 minutos trazem melhores resultados com intensidade moderada. De acordo com os resultados desta pesquisa, a corrida em comparação ao ciclismo parece estar trazendo resultados benéficos cognitivos mais consistentes e regulares.

Palavras-chave: Exercício Físico. Controle atencional. Memória de Trabalho.

ABSTRACT

One of the most promising interventions in terms of benefits for human health and physical and mental well-being is physical exercise. Acute cognitive benefits have also been reported after a single physical exercise session, however, many divergent results have been achieved due to a wide variety of physical exercise parameters that have been applied. Based on this, the objective of this integrative review was to identify the ideal characteristics of a physical exercise session that promote acute positive effects on cognitive performance of attention and working memory in healthy young adults. Based on a search strategy based on physical exercise, working memory, and attentional control, we selected controlled clinical studies published in the journals Scopus, Web of Science, and Pubmed in the last ten years (2012 to 2022), which measured performance behavior of attentional control or working memory right after an exercise session. After selecting and excluding articles, we analyzed the results of behavioral and physiological measures of twenty-five works that met the inclusion criteria. The following variables were extracted and analyzed: modality, type, time, and intensity of physical exercise; the applied cognitive task; physiological measures during the cognitive task and external variables such as chronotype, mood, and others. The main results found in our study were: 1) most studies have been based on aerobic physical exercise sessions of running or cycling in the laboratory; 2) shorter treadmill running sessions seem to bring more cognitive benefit when performed at vigorous intensity; 3) cycling or running on a treadmill lasting 20 or 30 minutes brings better results with moderate intensity. Running compared to cycling appears to be bringing more consistent and regular cognitive beneficial results.

Keywords: Physical Exercise. Attentional control. Working Memory.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Modelo simplificado papel CPF na atenção e memória de trabalho ..	15
Figura 2: Fluxograma de identificação dos estudos.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Testes comportamentais aplicados nos estudos da revisão.....	20
Tabela 2: Equivalência de intensidade de exercício físico	25
Tabela 3: Artigos por modalidade, tipo e intensidade de exercício físico.....	310
Tabela 4: Síntese de dados e desfechos dos artigos incluídos.	31
Tabela 5: Local, método, amostra e perfil dos artigos participantes.	33
Tabela 6: Atividade do grupo controle.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BdNF Fator neurotrófico derivado do cérebro

OMS Organização Mundial da Saúde

TDA Transtorno de Déficit de Atenção

ATV Área Tegmentar Ventral

CPF Córtex Pré-Frontal

fNRIS Espectroscopia de infravermelho próximo funcional

EEG Eletroencefalografia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO	11
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
1.1.3	Delimitação da Pesquisa	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	COGNIÇÃO	13
2.1.1	Atenção e Memória de Trabalho	14
2.1.2	Testes comportamentais para mensurar Atenção e Memória de Trabalho	20
2.2	EXERCÍCIO FÍSICO E DESEMPENHO COGNITIVO.....	24
2.3	MODALIDADES E INTENSIDADES DE EXERCÍCIO FÍSICO	25
3	MATERIAIS E MÉTODO	26
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ETAPAS DA PESQUISA.....	27
3.1.1	Definição dos critérios de inclusão	27
3.1.2	Estratégia de busca da literatura	27
3.1.3	Seleção dos estudos	27
3.1.4	Extração dos dados dos artigos	28
3.1.5	Apresentação dos resultados	28
4	RESULTADOS	28
4.1	SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	28
4.2	PRINCIPAIS RESULTADOS COMPORTAMENTAIS	34
4.2.1	Corrida ou caminhada de intensidade moderada	35
4.2.2	Corrida de intensidade vigorosa	36
4.2.3	Comparando corrida ou caminhada de intensidade moderada com outras intensidades	37

4.2.4	Ciclismo de intensidade moderada	38
4.2.5	Ciclismo de intensidade vigorosa	39
4.2.6	Exercícios de resistência	41
4.3	RESULTADOS FISIOLÓGICOS	41
4.4	VARIÁVEIS EXTERNAS	45
5	DISCUSSÃO	47
6	CONCLUSÃO	52
7	RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	53
8	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Uma das intervenções mais bem consolidadas em termos de benefícios para a saúde e o bem estar humano é a prática de exercício físico. Ele tem potencial para melhorar tanto o bem estar físico como o cognitivo. No entanto, os benefícios do exercício físico para a saúde geral (prevenção de hipertensão, doenças cardíacas, diabetes, osteoporose, depressão e outros) começaram a ser considerados seriamente na sociedade ocidental apenas no final do século passado (CHANG *et al.*, 2012).

Apesar do aumento da consciência da população em função dos inúmeros benefícios oriundos da diminuição dos hábitos sedentários, no Brasil hoje, apenas 37% da população adulta pratica o tempo mínimo de exercício físico recomendável pela OMS, ou seja, 150 minutos semanais de intensidade moderada ou 75 minutos de intensidade vigorosa (VIGITEL, 2019).

Além de todos os benefícios físicos já bem caracterizados na literatura, como fortalecimento do sistema cardiovascular, controle do peso corporal e combate as doenças crônicas, um crescente corpo de literatura tem relacionado a prática do exercício físico com melhorias na função cerebral e cognitiva (HOGAN, 2005). Isso se deve à liberação de substâncias pelo organismo com capacidade de interferir no funcionamento do sistema nervoso central (CHANG, *et al.*, 2012). Com o esforço do movimento corporal, o exercício físico provoca a liberação de substâncias pelos músculos, como por exemplo, a catepsina B, que atravessam a barreira hematoencefálica e agem melhorando o funcionamento neuronal. Além disso, a expressão do fator neurotrófico derivado do cérebro (Bdnf), fundamental para a sobrevivência celular e, conseqüentemente, bom funcionamento neuronal e cognitivo, é também aumentada a partir da prática de exercício físico. A neurogênese adulta (produção de novos neurônios em um indivíduo adulto) também é aumentada pelo exercício físico, especialmente em regiões do hipocampo, que é uma importante estrutura do sistema límbico do cérebro humano com participação fundamental na modulação do humor e na memória espacial, também tem sido atrelada à prática de exercício físico (CHANG, *et al.*, 2012).

Assim, não nos surpreende o fato de que muitas pesquisas venham mostrando os benefícios da prática regular de exercício físico no desempenho cognitivo tanto de indivíduos saudáveis (GOERNARJO *et al.* 2020) acometidos por transtornos mentais, como a ansiedade e Depressão Maior, e até mesmo doenças neurodegenerativas

como a Doença de Alzheimer, por exemplo (CHANG *et al.*,2012). Também já foram relatados benefícios agudos, ou seja, em instantes após o término de uma única sessão de exercício físico, no desempenho da atenção e da memória de trabalho, entretanto, alguns pontos ainda não estão bem esclarecidos, como tempo de duração, modalidade e intensidade ideais para esta finalidade. Considerando, por exemplo, que correr isoladamente em sessões muito extensas e extenuantes de esforço físico podem ter efeito supressor na neurogênese adulta, possivelmente devido ao estresse gerado nesta dinâmica (PONCE *et al.*, 2019), nota-se a necessidade de clareza de protocolos de exercício físico que possibilitem o indivíduo se exercitar com consciência dos benefícios que ele pode esperar de acordo com os parâmetros utilizados por ele.

Observa-se ainda que em muitas pesquisas que avaliam o efeito cognitivo agudo do exercício físico, os resultados têm variado muito em função dos parâmetros (duração, intensidade, tipo) de exercício físico utilizados. Sendo assim, o objetivo desta revisão é investigar evidências científicas relacionadas a benefícios agudos do exercício físico na atenção e na memória de trabalho e ampliar o entendimento quanto aos reflexos agudos do exercício físico no desempenho cognitivo.

1.1OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar as evidências científicas publicadas nos últimos 10 anos sobre os efeitos agudos do exercício físico no desempenho da memória de trabalho e da atenção.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Descrever as principais características metodológicas dos estudos que investigaram os efeitos agudos do exercício físico no desempenho cognitivo.
2. Identificar os mecanismos fisiológicos pelos quais o exercício físico interfere no desempenho atencional e de memória de trabalho;
3. Observar se outros elementos como sono, emoções e cronotipo foram considerados e correlacionados com o desempenho cognitivo após a sessão de exercício físico.

1.1.3 Delimitação da Pesquisa

Esta revisão contempla os estudos clínicos realizados em adultos jovens, publicados nos últimos 10 anos (entre 2012 e 2022) que especificam a modalidade, o tipo, a intensidade e o tempo da sessão do exercício físico aplicados no desenho experimental.

1.2 JUSTIFICATIVA

A atenção e a memória de trabalho são habilidades cognitivas que envolvem muitas estruturas neuronais em comum (PANICHELLO; BUSCHMAN, 2021) e ambas estão diretamente relacionadas com outros tipos de memória e com o aprendizado (MCNAB; KLINGBERG, 2008).

Memória significa aquisição, formação, conservação e evocação de informações. Tudo aquilo que aprendemos possui um registro de memória no sistema nervoso central, e a memória de trabalho, especificamente, é a porta de entrada para os demais tipos de memórias e, portanto, merece uma atenção especial (PANICHELLO; BUSCHMAN, 2021).

Muitas desordens neurológicas são caracterizadas por perda de habilidades atencionais e/ou de memória, como por exemplo, o Transtorno do Déficit de Atenção (TDA) e a Esquizofrenia, muitas vezes diagnosticados na vida adulta e a Doença de Alzheimer que geralmente se manifesta com a idade avançada, mas que pode ser prevenida ou retardada a partir de hábitos saudáveis que envolvam exercício físico. (PANICHELLO; BUSCHMAN, 2021).

Além disso, a população adulta jovem costuma, em sua maioria, demandar intensamente as funções cognitivas para fins acadêmicos e/ou profissionais. Pesquisas que relacionam efeitos agudos do exercício físico no desempenho cognitivo, nos últimos 10 anos, foram em sua maioria direcionadas para o público idoso e infantil, havendo uma carência de estudos para o público adulto jovem em especial.

O exercício físico tem se mostrado uma alternativa com enorme potencial para aprimorar as habilidades atencionais e de memória de trabalho de uma forma prazerosa e com baixo custo. Além disso, o exercício físico se apresenta também de forma muito democrática, acessível de alguma forma para grande parte da população, com um grande leque de possibilidades para as mais variadas condições físicas, socioeconômicas e preferências. Podendo repercutir, inclusive, na diminuição dos

gastos públicos com saúde, mas principalmente no bem estar e no desempenho dos indivíduos.

Nos últimos 10 anos, as pesquisas voltadas para o efeito agudo do exercício físico têm demonstrado que uma única sessão de exercício tem grande potencial para melhorar o desempenho do controle atencional (HWANG, J *et al.*, 2016) da memória de trabalho (LEGRAND, F. *et al.*, 2018) e que já é possível observar a ativação de mecanismos fisiológicos envolvidos nestas funções cognitivas como, por exemplo, aumento de níveis séricos de BDNF (TSAI, C, *et al.*, 2016), aumento da ativação de regiões encefálicas específicas de atenção e memória de trabalho (LI, L, *et al.*, 2014) e aumento do fluxo sanguíneo no córtex pré-frontal (DAMRONGTHAI, C. *et al.*, 2021). Entretanto, existe ainda um grande número de inconsistências na literatura, no que se refere aos protocolos (tempo, intensidade e tipo) de exercício físico utilizados nas investigações e seus possíveis benefícios para a cognição de forma aguda. Isso nos leva à necessidade de identificar quais são os parâmetros de exercício físico que realmente impactam positivamente no desempenho da atenção e da memória de trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo elucidar aspectos fundamentais de atenção, memória de trabalho de exercício físico. Para isso o dividimos em três partes, na primeira discorreremos sobre a cognição, em especial sobre atenção, memória de trabalho, estruturas neurais compartilhadas entre elas, assim como variáveis que impactam no desempenho de ambas: motivação, o relógio biológico, sono e emoções. Ainda na 1ª parte, iremos também discorrer sobre como o desempenho atencional e de memória, do ponto de vista comportamental, vêm sendo mensurados em trabalhos com experimentos clínicos. Na 2ª parte, abordamos os efeitos do exercício físico no desempenho cognitivo. Por fim, na 3ª parte, abordamos sobre as modalidades e intensidades de exercício físico.

2.1 COGNIÇÃO

O termo 'cognição' refere-se a todos os processos pelos quais os sinais de entrada sensoriais são transformados, reduzidos, elaborados, armazenados, recuperados e utilizados (PALMIERE *et al.*, 2018). Por exemplo, quando se pretende

atravessar a rua, sinais sensoriais auditivos e visuais de um carro se aproximando passam por vários processos que permitem ao cérebro construir a percepção de que tem um carro se aproximando. Tal informação, então, é utilizada pelo córtex pré-frontal para orientar a ação, que, neste caso, poderia ser atravessar a rua imediatamente, esperar o carro passar, ou procurar uma faixa de segurança, e assim por diante.

A atenção e a memória de trabalho são elementos cognitivos essenciais neste processo, enquanto a atenção possibilita que os sistemas sensoriais captem informações relevantes para uma tarefa, a memória de trabalho faz com que a informação permaneça ativa até que a decisão seja tomada, que, naquele exemplo, seria como atravessar a rua com segurança.

2.1.1 Atenção e Memória de Trabalho

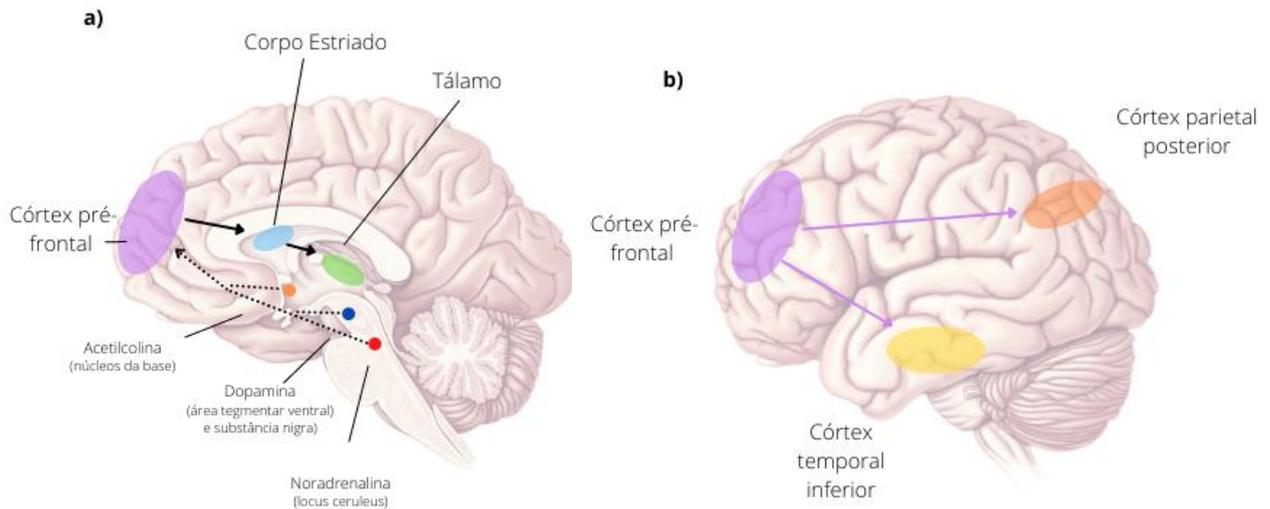
Atenção e memória de trabalho são funções cognitivas que atuam em conjunto, entretanto, ambas possuem funções distintas e bem estabelecidas. A atenção é a seleção de estímulos de maneira rápida e contínua por um período de tempo e, se relevantes, os estímulos são priorizados para responder adequadamente a uma tarefa (WIMMER *et al.*, 2015). A memória de trabalho é um subtipo de memória, considerada como a “porta de entrada” para os demais tipos de memória (PANICHELLO; BUSCHMAN, 2021). Ela gerencia a realidade e determina o contexto em que os diversos fatos e informações ocorrem, se vale a pena ou não “encaminhar” estas informações para regiões especializadas em formar outros tipos de memória, como memórias de curta ou de longa duração, por exemplo.

A maioria das informações chega ao ser humano através dos sentidos. O córtex pré-frontal é quem administra estas informações possibilitando manter o foco atencional no estímulo relevante, mantê-lo na memória de trabalho por alguns segundos ou minutos e ignorar outros estímulos não relevantes para a tarefa (GAZZALEY; NOBRE, 2012).

Existe um amplo consenso de que atenção e memória de trabalho utilizem uma considerável estrutura neuronal funcional em comum (GAZZALEY; NOBRE, 2012; MAYER *et al.*). Tanto o controle atencional como a memória de trabalho são orquestrados pelo córtex pré-frontal, que se modula a atividade tanto de regiões subcorticais, como o estriado e o tálamo, como de outras regiões corticais de alta ordem, como o córtex parietal posterior e o córtex inferotemporal. E é por meio dessa alta interação recíproca com todas essas regiões que o córtex pré-frontal desempenha

suas funções executivas, de controle atenção e manutenção de informação relevantes para execução de uma tarefa, memória de trabalho (PANICHELLO; BUSCHMAN, 2021) (Figura 1).

Figura 1: Modelo simplificado da função do córtex pré-frontal na atenção e memória de trabalho



Legenda: a) Via simplificada de neuromoduladores noradrenalina, dopamina e acetilcolina modulando a atuação do córtex pré-frontal e este se modulando a regiões subcorticais como o tálamo e o corpo estriado e a b) outras regiões corticais de alta ordem superior como o córtex temporal inferior e o córtex parietal superior.

Fonte: Adaptado de Bear *et al.*, 2017.

Toda esta dinâmica orquestrada pelo córtex pré-frontal conta com a atividade elétrica e química dos neurônios especializados nestas funções. Os principais neurotransmissores moduladores da atenção e da memória de trabalho são a noradrenalina, a acetilcolina e a dopamina (Figura 1) (PANICHELLO; BUSCHMAN, 2021).

Isso explica o fato conhecido de que um estado de ânimo negativo que represente uma diminuição da atuação de algum destes neurotransmissores, por exemplo, por falta de sono suficiente, por depressão ou por simples tristeza, perturba tanto a atenção como a memória de trabalho. Ambas ficam prejudicadas quando estamos distraídos, desanimados, cansados ou sem motivação (GAZZALEY; NOBRE, 2012).

2.1.1.1 Atenção

A todo momento um grande número de informações do ambiente em que estamos inseridos (barulhos, imagens, cheiros, etc) são administradas pelo cérebro para que o foco atencional em determinada tarefa aconteça. Diversos estímulos captados pelos sentidos sensoriais competem pelo acesso a recursos de processamento limitados e os mecanismos da atenção agem no sentido de inibir o que é pouco relevante para dar ênfase às informações que são mais importantes para a tarefa (BUSCHMAN; KASTNER, 2015). Tal inibição depende da atuação do núcleo reticular talâmico, que inibe a entrada de certas informações sensoriais pelo tálamo, e que, por sua vez, é modulado pelo CPF, via núcleos da base (estriado), de acordo com o objetivo da tarefa (Figura 1) (WIMMER *et al.*, 2015). Este mecanismo resulta em alterações da sensibilidade do sistema à informações sensoriais específicas e resulta na geração de respostas mais rápidas acuradas e adequadas à tarefa que está sendo executada (WIMMER *et al.*, 2015).

Este sistema de controle inibitório é absolutamente necessário em ambientes de aprendizagem. Por exemplo, ele permite que um aluno consiga focar a atenção naquilo em que a Professora está falando enquanto ignora o barulho que vem dos corredores. Deste modo, o cérebro filtra as informações que são relevantes para gerar um comportamento adequado para aquele momento de aprendizagem que é o aluno direcionar a atenção à fala da Professora (WIMMER *et al.*, 2015).

Nós veremos que alguns testes comportamentais que avaliam atenção, medem o controle inibitório como parâmetro de referência. Nestes casos, quanto maiores os níveis de controle inibitório melhor é considerado o desempenho atencional. Outros trabalhos medem o que chamamos de atenção sustentada, que é a capacidade do ser humano de manter a sua atenção de forma voluntária a determinado estímulo, em detrimento de outros. Ela possibilita um comportamento razoavelmente contínuo de iniciar a concluir tarefas ou projetos de curto e longo prazo (POSNER; ROTHBART, 2007). A atenção sustentada parece ser dependente de circuitos que envolvem o córtex-pré-frontal, regiões do córtex parietal e do córtex cingulado anterior (RAZ; BUHLE, 2006).

Outro componente importante da atenção é o estado de alerta do indivíduo, definido como a capacidade de aumentar e manter a prontidão de resposta em preparação para um estímulo específico iminente (RAZ; BUHLE, 2006). Este

componente é tradicionalmente avaliado usando testes comportamentais onde o voluntário precisa responder o mais rápido possível à um estímulo alvo específico. No entanto, tais estímulos são precedidos por pistas, de modo o voluntário pode se preparar (aumentar seu grau de alerta) para detectar e responder ao estímulo. Quanto menor o tempo de resposta e maior a taxa de acertos do indivíduo àquele estímulo, significa que maior era seu estado de alerta (RAZ; BUHLE, 2006).

Vale mencionar ainda que a atenção inclui um conjunto de processos cognitivos altamente envolvidos em esforços físicos, como por exemplo, andar na rua, andar de bicicleta e desempenho da prática esportiva (GARLAND, 1990), influenciando o processamento de informações para responder com rapidez e precisão às demandas ambientais durante a prática de exercício físico.

2.1.1.2 Memória de trabalho

A memória de trabalho possibilita darmos sequência em uma conversa ou uma leitura. Durante alguns segundos até poucos minutos, ela possibilita saber onde estamos, o que estamos fazendo a cada momento e o que estávamos fazendo no momento anterior – é fundamental, portanto, para nossa percepção de continuidade dos nossos atos (WILKE, 2020).

Assim como a atenção, a memória de trabalho também depende do córtex pré-frontal e suas conexões com regiões subcorticais (em especial com o hipocampo e amígdala embaixo do lobo temporal) - Figura 1 - (WILKE, 2020). Estudos com primatas não humanos mostram claramente o papel do córtex pré-frontal para a memória de trabalho. A atividade neural do animal é medida enquanto ele está envolvido na realização de uma tarefa na qual ele precisa reter, por alguns segundos ou até minutos, a memória de uma imagem mostrada pra ele para depois conseguir dizer se uma 2ª imagem mostrada pra ele é igual a 1ª. Neste paradigma, os neurônios no córtex pré-frontal disparam de modo persistente durante o intervalo entre a 1ª e a 2ª imagem, supostamente contribuindo para manter a representação neural da imagem na memória de trabalho (YAMAZAKI *et al.* 2018).

A memória de trabalho permite também o ajuste fino do comportamento enquanto este acontece. Uma falha na memória de trabalho dificulta ou anula o julgamento sobre a importância dos acontecimentos que ocorrem constantemente e, portanto prejudica nossa percepção da realidade. Em seres humanos, uma lesão no

córtex pré-frontal resulta em comportamento desorganizado e distraído (YAMAZAKI *et al.* 2018). Um dos primeiros casos clínicos descritos que enfatizam a importância desta região para o comportamento é o caso de Phineas Gage - um ferroviário que após sobreviver a uma haste de ferro atravessada em sua cabeça, mudou completamente o seu comportamento. Antes muito persistente em seus negócios passou a agir de forma totalmente inconstante.

Vale enfatizar que tanto a atenção quanto a memória de trabalho, além de suas naturais limitações de tempo de duração e quantidade de informações processadas, sofrem impactos de diversos fatores como a desmotivação para determinada tarefa, prejuízos de sono, horário da tarefa em desacordo com o cronotipo, emoções, hábitos alimentares pouco saudáveis, sedentarismo entre outros. Os próximos tópicos elucidam a influência da motivação, do sono, do cronotipo e das emoções no desempenho cognitivo e nos possibilitam avaliar de forma mais criteriosa os resultados de estudos clínicos que envolvem avaliação de controle atencional e memória de trabalho.

2.1.1.3 Motivação e desempenho cognitivo

Motivação é o nome que se dá à força fisiológica que nos compele a executar um comportamento específico, em busca de algum objetivo específico (COOK, 2016). Este mecanismo conta com a fundamental participação do neurotransmissor dopamina. Uma diminuição da liberação deste neurotransmissor leva a uma diminuição do esforço para se trabalhar por uma determinada recompensa, ou seja, a dopamina gera motivação para o esforço (COOK; ARTINO, 2016).

A motivação, por meio da dopamina, possui uma relação direta com a atenção. Os principais neurônios dopaminérgicos (células nervosas que produzem a dopamina) estão localizados na área tegmental ventral (ATV) e na substância nigra no mesencéfalo. As projeções destes neurônios chegam ao núcleo accumbens e também para ao córtex pré-frontal, principal região do controle atencional (Figura 1) (BROMBERG-MARTIN *et al.*, 2010).

Os neurônios dopaminérgicos liberam dopamina em dois modos, “tônico” e “fásico”. Em sua forma tônica, os neurônios mantêm uma liberação basal de dopamina que é necessária para manter o funcionamento normal dos circuitos neurais que necessitam deste neurotransmissor, inclusive aqueles envolvidos no esforço

atencional. Em seu modo fásico, os neurônios dopaminérgicos aumentam e diminuem drasticamente suas taxas de disparo por 100-500 milissegundos, causando grandes mudanças nas concentrações de dopamina, com duração de vários segundos. Na prática, tarefas que disparam estímulos de interesse, aumentam a sinalização fásica de dopamina, modulando o foco atencional (BROMBERG-MARTIN *et al.*, 2010)

Neste sentido, uma tarefa entediante pode diminuir a sinalização de dopamina, o que levará a diminuição do interesse, do esforço para a tarefa e uma possível falha no desempenho atencional (KASS *et al.*, 2003).

2.1.1.4 Relógio Biológico, Sono e desempenho cognitivo

O ritmo circadiano é caracterizado por variações fisiológicas que ocorrem ao longo de um período de aproximadamente 24 horas (SALEHINEJAD *et al.*, 2021). Nestas variações fisiológicas estão incluídas variação da temperatura corporal, atividade cardíaca, respiratória e metabólica, atividade do sistema nervoso, secreção de hormônios como melatonina e cortisol e o ciclo de sono-vigília (VALDEZ, 2019).

A região encefálica responsável pelo ritmo circadiano é o hipotálamo, mais especificamente o núcleo supraquiasmático, uma estrutura que também regula inúmeras funções cíclicas como o grau de alerta, motivação e foco atencional (SCHMIDT *et al.*, 2007)

É importante considerarmos para esta revisão que durante um período de 24 horas, os indivíduos possuem diferenças na preferência de momentos do dia para executar rotinas e hábitos como dormir, acordar e executar determinadas tarefas, mais ou menos exigentes. Este padrão de preferências de atividades ao longo do dia é chamado de cronotipo (HORNE; OSTERBERG, 1976). Pontuações em escalas validadas classificam o indivíduo em “tipo extremo vespertino” aquele que prefere acordar e dormir mais tarde, o “tipo extremo matutino” que possui uma inclinação a dormir e acordar mais cedo e ainda há um “tipo intermediário” que pode alternar nestas preferências. Quando comparados aos tipos vespertinos, os matutinos têm uma fase mais precoce em parâmetros fisiológicos e cognitivos (LEVANDOVSKI *et al.* 2013)

Além disto, a quantidade e a qualidade do sono também afetam o controle atencional. Estudos já demonstraram que a restrição crônica de sono de menos de seis horas/diárias, quando o ideal seria entre sete e nove horas por dia, diminui consideravelmente o desempenho cognitivo (VAN DONGEN *et al.* 2003). Isso

demonstra que mesmo a restrição de sono relativamente moderada pode prejudicar seriamente funções como a atenção (VAN DONGEN *et al.* 2003).

Ainda não estão totalmente estabelecidas as bases fisiológicas de como a privação de sono causa o déficit atencional, mas os sintomas podem ser explicados, ao menos em parte, pelo acúmulo de metabólitos, incluindo a adenosina, que afeta a sinalização da dopamina e, como descrito anteriormente, é fundamental para motivação e controle atencional (KRAUSE *et al.*, 2017).

2.1.1.5 Emoções e desempenho cognitivo

Emoções são respostas fisiológicas transitórias a estímulos internos e/ou externos que modulam o foco atencional. As mudanças químicas no cérebro, por exemplo, a liberação de noradrenalina e dopamina, faz aumentar a priorização do direcionamento do foco atencional, ou seja, um estímulo quando associado a um componente emocional, atrai o direcionamento do foco atencional e assim o estímulo é percebido com maior velocidade em comparação a outro com conteúdo emocional neutro (EYSENCK *et al.*, 2007). Deste modo as emoções podem contribuir ou prejudicar o desempenho cognitivo, aproximando ou distanciando a atenção do indivíduo daquilo que ele pretende realizar no momento.

Algumas desordens emocionais como o transtorno depressivo e o transtorno de ansiedade geram desregulação emocional e comprometem o estado atencional e de memória. A desregulação emocional está caracterizada pela variação da atividade de áreas do cérebro, como a diminuição da atividade do córtex pré-frontal e o aumento de estruturas subcorticais, como a amígdala, que interferem no direcionamento atencional (ETKIN, 2015).

2.1.2 Testes comportamentais para mensurar Atenção e Memória de Trabalho

Há décadas muitos testes para mensurar desempenho de atenção e memória de trabalho vêm sendo desenvolvidos, validados e adaptados. Na tabela abaixo constam os testes cognitivos utilizados nos estudos incluídos nesta revisão.

Tabela 1: Testes cognitivos comportamentais aplicados nos estudos incluídos nesta revisão.

TESTE COGNITIVO	COMO É APLICADO	O QUE AVALIA	ESTUDOS QUE APLICARAM
Tarefa N-Back	A tarefa N-back consiste em mostrar para o voluntário em uma tela de computador uma sequência de letras ou números, de modo que o mesmo precisa responder se tal símbolo	Memória de Trabalho	Ludyga, 2019; Palmiere, 2018; Hussey, 2020; Kao, 2020; Li, 2014; Ponce, 2019; Yamazaki, 2018;

	apresentado é ou não o mesmo apresentado N posições anteriores.		Weng, 2015
Tarefa Flanker	Cinco setas são apresentadas na tela de um computador. A seta central algumas vezes está direcionada para o mesmo lado das demais (condição congruente) e em outras para o lado oposto (condição incongruente). Os participantes são instruídos a responder da forma mais rápida e precisa possível, pressionando o polegar de acordo com a direção da seta central.	Controle inibitório (remete à atenção)	Rietz, 2019; Kao, 2017; Ludyga, 2018; Palmiere, 2018; Coleman, 2018; Hussey, 2020; e Mehren, 2019.
Trail Making Test A e B	Na parte A, com uma caneta o participante devem conectar da forma mais rápida possível números que estão distribuídos aleatoriamente em uma folha de papel, (por exemplo, 1 ao 2, 2 ao 3 e assim sucessivamente, sem tirar a caneta do papel) até conectar todos os números. Na parte B, são incluídas letras do alfabeto nesta folha. Números e letras sucessivos devem ser conectados, por exemplo, a letra A ao número 1, o número 1 a letra B, a letra B ao número 2 e assim por diante até concluir números e letras.	Memória de Trabalho	Hwang, 2016; Wilke, 2020; Engeroff, 2022; Legrand, 2018
Tarefa Stroop	Nomes de cores são listadas de forma congruente (por exemplo a palavra “verde” escrita na cor verde) ou incongruente (por exemplo, “verde” escrito em vermelho). O participantes precisavam ler a cor da palavra, ignorando o significado da palavra.	Controle inibitório (remete à atenção)	Damrongthai, 2021; Hwang, 2016, Wilke, 2020
Digit span test (forward e backward)	Na condição <i>forward</i> o participante precisa memorizar e repetir quantidades crescentes de números lidos para eles. No início, quatro números devem ser lembrados. Em caso de memorização bem sucedida, cinco números são nomeados e assim por diante. Para cada etapa, duas repetições são realizadas e um ou zero pontos são atribuídos dependendo do sucesso da recordação. Na condição <i>backward</i> os números devem ser repetidos na ordem inversa (por exemplo, 2, 4, 7, 9 torna-se 9, 7, 4, 2).	Memória de Trabalho	Wilke, 2020; Herold, 2022; Engeroff, 2022
Tarefa Go-NoGo	Para esta tarefa, as letras do alfabeto, por exemplo, são apresentadas em um design relacionado a eventos. Cada tentativa começa com a apresentação de uma única letra por fração de segundo, seguida por um intervalo pós-estímulo variável durante o qual uma cruz de fixação é visível. A tarefa dos participantes é responder a todas as letras (testes Go), exceto a letra “X” (testes No-go), pressionando uma tecla com o dedo indicador direito da forma mais rápida possível.	Controle inibitório (remete à atenção)	Mehren, 2019 e Chacko, 2020; Rietz, 2019
Protocolo de comutação de tarefa	Um dígito entre 1 e 9 (exceto o 5) é apresentado no centro da tela. Cada dígito é cercado por um quadrado sólido ou tracejado. Os participantes são solicitados a determinar se o dígito que aparece na tela é ímpar (pressionando o botão esquerdo) ou par (pressionando o botão direito) quando a dica aparece no quadrado tracejado. Para decidir se o dígito subsequente é menor (pressionando o botão esquerdo) ou maior (pressionando o botão direito) que 5 quando a sugestão aparece no quadrado sólido.	Atenção	Bae, 2019; Tsai 2016

Tarefa tátil de bola ímpar (Tactile Odd-Ball Task)	Estímulos vibracionais são entregues por meio de 2 sondas em contato com as pontas dos dedos do segundo e quinto dedos da mão esquerda. Os estímulos são apresentados aleatoriamente para cada dedo. As duas condições experimentais exigem que os sujeitos (1) responda ao estímulo no segundo dedo na mão esquerda enquanto ignoram todos os estímulos entregues ao quinto dedo, ou (2) respondam ao estímulo feito no quinto dedo na mão esquerda enquanto ignoram todos os estímulos para o segundo dedo.	Atenção Tátil	Popovich, 2015
Fast Task	Quatro círculos vazios (sinais de alerta, dispostos horizontalmente) por 8s, após os quais um deles (o alvo) fica colorido. Os participantes são solicitados a pressionar a tecla de resposta que corresponde à posição do alvo. Após uma resposta, os estímulos desapareceram e segue-se um intervalo entre tentativas fixas de 2,5s.	Controle atencional	Rietz, 2019
Tarefa de vigilância psicomotora	O objetivo é mensurar a velocidade de resposta a um estímulo visual; os participantes são instruídos a atender a um pequeno ponto fixo no centro da tela do computador e, em seguida, responder pressionando o botão o mais rápido possível após a detecção de um segundo estímulo que aparecer na tela.	Atenção sustentada	Hwang, 2016
Feature Match	Os participantes veem uma grade 5 × 5 de quadrados amarelos e vermelhos de cores vivas com um padrão único. Pressionando uma tecla, esse estímulo desaparece e a tela fica em branco por 6 segundos. Dois estímulos são então apresentados (um "match" e um "non-match"). Os participantes são solicitados a indicar qual dos dois é igual ao apresentado inicialmente, pressionando uma tecla de forma mais rápida e precisa possível.	Memória de Trabalho	Hwang, 2016
Teste D2	O teste D2 consiste em 14 linhas, e cada linha envolve uma sequência de 47 letras "d" e "p" misturadas aleatoriamente. Cada letra é ladeada por traços (individualmente ou em pares acima e/ou abaixo das letras). Os participantes são instruídos a marcar em 20 segundos todos os "d's" em uma linha ladeada por dois traços, que podem ser dispostos individualmente acima e abaixo ou em pares acima ou abaixo do "d". Após 20s, o participante é aconselhado a continuar com a próxima linha de letras até completar 14 linhas.	Atenção seletiva e concentração	Herold, 2022
Teste de discriminação visual	A versão simples de dois estímulos exige que o participante responda com rapidez e precisão a um círculo alvo de 5,5 cm de diâmetro que ocorre em 20% das tentativas e não responda a um círculo não-alvo de 3,0 cm de diâmetro que ocorre em 80% das tentativas. Na segunda versão, mais complexa, de três estímulos, os participantes são instruídos a responder com rapidez e precisão a um círculo alvo de 5,5 cm de diâmetro que ocorre em 12,5% das tentativas e a não responder a um círculo não-alvo de 5 cm de diâmetro, que ocorreu em 75% das tentativas, ou a um quadrado de 2 cm de diâmetro, que ocorreu em 12,5% das tentativas.	Memória de Trabalho	Moore, 2012

Relógio de Mackworth	O participante é instruído a observar um movimento leve consistentemente em torno de posições em um círculo em um ritmo constante e relatar quaisquer posições omitidas. A tela contém 16 pequenos círculos dispostos em um círculo maior. Cada um dos 16 círculos fica vermelho, um de cada vez, por meio segundo, movendo-se em uma sequência previsível no sentido horário. Os participantes são solicitados a indicar pressionando rápido um botão sempre que uma posição do círculo for ignorada.	Atenção sustentada	Hussey, 2020
Tarefa de Memória de Trabalho (Memory task)	Os estímulos são apresentados em um fundo preto e incluem uma cruz de fixação branca e um conjunto de objetos-alvo. Os alvos são imagens em preto e branco de objetos do cotidiano. São utilizados dois conjuntos de 100 objetos. O primeiro conjunto foi usado como objetos de destino durante a fase de codificação da tarefa de memória e reaparecem como itens antigos durante a fase de teste subsequente. O segundo conjunto fornece novos objetos durante a fase de teste de memória.	Memória de Trabalho	Coleman, 2018
Teste de vigilância visual	Cinco dígitos são apresentados horizontalmente no centro do monitor por 300 ms seguidos por um intervalo entre estímulos de 700 ms. Os participantes são instruídos a ignorar os dois números de cada lado do número alvo e pressionar uma tecla de resposta o mais rápido possível quando três números intermediários consecutivos ímpares e não repetitivos forem apresentados.	Memória de Trabalho	Moore, 2012

Fonte: Elaborado pelos autores.

A maioria dos testes de atenção e memória de trabalho analisa o desempenho cognitivo através de dois fatores: tempo de resposta e taxa de erros de respostas dadas pelo participante do estudo. Uma diminuição do tempo de resposta e/ou da taxa de erros indica uma melhora no desempenho cognitivo.

Muitos testes também baseiam a sua análise em termos de controle inibitório, como na tarefa de Flanker, por exemplo, em que uma sequência de cinco setas é apresentada ao indivíduo para que ele aperte um botão apenas quando a seta do meio estiver apontada para o mesmo lado das demais setas, mensurando desta forma a sua capacidade de inibir possíveis respostas erradas geradas por distratores que podem induz ao erro (outras setas) e manter a sua atenção no alvo desejado.

No capítulo seguinte falaremos brevemente sobre os impactos do exercício físico no desempenho cognitivo.

2.2 EXERCÍCIO FÍSICO E DESEMPENHO COGNITIVO

Estudos com humanos e animais não humanos têm demonstrado que o exercício aeróbico pode melhorar diversos aspectos do desempenho cognitivo (HILLMAN *et al.*, 2008). Evidências nos níveis molecular, celular, sistêmico e comportamental têm trazido algumas informações relevantes para explicar a relação do exercício físico com a cognição (HILLMAN *et al.*, 2008).

A investigação científica em torno da relação exercício físico e cognição começou ainda na década de 1930 (BURPEE; STROLL, 1936). Evidências de uma relação entre condicionamento físico e tempo de reação mais rápido em atletas foi observada nas décadas seguintes (LAWTER, 1951; PIERSON, 1958). Estudos mais criteriosos foram desenvolvidos nos anos 1970, e desta vez melhor desempenho cognitivo foi observado para um grupo de idosos fisicamente mais ativos em comparação a um grupo mais sedentário (SPIRDUSO, 1980). Mas somente nas últimas décadas os avanços da tecnologia têm possibilitado melhor compreensão, mesmo que até o momento de forma parcial, dos mecanismos que fundamentam os efeitos do exercício físico na cognição (DAMRONGTHAI *et al.*, 2021).

Já está bem consolidado, por exemplo, o fato de que o exercício físico, atuando inicialmente nos músculos esqueléticos e no sistema cardiovascular, impacta diretamente o funcionamento do sistema nervoso (GUBERT, 2021). Os efeitos do esforço físico, promovidos pelo exercício, resultam na produção e liberação de substâncias pelos músculos na corrente sanguínea, com capacidade de atravessar a barreira hematoencefálica e melhorar o funcionamento de células nervosas (GUBERT, 2021). Como por exemplo, no melhor funcionamento do fator neurotrófico do cérebro BDNF com papel fundamental na sobrevivência, manutenção e desenvolvimento de células nervosas, tem apresentado níveis séricos mais elevados após a prática de uma sessão de exercício físico (HWANG, 2016).

Além disto, o exercício físico induz outras moléculas em vias de sinalização no cérebro como neurotransmissores, neuropeptídeos, fatores epigenéticos, moléculas envolvidas na angiogênese, entre outros que em conjunto modulam a função cerebral promovendo direta ou indiretamente a neurogênese (produção de novos neurônios) e a plasticidade sináptica (mudança estrutural e funcional dos neurônios resultante de um novo aprendizado, por exemplo), que culminam no aprimoramento cognitivo (GUBERT, 2021). No entanto, um grande desafio envolve ainda entender como o exercício físico

induz sinais, por meio dessas moléculas, que atingem órgãos-chave como o cérebro (GUBERT, 2021).

No próximo tópico abordaremos alguns aspectos importantes do exercício físico para esta revisão.

2.3 MODALIDADES E INTENSIDADES DE EXERCÍCIO FÍSICO

Comumente os termos exercício físico e atividade física são utilizados como sinônimos e vale aqui destacarmos que atividade física é qualquer movimento corporal que envolve os movimentos voluntários do corpo, com gasto de energia acima do nível de repouso. A atividade física na vida diária pode ser categorizada em atividades ocupacionais, esportivas, de condicionamento, domésticas ou outras (CASPERSEN *et al*,1985). O exercício é um subconjunto da atividade física planejada, estruturada e repetitiva que tem como objetivo final ou intermediário a melhoria ou manutenção da aptidão física, que por sua vez está relacionada a um conjunto de atributos relacionados à saúde. (CASPERSEN *et al*,1985)

A maior parte das pesquisas que compuseram a presente revisão se basearam em protocolos de exercício físico moderado ou vigoroso. Apesar de existirem diversas formas de determinar as intensidades de esforço físico, basearam-se, na maioria das vezes, na porcentagem do volume de capacidade máxima (%VO₂ max) dos indivíduos de acordo com a Tabela 2. A medida VO₂max representa a capacidade máxima do corpo de um indivíduo de transportar e metabolizar oxigênio durante um exercício físico. Vale destacar que esta faixa percentual de VO₂max para determinar a intensidade do exercício físico pode apresentar variações de acordo com a faixa etária (Garber, 2011).

Tabela 2: Equivalência de intensidade de exercício físico baseada na % do volume de capacidade máxima (%VO₂ max).

INTENSIDADE DE EXERCÍCIO	%VO₂max
Muito leve	< 37
Leve	37-45
Moderado	46-63
Vigoroso	64-90
Próximo do máximo até o máximo	≥ 91

Fonte: Adaptação de Garber (2011).

A intensidade do exercício é um moderador que tem sido frequentemente considerado em estudos de exercícios agudos. A frequente atenção dada à intensidade do exercício se deve a sua relevância para o entendimento dos mecanismos por trás de seus efeitos (CHANG *et al.*, 2012).

O exercício físico também pode ser categorizado de acordo com o seu componente de aptidão, ou seja, de acordo com as habilidades que ele desenvolve:

1) Exercício cardiorrespiratório (aeróbico): exercício regular, proposital, contínuo, ritmado e cíclico.

2) Exercício de resistência: baseados em fazer força, utilizam equipamentos ou o peso do próprio corpo.

3) Exercício de flexibilidade: flexibilidade estática (alongar lentamente um grupo de músculo/tendão e manter a posição por um período) , dinâmica (envolve uma transição gradual de uma posição do corpo para outra e um aumento progressivo no alcance e na amplitude de movimento à medida que o movimento é repetido várias vezes) e balística (movimentos curtos e rebatidos que empurram o tronco, braços e pernas para fora da amplitude do movimento).

4) Exercício de treinamento neuromotor: é aquele que envolve habilidades motoras (equilíbrio, agilidade, coordenação) e propriocepção (yoga, tai chi) (GARBER *et al.*, 2011).

Do mesmo modo, observaremos que a maioria dos estudos dos efeitos agudos do exercício físico no desempenho cognitivo estão baseados no exercício físico aeróbico, mais precisamente em corrida e pedaladas em equipamentos de laboratório.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Essa pesquisa caracteriza-se como estudo de revisão bibliográfica integrativa estruturada de forma bastante criteriosa. A nossa abordagem metodológica foi dividida em cinco etapas, sendo a primeira etapa a definição dos objetivos e dos critérios de inclusão, seguida pela busca sistêmica na literatura, seleção dos estudos, extração dos dados utilizados e, por fim, a apresentação dos resultados. Em sequência serão apresentadas as descrições de cada etapa.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ETAPAS DA PESQUISA

3.1.1 Definição dos critérios de inclusão

Os critérios de inclusão foram definidos em equipe e tiveram a finalidade de atender aos objetivos da pesquisa com clareza e criticidade. São eles:

1. Estudos com desenho de estudo clínico controlado;
2. Estudos com desenho experimental, com especificação de tempo, duração, modalidade, intensidade e tipo de exercício físico utilizado como intervenção;
3. Estudos que com especificação da(s) tarefa(s) cognitiva(s) utilizada(s);
4. Estudos com avaliação de desempenho atencional e de memória de trabalho logo após a sessão de exercício para a mensuração do efeito agudo;
5. Estudos realizados com indivíduos adultos jovens (de 18 a 24 anos) direcionados para público em geral, sem doença ou desordem específica.
6. Estudos clínicos publicados nos últimos 10 anos (entre 2012 e 2022).

3.1.2 Estratégia de busca da literatura

Foi definido um protocolo de estratégia de busca (anexo I), sendo os termos da busca pesquisados em descritores em inglês no Medical Subject Headings (MeSH) da Pubmed. A busca foi realizada em 11 de janeiro de 2022 a partir dos assuntos “*physical exercise*”, “*working memory*” e “*attentional control*” e seus sinônimos.

Nesta revisão nos baseamos em três das bases de dados mais utilizadas e com o maior número de publicações na área da saúde: Pubmed, Web of Science e Scopus.

3.1.3 Seleção dos estudos

Os estudos selecionados nas bases de dados foram inseridos primeiramente no gerenciador de referências gratuito Mendeley Desktop (versão 1803, Elsevier) para que este excluísse automaticamente os títulos duplicados. Em seguida, através da ferramenta online auxiliar para revisões, Rayyan (<https://rayyan.ai/>), foram avaliados os títulos, resumos e palavras-chave dos estudos a fim de incluí-los ou não na revisão, de acordo com os critérios de inclusão. Os estudos incluídos neste processo passaram por

leitura na íntegra e, quando não atenderam os critérios de inclusão, foram excluídos. Ainda foram excluídos estudos em que o texto completo não estava disponível nas bases de busca.

3.1.4 Extração dos dados dos artigos

Nesta etapa a extração dos dados dos artigos foi realizada a partir da leitura completa dos artigos selecionados. Os dados relevantes para atender aos objetivos desta pesquisa foram extraídos por meio de uma planilha de Excel. As informações extraídas foram aquelas referente a título, autores, ano de publicação, local do estudo (cidade e país) dados relacionados ao desenho do estudo no que se refere a sessão de exercício físico (tipo, duração e intensidade), o perfil dos participantes quanto a frequência de atividade física semanal, os testes cognitivos utilizados para mensurar o efeito agudo do exercício físico na atenção e na memória de trabalho e o seu desfecho.

3.1.5 Apresentação dos resultados

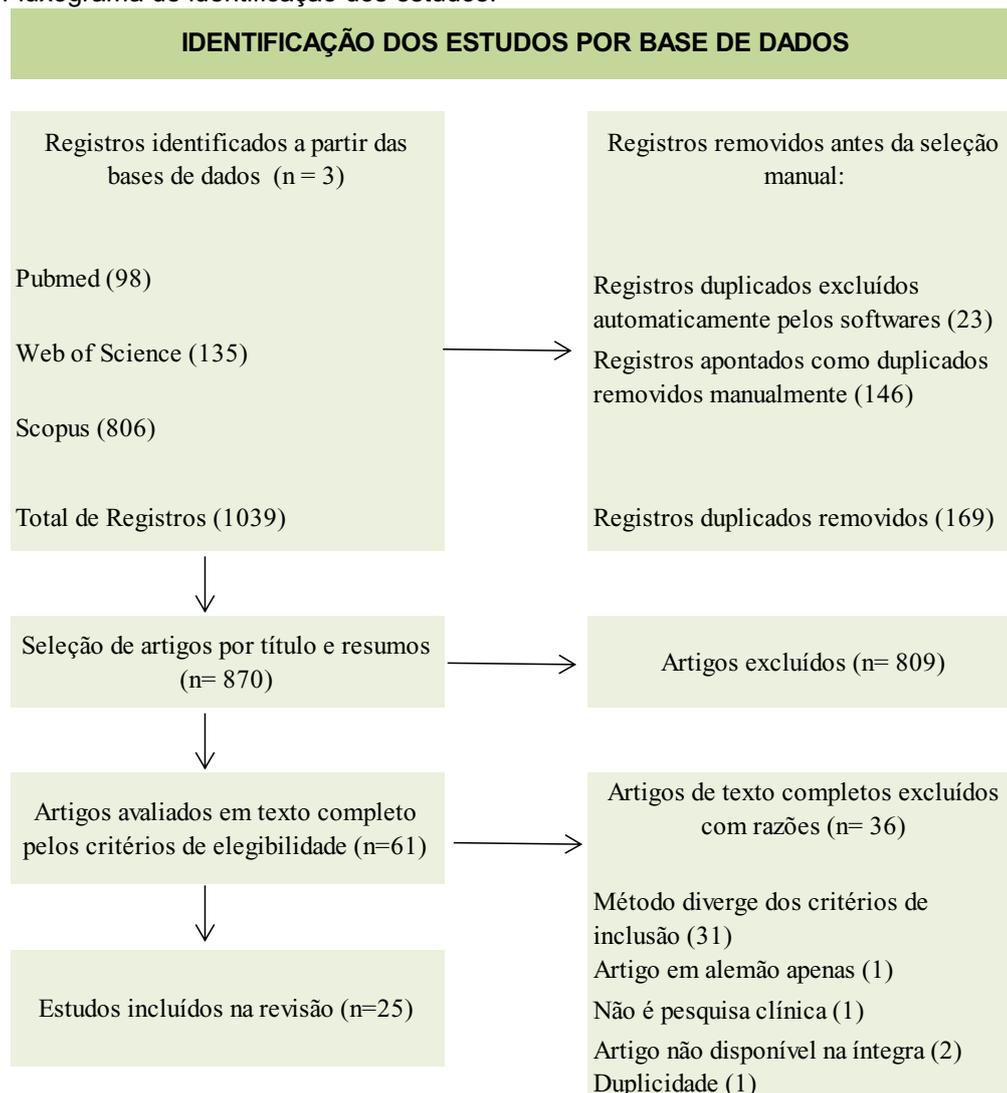
A partir dos dados da planilha, alguns elementos foram analisados de forma isolada, como por exemplo, o tipo (corrida, ciclismo ou outras), a intensidade (leve, moderada ou vigorosa) e o tempo de duração das sessões de exercício físico, a fim de possibilitar a extração das informações necessárias para os objetivos desta revisão. Todas as informações estão descritas no capítulo a seguir.

4 RESULTADOS

4.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A busca nas bases de dados resultou em 1039 artigos localizados. Após a remoção automática de duplicados pelos softwares, restaram 870. Em seguida, foram excluídos 816 por título e resumo, restando 61 para a leitura do texto completo. Resultaram então 25 artigos que atenderam totalmente aos critérios de inclusão e foram incluídos nesta revisão. Este processo está detalhado no fluxograma da figura 2:

Figura 2: Fluxograma de identificação dos estudos.



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Observamos que dos 25 artigos analisados, a maioria (92%) optou pela modalidade de exercício aeróbico no seu desenho experimental. E que do total 84% (vinte e um) dos estudos analisados submeteram os participantes a exercício físico de esteira (caminhada ou ciclismo) (Tabela 3).

Tabela 3: Quantidade de artigos por modalidades, tipos e intensidades de exercício físico.

CARACTERÍSTICAS DO EXERCÍCIO FÍSICO		QUANTIDADE DE ARTIGOS
Modalidade	Resistência	2
	Aeróbico	23
Tipo	Levantamento de peso	2
	Ciclismo em laboratório	9
	Corrida em esteira	7
	Corrida e caminhada em esteira	2
	Caminhada com inclinação	1
	Caminhada e circuito	1
	Corrida em trilha ao ar livre	2
	Caminhada + pular corda	1
Intensidade para exercícios aeróbicos	Moderada	10
	Vigorosa	6
	Moderada e vigorosa	3
	Leve e Moderada	2
	Leve e Vigorosa	1
	Leve, Moderada e Vigorosa	1

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto às intensidades de exercício físico aplicadas nos experimentos aeróbicos, observa-se que todos os estudos se basearam nas intensidades moderada e vigorosa, de três maneiras distintas: (1) de forma isolada, ou seja, apenas uma intensidade foi observada no experimento (moderada ou vigorosa); (2) de forma combinada, em que a sessão de exercício intercalou as intensidades leve e moderada na mesma sessão de exercício ou então (3) com a comparação do desempenho cognitivo entre as diferentes intensidades.

A síntese dos principais desfechos dos artigos incluídos nesta revisão estão disponíveis na tabela 4.

Tabela 4: Síntese de dados e desfechos dos artigos incluídos.

PRIMEIRO AUTOR (ANO)	MODALIDADE	TIPO	INTENSIDADE	TEMPO	DESFECHOS							
					Melhorou Atenção na tarefa	Melhorou MT na tarefa	Aumentou atividade neuroelétrica (EEG)	Aumentou Bdnf	Ativou regiões encefálicas da atenção/MT	Aumentou lactato	Aumentou Hemoglobina oxigenada	
Moore, R D (2012)	Aeróbico	Cicloergômetro	Vigorosa	60 min		X						
Li, L (2014)	Aeróbico	Cicloergômetro	Moderada	20 min		√ (par)			√			
Popovich, C (2015)	Aeróbico	Cicloergômetro	Moderada	20 min	√		√					
Weng, T B (2015)	Aeróbico	Cicloergômetro	Moderada	30 min	X	√						
Loprinzi, P D (2015)	Aeróbico	Corrida em esteira	Leve, Moderada e Vigorosa	30 min	√ (mod)							
Hwang, J Y (2016)	Aeróbico	Corrida em esteira	Vigorosa	10 min	√	√		√				
Hwang, J (2016)	Aeróbico	Corrida em esteira	Vigorosa	20 min	√ (par)							
Tsai, C L (2016)	Aeróbico	corrida em esteira	Moderada	30 min	√			√				
Kao, S C (2017)	Aeróbico	Caminhada e corrida na esteira	Moderada e vigorosa	20/9 min	√		√					
Legrand, F D (2018)	Aeróbico	Corrida ao ar livre	Moderada	15 min	√	√						

Coleman, M (2018)	Aeróbico	Caminhada + pular corda	Moderada	10 min	√	√						
Yamazaki, Y (2018)	Aeróbico	Cicloergômetro	Leve e Moderada	10 min		X						
Ludyga, S (2018)	Aeróbico	Corrida ao ar livre	Moderada	20 min	√	√						
Palmiere, S (2018)	Resistência	levantamento de peso	Variada	-	√ (par)	√ (par)						
Ponce, P (2019)	Aeróbico	Caminhada e corrida na esteira	Moderada e vigorosa	15 min		X						
Rietz, E (2019)	Aeróbico	Cicloergômetro	Vigorosa	20 min	√ (par)		√ (par)					
Bae, S (2019)	Aeróbico	Corrida em esteira	Moderada	30 min		√	X		√			
Mehren, A (2019)	Aeróbico	Cicloergômetro	Moderada e vigorosa	30/21 min	√				√ (mod)			
Hussey, E K (2020)	Aeróbico	Caminhada c inclinação	Moderada	20 min	X	√						
Wilke, J (2020)	Aeróbico	Caminhada e Hift	Vigorosa e Leve	15 min	√ (vig)	√ (vig)						
Chacko, S C (2020)	Aeróbico	Cicloergômetro	Vigorosa	30 min	√ (par)		√ (par)					
Kao, S C (2020)	Aeróbico	Corrida em esteira	Moderada	20 min		√	√					
Engeroff, T (2021)	Resistência	levantamento de peso	Variada	-	√ (par)							
Damrongthai, C (2021)	Aeróbico	Corrida em esteira	Moderada	10 min	√ (par)							√
Herold, F (2022)	Aeróbico	Cicloergômetro	Vigorosa	20 min	√ (par)						√	

√ efeito positivo

√ (par) efeito parcial

√ (vig) efeito positivo para intensidade vigorosa

√ (mod) efeito positivo para intensidade moderada

X não houve efeito positivo

não foi avaliado

Na tabela 5 podem ser observados o local em que os estudos foram desenvolvidos (cidade e país), o método utilizado (*crossover* ou entre grupos), o tamanho da amostra, bem como o perfil dos participantes da pesquisa no que se refere à rotina semanal de exercício físico, sendo que aqueles considerados “fisicamente ativos” auto relataram prática de exercício físico regular pelo menos 3 vezes na semana.

Tabela 5: Local, método, amostra e perfil dos participantes.

ANO	PRIMEIRO AUTOR	LOCAL	Método	N	Perfil do participante quanto à atividade física
2012	Moore, R <i>et al.</i>	Geórgia, USA	<i>crossover</i>	30	Não especificado
2014	Li, L <i>et al.</i>	Shanghai, China	<i>crossover</i>	15	Não especificado
2015	Loprinzi, P D <i>et al.</i>	Mississippi, USA	<i>crossover</i>	87	Não especificado
2015	Weng, T B <i>et al.</i>	Iowa, USA	<i>crossover</i>	26	Não especificado
2015	Popovich, C <i>et al.</i>	Waterloo, Canadá	<i>crossover</i>	15	Não especificado
2016	Tsai, C L <i>et al.</i>	Taiwan	entre grupos	60	Fisicamente ativos
2016	Hwang, J Y <i>et al.</i>	Texas, USA	entre grupos	58	Não especificado
2016	Hwang, J <i>et al.</i>	Texas, USA	entre grupos	60	Não especificado
2017	Kao, S C <i>et al.</i>	Illinois, USA	<i>crossover</i>	65	Não especificado
2018	Ludyga, S <i>et al.</i>	Basileia, Suíça	<i>crossover</i>	51	Fisicamente ativos
2018	Palmiere, S <i>et al.</i>	Nova Iorque, USA	<i>crossover</i>	35	Não especificado
2018	Coleman, M <i>et al.</i>	Los Angeles, USA	entre grupos	52	Não especificado
2018	Yamazaki, Y <i>et al.</i>	Niigata, Japão	<i>crossover</i>	30	Não especificado
2018	Legrand, F D <i>et al.</i>	Reims, França	entre grupos	101	Não especificado
2019	Rietz, E <i>et al.</i>	Londres, Inglaterra	<i>crossover</i>	29	Não especificado

2019	Mehren, A <i>et al.</i>	Oldenburg, Alemanha	entre grupos	64	Não especificado
2019	Ponce, P <i>et al.</i>	Mississippi, USA	<i>crossover</i>	12	Não especificado
2019	Bae, S <i>et al.</i>	Toquio, Japão	<i>crossover</i>	30	Não especificado
2020	Hussey, E K <i>et al.</i>	Illinois, USA	<i>crossover</i>	107	Não especificado
2020	Chacko, S C <i>et al.</i>	Roma, Itália	<i>crossover</i>	15	Fisicamente ativos
2020	Kao, S C <i>et al.</i>	Illinois, USA	entre grupos	23	Não especificado
2020	Wilke, J	Frankfurt, Alemanha	entre grupos	35	Fisicamente ativos
2021	Damrongthai, C <i>et al.</i>	Tsukuba, Japão	<i>crossover</i>	26	Não especificado
2022	Herold, F <i>et al.</i>	Magdeburg, Alemanha	<i>crossover</i>	19	Não especificado
2022	Engeroff, T <i>et al.</i>	Frankfurt, Alemanha	<i>crossover</i>	26	Fisicamente ativos

Fonte: Elaborado pelos autores.

No próximo capítulo, apresentaremos os principais resultados comportamentais obtidos com base nos tipos de exercício físico e as intensidades aplicadas.

4.2 PRINCIPAIS RESULTADOS COMPORTAMENTAIS

Pretendemos aqui identificar quais características de exercício físico favorecem os melhores resultados na atenção e na memória de trabalho e para isso analisaremos alguns pontos de forma isolada. Iniciaremos apresentando os resultados comportamentais, ou seja, aqueles resultantes da aplicação de tarefas cognitivas e na sequência os resultados fisiológicos, para corrida ou caminhada de intensidade moderada. Os resultados de estudos que comparam a intensidade moderada da corrida com as demais intensidades serão então apresentados e discutidos, seguidos pelos dados obtidos com corrida de intensidade moderada, ciclismo de intensidade moderada, ciclismo de intensidade vigorosa e, por fim, exercícios de resistência.

4.2.1 Corrida ou caminhada de intensidade moderada

Dos vinte e cinco estudos aqui analisados, sete deles se encaixam no perfil de exercício físico aeróbico do tipo caminhada ou corrida de intensidade moderada (KAO *et al.*, 2020; DAMRONGTHAI *et al.*, 2021, LEGRAND *et al.*, 2018, HUSSEY *et al.*, 2020, TSAI *et al.*, 2016, BAE *et al.*, 2019, LUDYGA *et al.*, 2018)

Observa-se que o tempo de exercício físico para o qual os participantes foram submetidos antes dos testes comportamentais teve uma variação considerável nesta amostra de estudos, o que pode refletir nos resultados obtidos nestes estudos. As sessões de exercício físico variaram entre 10 e 30 min.

Do mesmo modo, as tarefas de mensuração do desempenho cognitivo variaram consideravelmente, sendo que apenas um estudo se baseou nas tarefas Stroop (Damrongthai, 2021), Trail Making Test (LEGRAND, 2018) e Relógio de Mackworth (HUSSEY, 2020), enquanto três utilizaram tarefa N-back (HUSSEY, 2020; LUDYGA, 2018; KAO, 2020) e outros dois na tarefa de Protocolo de Comutação de Tarefas (TSAI, 2016; BAE, 2019)

Estudos baseados na tarefa N-back, mensurando memória de trabalho, demonstram que 20 minutos de corrida em intensidade moderada podem melhorar o tempo de resposta da tarefa (KAO, 2020, LUDYGA 2018) e a taxa de acertos (HUSSEY, 2020, LUDYGA, 2018) indexando uma melhora na memória de trabalho. Destaca-se que, diferente dos demais estudos, LUDYGA *et al.* (2018) recrutaram participantes com altos níveis de atividade física semanal e também optaram por aplicar a sua sessão de exercício físico ao ar livre e não em esteira. Estes são aspectos que podem interferir nos resultado.

Damrongthai *et. al.* (2021) submeteram seus participantes a 10 minutos de corrida em esteira com intensidade moderada e após 15 minutos de descanso, observaram uma pequena melhora no tempo de resposta da tarefa Stroop. No entanto, os autores não apresentaram os resultados da taxa de erro na tarefa, o que não nos permite concluir o nível de desempenho atencional. Em comparação com estudos anteriores (KAO, 2020; HUSSEY, 2020; LUDYGA, 2018), o tempo de duração do exercício físico foi a metade do tempo

e os dados comportamentais foram medidos após 15 minutos de repouso e não imediatamente após o exercício.

Legrand *et al.* (2018) assim como Ludyga *et al.* (2018) também tiraram os participantes do laboratório e aplicaram a sessão de corrida em uma trilha ao ar livre. Com critérios menos rígidos em termos de controle de intensidade do exercício, os participantes foram orientados a correr um trecho em grupo o que levou aproximadamente 15 minutos. Os autores concluíram que o exercício físico melhorou o controle atencional visual e a velocidade de execução da tarefa Trail Making. Os autores atribuíram a melhora do desempenho ao aumento do sentimento auto-relatado de mais vigor e energia após a corrida.

Assim, de um modo geral, a corrida ou a caminhada em intensidade moderada, parece melhorar o desempenho atencional e de memória de trabalho em determinados níveis, principalmente em termos de diminuição de tempo de resposta das tarefas. No entanto, observa-se que geralmente os estudos são baseados em apenas um único teste comportamental.

4.2.2 Corrida de intensidade vigorosa

Observa-se que o exercício vigoroso com duração de 60 minutos refletiu em prejuízos para o desempenho cognitivo, especificamente para a atenção e a memória de trabalho (MOORE *et al.*, 2012). O que pode ser atribuído em partes ao aumento dos níveis de cortisol gerados pelo tempo de exercício nesta intensidade (HILL *et al.*, 2019).

Com base na nossa amostra, observamos, por exemplo, que no estudo de HWANG *et al.*, 2016 uma sessão curta de 10 minutos de corrida vigorosa em esteira promoveu um aumento dos níveis de BDNF no sangue, que poderia contrapor os efeitos do excesso de cortisol, apresentando diversos benefícios as células nervosas o que reflete no melhor desempenho do córtex pré-frontal e na função cognitiva.

Os benefícios agudos são observados também em pessoas que já praticam exercícios regularmente, conforme demonstrado por Wilke *et al.* 2020. Neste trabalho, os autores observaram que uma corrida vigorosa de 15 minutos apresenta benefícios na atenção e na memória de trabalho. Por outro lado,

quando os participantes foram submetidos por um tempo maior, de 20 minutos, de corrida vigorosa, os benefícios foram observados apenas para aqueles que tiveram um desempenho menor nas medidas basais de memória de trabalho (Hwang, 2016).

É importante ressaltar aqui que além da variação da quantidade de tempo das sessões e da aptidão dos participantes com esportes, diferentes testes cognitivos foram aplicados em cada resultado mencionado anteriormente, e estes são todos aspectos que podem interferir nos resultados, além de vários outros que discutiremos mais a frente.

4.2.3 Comparando corrida ou caminhada de intensidade moderada com outras intensidades

Existe na literatura uma forte discussão em torno da intensidade de exercício físico ideal em termos de benefícios físicos e cognitivos. A exemplo da teoria do U invertido, que preconiza a ideia de que existe uma intensidade ideal de exercício, nem muito alta e nem muito baixa, onde observa-se o máximo de benefícios e de modo que, se a intensidade for maior ou menor, os benefícios tendem a diminuir. Embora represente um grande desafio encontrar esta resposta, dado o grande número de variáveis que interferem, muitos grupos de estudos parecem estar buscando identificar este nível ótimo de exercício físico, que potencialize seus benefícios.

Com base nos estudos revisados, 164 indivíduos tiveram o seu desempenho cognitivo, de atenção ou memória de trabalho, comparado entre diferentes intensidades de corrida ou caminhada (KAO, 2017; LOPRINZI, 2015; PONCE, 2019). Kao et al, 2017 e Ponce et. al 2019 desenvolveram estudos *crossover*, ou seja, os mesmos indivíduos foram submetidos a diferentes intensidades de exercício físico em dias diferentes para a mensuração de desempenho cognitivo agudo. Nestes estudos os participantes foram submetidos a uma caminhada em esteira de intensidade moderada em um dia e uma corrida em esteira de intensidade vigorosa em outro dia. As tarefas comportamentais foram aplicadas na sequência de cada sessão de exercício. Kao *et al.*, (2017) baseados na tarefa de Flanker, para medir o controle inibitório, observaram que o tempo de resposta melhorou para as duas

intensidades, em comparação ao grupo controle, e que a taxa de erros diminuiu apenas após a corrida vigorosa. Ponce *et al.* 2019 aplicaram a tarefa N-back e observaram que nem a taxa de acertos e nem o tempo de resposta melhorou, o que sugere que não tenha havido uma melhora no desempenho da memória de trabalho neste caso. Destaca-se nestes estudos que houve uma diferença no tempo de duração da sessão de exercício, sendo que no experimento baseado em tarefa de Flanker, o tempo de exercício moderado foi de 20 minutos enquanto o vigoroso foi de nove minutos e para a tarefa de N-back o tempo para ambas as intensidades foi de 15 minutos.

Também, com o intuito de comparar os efeitos cognitivos agudos de diferentes intensidades de exercício físico em adultos jovens saudáveis, Loprinzi e Kane (2015) aplicaram uma bateria de 10 testes cognitivos após 30 minutos de exercício em esteira de intensidades leve, moderada ou vigorosa em estudo *crossover*, o mesmo indivíduo foi submetido a diferentes intensidades de exercício físico em dias diferentes para a mensuração de desempenho cognitivo agudo. O desempenho da atenção visual, da memória de trabalho e da concentração foi avaliado na sequência, utilizando os testes Trail Making, Spacial Span e Feature Match e Polygon, respectivamente. Foi observado que a concentração foi significativamente maior após uma sessão de intensidade moderada em comparação ao grupo controle que não se exercitou. Já para as intensidades leve e vigorosa houveram poucas associações estatísticas entre exercício físico e desempenho atencional. Interessante destacarmos que este estudo que contou com uma amostra consideravelmente maior do que a maioria das demais pesquisas (N= 87) e foi o único a comparar as três intensidades para dez tarefas cognitivas diferentes que avaliaram diversas habilidades cognitivas, apesar de não terem observado melhora aguda no desempenho cognitivo além da tarefa que mediu concentração.

4.2.4 Ciclismo de intensidade moderada

Neste tópico serão apresentados resultados discrepantes de pesquisas baseadas em ciclismo de intensidade moderada aplicadas em laboratório analisadas neste estudo. Por exemplo, Li *et al.*, (2014) e Weng *et al.*, (2015)

aplicaram o mesmo teste comportamental N-back para medir desempenho de memória de trabalho após a sessão de exercício físico de 20 e 30 minutos, respectivamente, e obtiveram resultados diferentes. No primeiro trabalho (LI *et al.*, 2014) a sessão de ciclismo não melhorou o desempenho da memória de trabalho dos participantes, enquanto no segundo trabalho (WENG *et al.* 2015) tanto a taxa de acertos como a tempo de resposta melhoraram. O que nos remete a possibilidade de que o ciclismo exija um tempo um pouco maior de duração da sessão para surtir o efeito de melhora do desempenho cognitivo.

Weng *et al.* (2015) também avaliaram controle inibitório através da tarefa de Flanker após a sessão de ciclismo e para esta não houve resultados estatisticamente significativos, diferente do resultado de outra pesquisa que também investigaram controle inibitório (POPOVICH, 2015; MEHREN, 2019).

Popovich *et al.* (2015) compararam o efeito agudo do ciclismo em intensidade moderada (sessão de 30 min.) com intensidade vigorosa (sessão de 20 min) no desempenho atencional e observaram que o último grupo teve melhor desempenho de controle inibitório em comparação ao primeiro.

A intensidade moderada também foi comparada a intensidade leve em termos de desempenho cognitivo. Em sessões mais curtas, de 10 minutos, para ambas as intensidades, concluiu-se que nenhuma delas foi suficiente para melhorar a memória de trabalho em comparação com o grupo que não se exercitou (YAMAZAKI *et al.*, 2018).

Observa-se que na intensidade moderada, de forma isolada ou em situação de comparação com as demais intensidades, o efeito agudo no desempenho cognitivo promovido pelo ciclismo fica inconclusivo com as informações obtidas. No próximo tópico analisaremos os experimentos baseados em ciclismo de intensidade vigorosa.

4.2.5 Ciclismo de intensidade vigorosa

Inicialmente se observa uma maior coerência nos resultados das pesquisas baseadas em ciclismo de intensidade vigorosa em comparação a intensidade moderada. Com a exceção de uma pesquisa que submeteu seus participantes a uma sessão vigorosa com um tempo maior do que o usual (60 minutos) (MOORE *et al.* 2012) todas as demais resultaram em uma melhora

em determinado nível de atenção ou de memória de trabalho (CHACKO, 2020; DU RIETZ, 2019; HEROLD, 2022).

Os estudos de Herold *et al.* (2022) e Du Rietz *et al.* (2019) submeteram os seus participantes a uma sessão vigorosa de 20 minutos de ciclismo e na sequência aplicaram os testes comportamentais para medir o desempenho de atenção de memória de trabalho. O primeiro estudo (HEROLD *et al.*, 2022) aplicou o Teste D2 para medir níveis de atenção e o Teste Digit Span para medir memória de trabalho e para ambos os testes o número de erros na tarefa reduziu após a sessão de exercício, o que indica uma melhora cognitiva dos participantes. Du Rietz *et al.*, 2019 mediram atenção sustentada, controle inibitório e controle atencional a partir dos testes CPT-Ox (uma versão do teste Go/nogo), Flanker e Fast Task, respectivamente, e de acordo com os autores, uma melhora na atenção sustentada foi observada através de medidas de ativação neuroelétrica na posição P3, no lobo parietal, um indexador de memória de trabalho e atenção, observada a partir de eletroencefalografia.

Chacko *et al.* 2020, submeteram os seus participantes a um período um pouco maior de exercício: após 30 minutos de ciclismo vigoroso aplicaram o teste Go/Nogo para medir controle inibitório, um elemento essencial do controle atencional. Obtiveram como resultado uma diminuição no tempo de resposta dos participantes e assim concluíram que uma melhora parcial aguda do controle atencional possa ser observada após uma sessão vigorosa de 30 minutos de ciclismo.

Outro estudo, um pouco mais antigo (MOORE *et al.*, 2012), foi o único a aplicar 60 minutos de exercício físico vigoroso e tiveram como objetivo avaliar os efeitos da fadiga física no desempenho cognitivo. A partir de testes de memória de trabalho, teste de discriminação visual e teste de vigilância da memória de trabalho, tiveram como resultado um decréscimo do desempenho cognitivo agudo em comparação à condição de controle.

De um modo geral, as sessões de ciclismo vigoroso de 20 ou 30 minutos apresentam alguma melhora de atenção e memória de trabalho. Vale ressaltar que nestes estudos todos os desenhos experimentais foram aferidos no mesmo voluntário, ou seja, o desempenho do participante foi medido tanto

na condição de controle como na condição experimental de exercício físico, geralmente com dois a sete dias de intervalo entre uma sessão e outra.

4.2.6 Exercícios de resistência

Um estudo recente que contou com a participação de 26 jovens adultos fisicamente ativos, obteve resultados coerentes com a teoria de U invertido, ou seja, os benefícios agudos de atenção e memória de trabalho foram obtidos a partir do exercício de intensidade moderada (ENGEROFF *et al.*, 2021). Os autores mostraram ainda que o desempenho a partir das intensidades leve e vigorosa não diminuiu, entretanto não induziram efeito benéficos tão pronunciados. No mesmo estudo, aspectos de esforço percebido e bem-estar durante a sessão de exercício foram avaliados para analisar se estes poderiam interferir no desempenho cognitivo – os resultados demonstraram a não existência de correlação entre estes aspectos e o desempenho cognitivo (ENGEROFF *et al.*, 2021).

Em discordância com os resultados acima, o exercício físico de resistência não alterou significativamente o desempenho cognitivo no trabalho de Palmiere *et al.*, 2018. Neste estudo aspectos de função cardíaca (velocidade da onda de pulso) foram analisados e relacionados ao desempenho cognitivo, no entanto, nenhuma significância estatística foi observada (PALMIERE *et al.*, 2018).

4.3 RESULTADOS FISIOLÓGICOS

Uma grande parte das pesquisas que avaliam os efeitos agudos do exercício físico no desempenho cognitivo têm se baseado na premissa de que as respostas fisiológicas ao exercício têm um impacto no funcionamento cognitivo, que pode ser avaliado por meio de medidas comportamentais (CHANG *et al.*, 2012). Diversos mecanismos fisiológicos têm sido sugeridos para explicar tais benefícios, como o aumento da liberação de neuromodulares, como a dopamina, a noradrenalina e a serotonina (MEHREN *et al.*, 2019), e o aumento do fluxo sanguíneo cerebral e oxigenação, especialmente no córtex pré-frontal (HUSSEY *et al.*, 2020). Este aumento da liberação de certos neuromoduladores, assim como o aumento da oxigenação cerebral produz

múltiplos efeitos benéficos, como aumento do fator neurotrófico derivado do cérebro (Bdnf) e da capacidade de processamento do córtex pré-frontal, otimizando sua função no controle atencional e memória de trabalho (HWANG *et al.*, 2016).

O Bdnf é uma proteína do sistema nervoso com um papel central no desenvolvimento, na integridade e na plasticidade do sistema nervoso (CHANG *et al.*, 2012). Podendo ser encontrado em várias regiões como o hipocampo e o córtex, tem sido observado como partícipe no aprimoramento cognitivo induzido pelo exercício agudo em humanos (CHANG *et al.*, 2012). Estudos que investigaram relação entre os níveis séricos de Bdnf (oriundos do exercício físico) durante a tarefa comportamental, com sessões de corrida de 30 minutos de intensidade moderada (TSAI *et al.*, 2016) e 20 minutos de intensidade vigorosa (HWANG *et al.*, 2016) obtiveram resultados divergentes, sendo que apenas para a intensidade vigorosa foi identificada correlação significativa entre o desempenho cognitivo e os níveis séricos da proteína durante a tarefa comportamental.

Outro parâmetro fisiológico frequentemente investigado em estudos que relacionam exercício físico e desempenho cognitivo é o fluxo sanguíneo, em especial do córtex pré-frontal. A aptidão cardiorrespiratória impacta diretamente na eficiência das funções do fluxo sanguíneo, entre elas a melhor oferta de oxigênio e de outros substratos energéticos às áreas cerebrais (HOGAN, 2005). Estudos têm concluído que indivíduos com maior capacidade cardiorrespiratória e menor pressão arterial têm obtido melhores resultados na tarefa n-back, que mede o desempenho de memória de trabalho, somado a maior oxigenação pré-frontal observada (GOENARJO *et al.*, 2020). Este dado condiz com os achados de Damrongthai *et al.*, 2021 que identificaram aumento do fluxo sanguíneo pré-frontal associado a uma diminuição do tempo de resposta na tarefa Stroop que remete a controle atencional, entretanto, não confere com o estudo de Loprinzi *et al.* (2015) que não identificaram correlação significativa entre a melhora no desempenho dos participantes na tarefa de concentração (Feature Match) e a aptidão cardiorrespiratória dos participantes.

Outro método amplamente utilizado para medir a atividade elétrica neuronal durante tarefas cognitivas comportamentais após uma sessão de

exercício físico é a eletroencefalografia (EEG). Ela mede a atividade elétrica a partir da superfície do crânio com a inserção de eletrodos em determinadas posições-padrão do couro cabeludo. A posição P3, por exemplo, no córtex parietal, possibilita avaliar a atividade elétrica dos neurônios que indexam a alocação de atenção. Aspectos de amplitude (medida em Hz de um conjunto de neurônios que dispara ao mesmo tempo) e de latência (tempo entre o estímulo elétrico até a resposta comportamental que ele representa) são observados para identificar engajamento atencional e tempo de reação do indivíduo respectivamente (KAO *et al.*, 2017). Na nossa amostra, maiores amplitudes da posição P3 foram identificadas durante tarefas cognitivas após sessões de exercício corrida de intensidade moderada (Bae *et al.* 2019; Tsai *et al.*, 2016)

O estudo de Kao *et al.* 2017, também baseado em EEG, comparou o desempenho cognitivo agudo dos participantes nas intensidades moderada e vigorosa e observaram que ambas as intensidades apresentam características que sugerem melhora cognitiva, porém de um modo diferente: a corrida moderada de 20 minutos resultou em maior amplitude da posição P3, o que indica um maior engajamento atencional, enquanto o exercício vigoroso de 9 minutos, apesar de não ter aumentado de amplitude de P3, diminuiu a latência do estímulo elétrico, o que sugere maior eficiência atencional. Em termos comportamentais o tempo de resposta melhorou em ambas as intensidades e os acertos na tarefa aumentaram na intensidade vigorosa apenas (Kao *et al.*, 2017).

Em estudos baseados em sessões de ciclismo em intensidade vigorosa, a eletroencefalografia apresentou resultados menos congruentes em comparação a corrida, sendo que uma melhora no engajamento atencional identificada no estudo de Chacko *et al.*, 2020 não foi identificada por Du Rietz *et al.*, 2019, apesar de que algumas diferenças importantes se destacam nestes desenhos experimentais, sendo que o primeiro estudo aplicou uma sessão de 30 minutos em comparação a 20 minutos do segundo, e o primeiro também contou com uma amostra de apenas 15 participantes com histórico de exercício físico de três vezes por semana em comparação a uma amostra de

29 adultos jovens possivelmente heterogênea, sem especificação. Estes são dados que, entre outros, podem ter interferido na discrepância dos resultados.

A atividade encefálica também foi avaliada através de imagens de ressonância magnética para mensurar aumento e diminuição da ativação de determinadas regiões após uma sessão aguda de ciclismo moderado (LI, L *et al.*, 2014). Observou-se que o exercício agudo induziu aumento da ativação cerebral no giro pré-frontal médio direito, giro lingual direito e giro fusiforme esquerdo, bem como desativou o córtex cingulado anterior, o giro frontal inferior esquerdo e o lóbulo paracentral direito. De acordo com os autores, apesar da falta de efeito nas medidas comportamentais, mudanças significativas após o exercício agudo com ativação dos córtex pré-frontal e occipital e desativação do córtex cingulado anterior e hemisfério frontal esquerdo podem refletir a melhora dos processos de controle executivo, indicando que o exercício agudo possa beneficiar a memória de trabalho em níveis que não tenham sido mensurados especificamente pela tarefa N-back (LI, L *et al.*, 2014). Outro estudo comparou os efeitos cognitivos agudos de intensidades moderada e vigorosa de ciclismo - neste caso, o exercício físico moderado foi associado a uma tendência de melhora do desempenho na tarefa devido a um aumento da ativação da ínsula e do giro pré-central. Enquanto o exercício de alta intensidade foi associado a uma diminuição da ativação destas mesmas áreas (MEHREN *et al.*, 2019).

Outro parâmetro fisiológico avaliado após uma sessão de ciclismo vigoroso, foi o nível de lactato no sangue após a sessão de exercício e antes das tarefas D2 e Digit Span (HEROLD *et al.*, 2022). O lactato é produzido durante esforço muscular intenso e é uma substância considerada sinalizador para o sistema nervoso central; serve de biomarcador quando há pouca quantidade de oxigênio chegando aos tecidos (HEROLD *et al.*, 2022). A quantidade de lactato e conseqüentemente de oxigênio disponível nas regiões do encéfalo responsáveis pelas tarefas cognitivas, impacta diretamente no desempenho cognitivo (HEROLD *et al.*, 2022). Em estudo desenvolvido por Herold e colegas (2022) as alterações nos níveis de lactato periférico foram estatisticamente atrelados à melhora do desempenho cognitivo dos participantes.

Por fim, um último parâmetro fisiológico avaliado na nossa amostra de estudos, foi a relação dos níveis de cortisol com o desempenho cognitivo. Cortisol é um hormônio produzido pelas glândulas suprarrenais em determinados horários do dia com a função principal de regular os ciclos diários de sono e vigília e também para administrar situações de estresse (PONCE *et al.*, 2019). Este hormônio vem sendo investigado no sentido de que em excesso ele poderia apresentar prejuízos cognitivos, neste sentido, determinada intensidade e tempo de exercício físico poderiam provocar uma liberação considerada excessiva que provocaria estes prejuízos (PONCE *et al.*, 2019). Para medir este efeito o estudo de Ponce e colegas (2019) avaliou a alteração dos níveis de cortisol dos participantes após uma sessão de exercício físico vigoroso de 15 minutos e comparou com os níveis de cortisol resultantes de uma situação de estresse induzida experimentalmente (PONCE *et al.*, 2019). Como resultado parcial, identificaram um aumento idêntico dos níveis de cortisol em ambas as situações. Em seguida, foi observado estatisticamente que o aumento dos níveis de cortisol, tanto pelo exercício vigoroso como pelo estresse induzido, não foi suficiente para prejudicar o desempenho cognitivo mensurado pela tarefa N-back que mede memória de trabalho (PONCE *et al.*, 2019).

No próximo tópico abordaremos as variáveis externas (humor, cronotipo, etc) consideradas nos estudos desta amostra.

4.4 VARIÁVEIS EXTERNAS

Como já mencionamos, existem diversas variáveis que interferem no desempenho da atenção e da memória de trabalho, como o humor, a quantidade e a qualidade de sono, o cronotipo do indivíduo, a motivação e o bem estar físico e mental.

Observa-se que são poucas as pesquisas que consideram estes fatores em seus desenhos experimentais. Alguns estudos fizeram os experimentos sempre no mesmo horário quando o desenho do estudo consistia em dois encontros ou mais. Hwang *et al.*, 2016 e Tsai, *et al.* 2016 fizeram isso e assim padronizaram as interferências de cronotipo de cada participante, ou seja, a sua maior ou menor disposição e energia naquele horário em que foram

submetidos ao experimento. Neste sentido, consideramos que identificar o cronotipo dos participantes e correlacionar com os resultados comportamentais e/ou fisiológicos possa ser um bom método de diminuir o viés desta variável tão importante em pesquisas que envolvem atenção e memória, quando o vigor e a sensação de energia e disposição impactam diretamente.

Moore *et al.*, 2012 coletaram dados dos participantes via questionários de hábitos de atividade física e mental, sentimentos de energia e fadiga, sono, dieta e ingestão de suplementos. Entretanto, apenas resultados relacionados a energia e fadiga voltados ao desempenho cognitivo foram apresentados. Os autores consideraram a hipótese de que a fadiga induzida pelo exercício de 60 minutos explicaria a diminuição do desempenho dos participantes nas tarefas, entretanto estatisticamente não obtiveram resultados conclusivos.

A característica dos participantes como mais ativos e menos ativos fisicamente também é observada em alguns estudos (LOPRINZI, 2015; DU RIETZ, 2019, WENG 2015; ENGENROFF, 2022) Observou-se uma associação inversa entre sedentários auto referidos e pontuações no Teste de Trilha (Trail making test), o que sugere que o sedentarismo prolongado possa estar associado a níveis mais baixos de atenção (LOPRINZI, 2015). Entretanto o mesmo resultado não foi obtido por Du Rietz, *et al.*, 2019, havendo a necessidade de mais estudos neste sentido.

Outro importante elemento a ser considerado ao se avaliar desempenho atencional e de memória é o estado de humor do indivíduo. Alguns estudos desta revisão consideraram esta característica (DAMRONGTHAI, 2021; LEGRAND, 2018; WILKE, 2020; YAMAZAKI, 2018). Estudos anteriores já demonstraram que a liberação dos neurotransmissores dopamina, adrenalina e noradrenalina aumentados após exercício físico agudo explicam o aumento dos níveis de excitação (GOLDMAN, 2000; PAGLIARI 1985) e estão associados a melhora nos níveis de atenção e memória (CAHILL, 2003).

Nos estudos analisados nesta revisão, os resultados de Yamazaki *et al.*, 2018 demonstram melhora na excitação após sessões de ciclismo em intensidade moderada, não acompanhada de uma melhora cognitiva. Este resultado contrapõe a hipótese de Damrongthai *et al.* (2021), de que o ciclismo,

ao contrário da corrida, promove uma melhora nas funções de atenção e memória, sem impactar na melhora do humor. De acordo com investigações desse grupo, a corrida ativa uma região maior do córtex pré-frontal, envolvida no humor, em comparação ao ciclismo. Ainda neste sentido, o estudo de Legrand *et al.*, 2018, que abordou corrida de 15 minutos em intensidade moderada, ao ar livre, concluiu que a melhora do desempenho cognitivo foi acompanhada pelo aumento do sentimento autor-relatado de mais vigor e energia após o exercício.

Assim, de um modo geral, observa-se que uma minoria das pesquisas tentou correlacionar os resultados de desempenho cognitivo com variáveis externas fundamentais, de modo que possam chegar a conclusões mais robustas sobre a relação entre exercício físico e a atenção e a memória de trabalho.

5 DISCUSSÃO

O presente estudo investigou os efeitos agudos do exercício físico no desempenho da atenção e da memória de trabalho em adultos jovens, com base em vinte e cinco estudos clínicos publicados entre 2012 e 2022.

Quanto a modalidade de exercício físico, destacamos que dos 25 estudos incluídos, 23 deles basearam os seus estudos em exercício aeróbico. Podemos considerar que os exercícios aeróbicos têm se apresentado como uma boa alternativa para melhorar o desempenho cognitivo de forma aguda. Se observarmos a tabela 4 veremos que alguns padrões de protocolos se apresentam como benéficos para o desempenho cognitivo agudo: 1) exercícios de 10 ou 15 minutos de intensidade moderada ou vigorosa (exceto ciclismo); 2) sessões de 20 ou 30 minutos de caminhada, corrida ou pedaladas em intensidade moderada; e a 3) corrida em comparação ao ciclismo tem apresentado benefícios com maior regularidade.

Observa-se também que do total, apenas três estudos não obtiveram algum benefício cognitivo após a sessão de exercício físico, sendo que um destes estudos submeteu seus participantes a uma sessão exaustiva de 60 minutos de ciclismo vigoroso (MOORE *et al.*, 2012), outro aplicou 10 minutos de ciclismo leve e moderado (YAMAZAKI *et al.*, 2018) e o terceiro aplicou 15

minutos de corrida em esteira moderada ou vigorosa (PONCE *et al.*, 2019). É importante considerarmos que o tempo e a intensidade, além de outros fatores, podem ter interferido nestes resultados. O estudo de PONCE *et al.*, 2019, com base no tempo da sessão de exercício e da intensidade tenderia a um melhor resultado cognitivo. Para fins de comparação, outros dois estudos que também optaram por sessões de 15 minutos se basearam em circuito funcional de alta intensidade (WILKE, 2020) e corrida em trilha ao ar livre de intensidade moderada (LEGRAND *et al.*, 2018) ao invés de corrida em esteira (PONCE *et al.*, 2019). Nestes casos, tanto Wilke, 2020 como Legrand *et al.*, 2018 obtiveram uma melhora no desempenho cognitivo após as sessões de exercício, porém, observa-se que, diferente do estudo de Ponce, 2019, estes fizeram um estudo entre grupos, ou seja, os indivíduos não tiveram o seu comportamento cognitivo comparado entre situação de exercício e situação de controle (repouso), mas sim comparado com o desempenho de outros indivíduos. Vale enfatizar ainda que Wilke (2020) contou com a participação de indivíduos com uma média de cinco horas de prática desportiva semanal, sendo que, neste caso, os resultados cognitivos podem ter sofrido interferência da prática crônica do exercício físico e não apenas do efeito agudo.

Ainda em relação ao tempo de sessão, é interessante se observar nestes estudos que o tempo de duração das sessões de exercício físico variou de 10 a 60 minutos. A maioria deles (60%) utilizou sessões de 20 ou 30 minutos e apresentaram benefícios cognitivos, mesmo que parciais, melhorando índices de taxa de erro e/ou de tempo de respostas das tarefas comportamentais para intensidades moderada e vigorosa. Resultados menos consistentes são observados com tempos menores de 20 ou maiores de 30 minutos. Entretanto, quando os participantes foram submetidos a 10 minutos de corrida vigorosa (HWANG *et al.*, 2016) ou a uma sessão que intercalou um minuto de caminhada com um minuto pulando corda (COLEMAN *et al.*, 2018), tanto a atenção como a memória de trabalho apresentaram melhora de desempenho. Observa-se, portanto, que para tempos menores de sessão de exercício, a intensidade vigorosa tem demonstrado melhores resultados cognitivos.

Em relação ao tipo de exercício físico, dentro da modalidade de exercício aeróbico, a maioria dos estudos submeteu os participantes a sessões de caminhada, corrida ou ciclismo. Em relação ao tipo de exercício, se compararmos o desempenho cognitivo após a prática de ciclismo vigoroso com a corrida vigorosa, o segundo parece trazer melhores resultados cognitivos quando os participantes são submetidos a 20 ou 30 minutos de sessão (Tabela 3).

Neste sentido, Damrongthai *et al.*, 2021 com base em seus achados, consideram a corrida um tipo de exercício aeróbico que traz mais benefícios cognitivos em comparação ao ciclismo porque, de acordo com medidas de fluxo de hemoglobina oxigenada, a corrida ativa uma área maior do córtex pré-frontal, incluindo regiões envolvidas na regulação do humor, um importante aspecto no que se refere a atenção e memória de trabalho. Por outro lado, os participantes da pesquisa de Yamazaki *et al.* 2018 apresentaram níveis de prazer estatisticamente maiores após uma sessão leve de 10 minutos de ciclismo, apesar de não apresentarem melhora no desempenho cognitivo. Então, ainda não é possível concluir com segurança se o aparente maior benefício proporcionado pela corrida em relação ao ciclismo é por causa de uma modulação do humor. De qualquer modo, como já vimos, o humor é um dos aspectos que interferem no desempenho cognitivo e vale considerar que possivelmente a variação de humor resultante de uma sessão de exercício possa também estar relacionada ao interesse e a aderência do indivíduo com a atividade e não apenas a uma reação fisiológica do organismo oriunda do exercício em si.

Outra possibilidade interessante, do impacto da modulação do humor causada pelo exercício físico, é que este, na dose certa, parece contrapor os prejuízos provocados pelo estresse, não apenas melhorando o humor, mas aumentando também os níveis de BDNF (HWANG 2016; TSAI 2016). Enquanto o estresse faz diminuir a sua expressão e aumenta os danos neuronais, o exercício além de favorecer a expressão de BDNF parece ter efeito global na promoção de neurogênese hipocampal, visando diferentes estágios incluindo proliferação celular, diferenciação neuronal e sobrevivência celular (HILLMAN,

et al., 2008), o que acaba impactando em aspectos cognitivos de desempenho e bem estar.

Destacamos ainda a importância de se considerar uma atividade para o grupo controle que não se torne entediante e nem leve o participante a uma situação de sono ou irritação durante o experimento. Como observamos anteriormente, tarefas “pouco interessantes” fazem diminuir os níveis dopaminérgicos que por sua vez diminuem o engajamento atencional; o sono e o humor também podem interferir negativamente. A maioria dos estudos mantiveram seus grupos controle em situação de repouso, sentados e muitas vezes, sem atividade alguma, o que em alguns casos pode ter se tornado desinteressante e possivelmente ter provocado uma diminuição de esforço na tarefa cognitiva subsequente, e ter vindo a distorcer os resultados da pesquisa (Tabela 6).

Tabela 6: Atividade do grupo controle

PRIMEIRO AUTOR	ANO	ATIVIDADE GRUPO CONTROLE
Moore, R	2012	Descanso
Li, L.	2014	Descanso, quieto e sentado.
Loprinzi, P D	2015	Não especificado
Weng, T B.	2015	Exercício passivo, que imitava os movimentos das pernas da pedalada da condição ativa
Popovich, C	2015	Não especificado
Tsai, C L	2016	Não especificado
Hwang, J Y	2016	Sentados em silêncio
Hwang, J	2016	Não especificado
Kao, S C	2017	Descanso sentado
Ludyga, S	2018	Leram um artigo sentados
Palmiere, S.	2018	Não especificado
Coleman, M.	2018	Assistir a vídeos de bem-estar alternando com caminhada
Yamazaki, Y	2018	Os sujeitos descansaram no cicloergômetro
Legrand, F D	2018	Exercícios de concentração e relaxamento
Rietz, E	2019	Descanso
Mehren, A	2019	Não especificado
Ponce, P	2019	Jogos on-line (como sudoku)
Bae, S.	2019	Leitura de jornal

Hussey, E K.	2020	Sentados
Chacko, S C.	2020	E-mail e redes sociais
Kao, S C	2020	Sentaram-se em silêncio em uma cadeira que foi colocada em cima de uma esteira
Wilke, J	2020	Lendo
Damrongthai, C	2021	Descanso
Herold, F	2022	Descanso sentado
Engeroff, T	2022	Não especificado

Fonte: Elaborado pelos autores.

Coleman *et al.* (2018) do contrário mesclaram um minuto de caminhada leve, com um minuto pulando corda até concluir 10 minutos de sessão para o grupo experimental que teve a atenção seletiva melhorada, enquanto o grupo controle caminhou em intensidade leve durante um minuto e assistiu vídeo no minuto seguinte, sucessivamente até completar os 10 minutos. Deste modo o grupo controle se manteve ocupado em atividade que diminuiu a possibilidade de os participantes terem se sentido entediados, com sono ou com humor alterado.

Quando observamos o perfil dos participantes quanto a aptidão física, destacamos que do total, cinco estudos contaram com participantes regularmente ativos fisicamente (TSAI, 2016; WILKE, 2020; LUDYGA, 2018; CHACKO, 2020; ENGEROFF, 2021) e destes, todos obtiveram melhor desempenho de controle atencional ou de memória de trabalho após a sessão de exercício, independente da modalidade, intensidade e tempo de duração das sessões que foram bem variadas. Considerando este aspecto, o estudo de Loprinzi *et al.*, (2015) separou os participantes em dois grupos: sedentários e regularmente ativos e observaram uma relação indireta entre o sedentarismo e o desempenho cognitivo. Por outro lado, uma meta-análise recente não mostrou uma influência da aptidão aeróbica nas melhorias induzidas pelo exercício no desempenho cognitivo (LUDYGA *et al.*, 2016), o que nos leva a considerar que mais investigações são necessárias quanto a este aspecto.

Um importante aspecto a se considerar nos estudos que medem os efeitos agudos do exercício físico na cognição é o tempo de duração do seu efeito. O que representa um meio de aplicabilidade do exercício no dia-a-dia como estratégia para estudantes e profissionais que buscam aumentar seus

níveis de memória de trabalho e de atenção em determinados momentos do dia. Entretanto, os estudos avaliados nesta revisão não consideraram este aspecto, o que se apresenta como uma oportunidade de investigação para estudos futuros.

Os resultados da presente pesquisa além de nos trazer importantes informações acerca de protocolos de exercício físico que resultam em benefícios cognitivos, possibilitará a elaboração de um modelo de pesquisa que contemple uma gama muito maior de variáveis que já sabemos impactar diretamente nos resultados relacionados à atenção e a memória de trabalho, como mecanismos fisiológicos e variáveis externas (sono, emoções, motivação, etc) e assim avançarmos consideravelmente neste tema, com resultados muitos mais robustos.

Disponibilizamos desta forma uma minuciosa e sucinta análise para posicionar a população de pesquisadores das principais evidências atuais no que se refere aos benefícios agudos do exercício físico no desempenho da atenção e da memória de trabalho de adultos jovens saudáveis, com base em publicações dos últimos dez anos.

6 CONCLUSÃO

O exercício físico apresentou resultados promissores para aumentar o desempenho agudo do controle atencional e da memória de trabalho em adultos jovens. Com base nos resultados, pode-se concluir que sessões de 10 ou 15 minutos de corrida moderada ou vigorosa vêm apresentando resultados cognitivos benéficos, assim como sessões de 20 ou 30 minutos de corrida ou ciclismo em intensidade moderada. Destaca-se ainda que a corrida tem apresentado resultados mais consistentes e regulares em comparação ao ciclismo.

As evidências de mecanismos fisiológicos observadas durante tarefas cognitivas após a sessão de exercício foram o aumento dos níveis periféricos de BDNF e de lactato; alterações da ativação neuroelétrica de regiões envolvidas na atenção e na memória de trabalho (identificado via eletroencefalografia); aumento da ativação de regiões envolvidas na atenção e

na memória de trabalho (observado via ressonância magnética) e aumento dos níveis de hemoglobina oxigenada no córtex pré-frontal.

Por fim, parece não existir até o momento um protocolo de exercício físico ideal no que se refere a melhora do desempenho cognitivo, especificamente para a melhora do controle atencional e da memória de trabalho de adultos jovens saudáveis.

7 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Recomenda-se para estudos futuros que envolvam a mensuração aguda do desempenho de atenção e memória de trabalho após a uma sessão de exercício físico que alguns aspectos importantes sejam considerados e/ou correlacionados aos resultados de tarefas cognitivas: 1) a tarefa do grupo controle deve ser o mínimo possível entediante para o participante, os níveis de dopamina e a motivação do sujeito impactam diretamente no desempenho cognitivo; 2) variáveis que afetam o controle atencional devem ser mensuradas e correlacionadas aos resultados das tarefas cognitivas, em especial: possível privação de sono, humor do indivíduo no momento da tarefa cognitiva, cronotipo e bem estar físico. 3) A aptidão física e a aderência do participante tanto para o tipo de exercício físico como para a tarefa cognitiva irão interferir no humor e no desempenho e precisam ser considerados.

8 REFERÊNCIAS

BAE Seongryu; MASAKI Hiroaki. Effects of Acute Aerobic Exercise on Cognitive Flexibility Required During Task-Switching Paradigm. **Frontiers in Human Neuroscience**, 2019.

BROMBERG-MARTIN, Ethan S.; MATSUMOTO, Masayuki; HIKOSAKA, Okihide. Dopamine in Motivational Control: Rewarding, Aversive, and Alerting. **Neuron**, 2010

BURPEE, R. H.; STROLL, W. Measuring reaction time of athletes. **Res. Quart.** 7, 110–118, 1936.

BUSCHMAN, Timothy J.; KASTNER, Sabine. From Behavior to Neural Dynamics: An Integrated Theory of Attention. **Neuron** v. 88, 2015.

CASPERSEN CJ; POWELL KE; CHRISTENSON GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. **Public Health Reports.** 100(2):126-131, 1985.

CHACKO, Siby C et al. A single bout of vigorous-intensity aerobic exercise affects reactive, but not proactive cognitive brain functions. **International Journal of Psychophysiology.** 2020.

CHANG, Y.K. et al. The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. **Brain Research.** v. 1453, 2012.

COLEMAN, Matt; OFFEN, Kelsey; MARKANT, Julie. Exercise Similarly Facilitates Men and Women's Selective Attention Task Response Times but Differentially Affects Memory Task Performance. **Frontiers in Psychology**, v. 9, 2018.

COOK, David A.; ARTINO, Anthony R. Motivation to learn: an overview of contemporary theories. **Medical Education**, 2016.

DAMRONGTHAI, Chorphaka *et al.* Benefit of human moderate running boosting mood and executive function coinciding with bilateral prefrontal activation. **Science Reports** 11, 22657, 2021.

DU RIETZ, Ebba et al. Beneficial effects of acute high-intensity exercise on electrophysiological indices of attention processes in young adult men. **Behavioural Brain Research.** 359:474-484, 2019.

ENGEROFF, Tobias; BANZER, Winfried; NIEDERER, Daniel. The impact of regular activity and exercise intensity on the acute effects of resistance exercise on cognitive function. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, 2022.

ETKIN, Amit; BÜCHEL, Christian; GROSS, James J. The neural bases of emotion regulation. **Nature Reviews Neuroscience**, 2015

EYSENCK, Michael W. et al. Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory. **Emotion**, 2007

GARBER, Carol E et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults. **Medicine and Science in Sport and Exercise**. 1334-1359,2011.

GARLAND, Daniel; BARRY, John R. Sport experience: the cognitive Advantage. **Perceptual and Motor Skills** 70, 1299-1314, 1990.

GAZZALEY, Adam, NOBRE, Anna C., Top-down modulation: bridging selective attention and working memory. **Trends in Cognitive Sciences**. v.16, 2012,

GOENARJO, Roman et al. Cardiorespiratory fitness, blood pressure, and cerebral oxygenation during a dual-task in healthy young males. **Behavioural Brain Research**, v. 380, 2020.

GUBERT, C., HANNAN, A.J. Exercise mimetics: harnessing the therapeutic effects of physical activity. **Nature Reviews Drugs Discovery** v. 20, 862–879, 2021.

HEROLD, Fabian et al. The Influence of Acute Sprint Interval Training on Cognitive Performance of Healthy Younger Adults. **International Journal of Environmental Research Public Health**. 2022.

HILL, EE et al.Exercise and circulating cortisol levels: the intensity threshold effect. **Journal of Endocrinological Investigation**. 2008.

HILLMAN, Charles,H; ERICKSON, Kirk I; KRAMER, Arthur,F. Be smart: exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. **Nature Reviews Neuroscience** 9, 58–65, 2008.

HOGAN, Michael. Physical and cognitive activity and exercise for older adults: a review. **International journal of aging & human development**. v. 60, n. 2, p. 95-126, 2005.

HORNE, J. A.; OSTERBERG, O. A self assessment questionnaire to determine Morningness Eveningness in human circadian rhythms. **International Journal of Chronobiology**, v. 4, n. 2, p. 97–110, 1976

HUSSEY, Erika K et al. Combined and Isolated Effects of Acute Exercise and Brain Stimulation on Executive Function in Healthy Young Adults. **Journal of Clinical Medicine** 9, 1410, 2020.

HWANG, Jungyun et al. Acute high-intensity exercise-induced cognitive enhancement and brain-derived neurotrophic factor in young, healthy adults. **Neuroscience Letters**, 2016.

HWANG, Jungyun; CASTELLI, Darla M.; GONZALEZ-LIMA, F. Cognitive enhancement by transcranial laser stimulation and acute aerobic exercise. **Lasers Medicine Science** 31, 1151–1160, 2016.

KAO Shih-Chun et al. Comparison of the acute effects of high-intensity interval training and continuous aerobic walking on inhibitory control. **Psychophysiology**. 2017

KAO, Shih-Chun; WANG, Chun-Hao, HILLMANN, Charles H. Acute effects of aerobic exercise on response variability and neuroelectric indices during a serial n-back task, **Brain and Cognition**. Volume 138, 2020.

KASS, Steven J.; WALLACE, J. Craig; VODANOVICH, Stephen J. Boredom proneness and sleep disorders as predictors of adult attention deficit scores. **Journal of Attention Disorders**, 2003.

KRAUSE, Adam J. et al. The sleep-deprived human brain. **Nature Reviews Neuroscience**, 2017.

LAWTHER, J. D. Psychology of coaching. (Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey, 1951).

LEGRAND, Fabien D et al. Brief aerobic exercise immediately enhances visual attentional control and perceptual speed. Testing the mediating role of feelings of energy. **Acta Psychological**, 2018

LEVANDOVSKI, Rosa; SASSO, Etianne; HIDALGO, Maria Paz. Chronotype: review of the advances, limits and applicability of the main instruments used in the literature to assess human phenotype. **Trends in Psychiatry and Psychotherapy**, 2013.

LI L et al. Acute aerobic exercise increases cortical activity during working memory: a functional MRI study in female college students. **PLoS One**, 2014.

LOPRINZI, Paul; D, KANE, Christy J. Exercise and cognitive function: a randomized controlled trial examining acute exercise and free-living physical activity and sedentary effects. **Mayo Clinical Proceedings**. 2015

LUDYGA, Sebastian et al. Effects of Aerobic Exercise on Cognitive Performance Among Young Adults in a Higher Education Setting. **Research Quarterly Exercise and Sport** 89(2):164-172, 2018

MAYER, Jutta S. et al. Common neural substrates for visual working memory and attention. **NeuroImage** v.36, 2007.

MCNAB, F.; KLINGBERG, T. Prefrontal cortex and basal ganglia control access to working memory. **Nature Neuroscience** **11**, 103–107, 2008.

MEHREN, Aylin et al. Intensity-Dependent Effects of Acute Exercise on Executive Function. **Neural Plasticity**, 2019.

MOORE, Robert D et al. The influence of exercise-induced fatigue on cognitive function. **Journal of Sports Science**, 2012.

PALMIERE, Samuel et al; Aortic stiffness, central pulse pressure and cognitive function following acute resistance exercise. **Europe Journal of Applied Physiology**. 2018.

PANICHELLO, Matthew F.; BUSCHMAN, Timothy J. Shared mechanisms underlie the control of working memory and attention. **Nature** **592**, 601–605, 2021.

PIERSON, W. R.; MONTOYE, H. J. Movement time, reaction time, and age. **Journal Gerontol** v.13, 418–421, 1958.

PONCE, Pamela; DEL ARCO, Alberto; LOPRINZI Paul. Physical Activity versus Psychological Stress: Effects on Salivary Cortisol and Working Memory Performance. **Medicina** (Kaunas), 2019.

POPOVICH, Cristina, STAINES, W Richard. Acute aerobic exercise enhances attentional modulation of somatosensory event-related potentials during a tactile discrimination task. **Behavioural Brain Research**, 2015.

POSNER, Michael I.; ROTHBART, Mary K. Research on Attention Networks as a Model for the Integration of Psychological Science. **Annual Review of Psychology**. , v. 58, n. 1, p. 1–23, 2007.

RAZ, Amir; BUHLE, Jason. Typologies of attentional networks. **Nature Reviews Neuroscience**, 2006.

SALEHINEJAD, Mohammad Ali et al. Cognitive functions and underlying parameters of human brain physiology are associated with chronotype. **Nature Communications**, 2021.

SCHMIDT, Christina et al. A time to think: Circadian rhythms in human cognition. **Cognitive Neuropsychology**, 2007

SPIRDUSO, WW. Physical Fitness, aging and psychomotor speed: a review. **Journal of Gerontology** v.6 , 850-865, 1980.

TSAI, Chia-Liang et al. Effects of acute aerobic exercise on a task-switching protocol and brain-derived neurotrophic factor concentrations in young adults with different levels of cardiorespiratory fitness. **Experimental Physiology**. 2016

VALDEZ, Pablo. Circadian rhythms in attention. **Yale Journal of Biology and Medicine**, 2019

VAN DONGEN, Hans P.A. et al. The cumulative cost of additional wakefulness: Dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. **Sleep**, 2003.

VIGITEL BRASIL 2019, Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico. Ministério da Saúde, 2019. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigitel_brasil_2019_vigilancia_fatores_risco.pdf. Acessado em 10 de abril de 2022.

WANG, Chun-Hao et al. Aerobic exercise modulates transfer and brain signal complexity following cognitive training. **Biological Psychology**, v.144, 2019.

WENG, Timothy B et al. Differential Effects of Acute Exercise on Distinct Aspects of Executive Function. **Medicine & Science in Sports & Exercise**. v. 47, 2015.

WILKE, Jan. Functional high-intensity exercise is more effective in acutely increasing working memory than aerobic walking: an exploratory randomized, controlled trial. **Scientific Reports** 10, 12335, 2020.

WIMMER, Ralf D. *et al.* Thalamic control of sensory selection in divided attention. **Nature**, 2015.

YAMAZAKI, Yudai et al. Inter-individual differences in working memory improvement after acute mild and moderate aerobic exercise. **PlosOne**, 2018.

ANEXO 1 – Estratégia de busca de literatura

Scopus (N= 806)

TITLE-ABS-KEY(Exercise OR Exercises OR "Physical Activity" OR "Physical Activities" OR "Muscle Stretching Exercises" OR Stretching OR "Proprioceptive Neuromuscular Facilitation" OR "PNF" OR Stretchings OR "Plyometric Exercise" OR Drill OR Drills OR Plyometric OR "Exercise Movement Techniques" OR pilates OR "Pilates Training" OR "Exercise Therapy" OR "High-Intensity Interval Training" OR "High-Intensity Interval Trainings" OR "Sprint Interval Training" OR "Sprint Interval Trainings" OR "circuit training" OR "endurance training" OR "resistance training" OR "fitness training" OR "physical conditioning" OR kinesiotherapeutic OR kinesiotherapy OR kinesitherapy OR "high intensity interval training") AND TITLE-ABS-KEY("Memory, Short-Term" OR "Immediate Memories" OR "Immediate Memory" OR "Immediate Recall" OR "Immediate Recalls" OR "Short-Term Memories" OR "Short-Term Memory" OR "Shortterm Memory" OR "Working Memories" OR "Working Memory" OR "Short term memory" OR "operational memory" OR "Continuous Performance Task" OR "Paced Auditory Serial Addition Test" OR "Test of Everyday Attention" OR "Attentional control" OR "sustained attention" OR "selective attention" OR "attentional focus") AND "Young Adult" OR "Young Adults" AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2012))

Web of Science (N = 135)

(TS=(Exercise OR Exercises OR "Physical Activity" OR "Physical Activities" OR "Muscle Stretching Exercises" OR Stretching OR "Proprioceptive Neuromuscular Facilitation" OR "PNF" OR Stretchings OR "Plyometric Exercise" OR Drill OR Drills OR Plyometric OR "Exercise Movement Techniques" OR pilates OR "Pilates Training" OR "Exercise Therapy" OR "High-Intensity Interval Training" OR "High-Intensity Interval Trainings" OR "Sprint Interval Training" OR "Sprint Interval Trainings" OR "circuit training" OR "endurance training" OR "resistance training" OR "fitness training" OR "physical conditioning" OR kinesiotherapeutic OR kinesiotherapy OR kinesitherapy OR "high intensity interval training")) AND TS=("Memory, Short-Term" OR "Immediate Memories" OR "Immediate Memory" OR "Immediate Recall" OR "Immediate Recalls" OR "Short-Term Memories" OR "Short-Term Memory" OR "Shortterm Memory" OR "Working Memories" OR "Working Memory" OR "Short term memory" OR "operational memory" OR "Continuous Performance Task" OR "Paced Auditory Serial Addition Test" OR "Test of Everyday Attention" OR "Attentional control" OR "sustained attention" OR "selective attention" OR "attentional focus") AND ALL=("Young Adult" OR "Young Adults")

PubMed (N= 98)

((Exercise[MeSH Terms] OR "Muscle Stretching Exercises"[MeSH Terms] OR "Plyometric Exercise"[MeSH Terms] OR "Exercise Movement Techniques"[MeSH Terms] OR "Exercise Therapy"[MeSH Terms] OR "High-Intensity Interval Training"[MeSH Terms] OR Exercise[Title/Abstract] OR Exercises[Title/Abstract] OR "Physical Activity"[Title/Abstract] OR "Physical Activities"[Title/Abstract] OR "Muscle Stretching Exercises"[Title/Abstract] OR Stretching[Title/Abstract] OR "Proprioceptive Neuromuscular Facilitation"[Title/Abstract] OR "PNF"[Title/Abstract] OR Stretchings[Title/Abstract] OR "Plyometric Exercise"[Title/Abstract] OR Drill[Title/Abstract] OR Drills[Title/Abstract] OR Plyometric[Title/Abstract] OR "Exercise Movement Techniques"[Title/Abstract] OR pilates[Title/Abstract] OR "Pilates Training"[Title/Abstract] OR "Exercise Therapy"[Title/Abstract] OR "High-Intensity Interval Training"[Title/Abstract] OR "High-Intensity Interval Trainings"[Title/Abstract] OR "Sprint Interval Training"[Title/Abstract] OR "Sprint Interval Trainings"[Title/Abstract] OR "circuit training"[Title/Abstract] OR "endurance training"[Title/Abstract] OR "resistance training"[Title/Abstract] OR "fitness training"[Title/Abstract] OR "physical conditioning"[Title/Abstract] OR kinesiotherapeutic[Title/Abstract] OR kinesiotherapy[Title/Abstract] OR kinesitherapy[Title/Abstract] OR "high intensity interval training"[Title/Abstract]) AND ("Memory, Short-Term"[MeSH Terms] OR "Memory, Short-Term"[Title/Abstract] OR "Immediate Memories"[Title/Abstract] OR "Immediate Memory"[Title/Abstract] OR "Immediate Recall"[Title/Abstract] OR "Immediate Recalls"[Title/Abstract] OR "Short-Term Memories"[Title/Abstract] OR "Short-Term Memory"[Title/Abstract] OR "Shortterm Memory"[Title/Abstract] OR "Working Memories"[Title/Abstract] OR "Working Memory"[Title/Abstract])

Memory"[Title/Abstract] OR "Short term memory"[Title/Abstract] OR "operational memory"[Title/Abstract] OR "Continuous Performance Task"[Title/Abstract] OR "Paced Auditory Serial Addition Test"[Title/Abstract] OR "Test of Everyday Attention"[Title/Abstract] OR "Attentional control"[Title/Abstract] OR "sustained attention"[Title/Abstract] OR "selective attention"[Title/Abstract] OR "attentional focus"[Title/Abstract])) AND ("Young Adult" OR "Young Adults") AND (y_10[Filter])