

Bochecho de carboidrato e desempenho de ginastas rítmicas de elite submetidas à fadiga mental

Effects of Carbohydrate Mouth Rinse on Performance in Elite Rhythmic Gymnasts Under Mental Fatigue

Isadora Oliveira Nascimento¹ , João Henrique Gomes¹ , Bruna Martins² , Juliana Coradine² , Camila Rezende² , José Valter Costa Oliveira¹ , Iohanna Fernandes¹ , Leonardo de Sousa Fortes³ , Lenamar Fiorese⁴ , Rafaela Andrade¹ , Julian Tejada¹ , Renata Rebello Mendes¹ 

1. Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, SE, Brasil

2. Universidade Unopar, Aracaju, SE, Brasil

3. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil

4. Universidade Estadual de Maringá, PR, Brasil

RESUMO

Introdução: Foi avaliado o efeito do bochecho com carboidrato (CHO) no desempenho de ginastas rítmicas da Seleção Brasileira submetidas à fadiga mental (FM). O objetivo foi verificar se o bochecho com CHO atenuaria impactos negativos da FM na performance. **Métodos:** Participaram doze ginastas rítmicas da Seleção Brasileira, em delineamento experimental crossover, randomizado e duplo-cego. A fadiga mental foi induzida através de tarefas cognitivas personalizadas (Stroop e n-back), mantidas até o alcance de 60% de fadiga subjetiva, mensurada por escala visual analógica (EVA), tempo de reação e frequência de piscadas. As participantes realizaram bochechos de 10 segundos com solução contendo 7% de CHO ou placebo, seguidos de simulação de série de GR seguida de três movimentos de risco, avaliados por treinadores experientes. A análise estatística foi conduzida através de modelo linear misto. **Resultados:** O protocolo induziu efetivamente fadiga mental por um tempo médio de 1h26min, caracterizada pelo aumento da fadiga percebida (EVA), do tempo de reação e da frequência de piscadas, além da redução de acertos nas tarefas cognitivas. O grupo CHO apresentou escore médio significativamente maior nos movimentos de risco ($4,72 \pm 2,55$) em comparação ao grupo placebo ($4,17 \pm 2,41$) ($p = 0,0402$). **Conclusão:** O bochecho com CHO atenua efeitos negativos da fadiga mental no desempenho de ginastas rítmicas de elite. Esse benefício não metabólico, possivelmente mediado pela ativação de áreas cerebrais relacionadas ao planejamento motor e à recompensa, sugere uma estratégia ergogênica relevante para a manutenção do desempenho cognitivo e motor sem ingestão calórica.

Palavras-chave: fadiga mental; ginástica; carboidrato; enxague

ABSTRACT

Introduction: The effect of carbohydrate (CHO) mouth rinsing on the performance of Brazilian National Team rhythmic gymnasts subjected to mental fatigue (MF) was evaluated. The objective was to determine whether CHO mouth rinsing would attenuate the negative impacts of MF on performance. **Methods:** Twelve rhythmic gymnasts from the Brazilian National Team participated in a randomized, double-blind, crossover experimental study. Mental fatigue was induced using personalized cognitive tasks (Stroop and n-back) maintained until a subjective fatigue level of 60% was reached, as measured by a visual analog scale (VAS), reaction time, and blink frequency. Participants performed 10-second mouth rinses with a 7% CHO solution or a placebo, followed by a simulated rhythmic gymnastics routine and three "risk" movements, which were evaluated by experienced coaches. Statistical analysis was conducted using a linear mixed model. **Results:** The protocol effectively induced mental fatigue over an average duration of 1 hour and 26 minutes, characterized by increased perceived fatigue (VAS), reaction time, and blink frequency, as well as a reduction in correct responses on cognitive tasks. The CHO group achieved a significantly higher mean score on risk movements (4.72 ± 2.55) compared to the placebo group (4.17 ± 2.41) ($p = 0.0402$). **Conclusion:** CHO mouth rinsing attenuates the negative effects of mental fatigue on the performance of elite rhythmic gymnasts. This non-metabolic benefit—possibly mediated by the activation of brain areas related to motor planning and reward—suggests a relevant ergogenic strategy for maintaining cognitive and motor performance without caloric intake.

Keywords: mental fatigue; gymnastics; carbohydrate; oral rinsing

Introdução

A estratégia de bochecho com carboidrato (CHO) tem sido amplamente investigada como um recurso ergogênico para o desempenho físico, especialmente em exercícios de endurance de alta intensidade, como o ciclismo e a corrida [1–6]. O mecanismo proposto para essa melhora é predominantemente de natureza não metabólica, envolvendo a ativação de receptores de carboidratos na cavidade oral, os quais modulam vias centrais associadas à motivação e à atividade cerebral, em detrimento de processos relacionados à oxidação de carboidratos [5–9].

Paralelamente, a fadiga mental (FM), definida como um estado psicobiológico induzido por períodos prolongados de atividade cognitiva exigente, tem sido amplamente reconhecida por seu impacto negativo sobre o desempenho físico [5,8,10–14]. A FM pode comprometer o desempenho em diversas modalidades esportivas, como ciclismo, corrida e natação, sobretudo por meio do aumento da percepção de esforço e de alterações na atividade cerebral [8,10–14]. Nesse contexto, intervenções baseadas no bochecho com carboidrato têm sido investigadas como estratégia para atenuar os efeitos deletérios da FM [7,8,11,14,15].

Apesar do crescente corpo de evidências acerca do bochecho com carboidrato (CHO) e da fadiga mental (FM) em atletas de endurance, a literatura que investiga seus efeitos combinados em modalidades esportivas complexas, como a ginástica rítmica (GR), ainda é incipiente. A GR caracteriza-se como uma modalidade de natureza artística e estética, que impõe elevados níveis de exigência física e psicológica, envolvendo a execução de elementos técnicos complexos e requerendo capacidades físicas como velocidade, força, capacidade de salto, potência explosiva e flexibilidade [16–21].

Entretanto, os estudos em ginástica rítmica (GR) tendem a assumir caráter predominantemente descritivo, concentrando-se em aspectos fisiológicos, antropométricos, técnicos e psicológicos, sem contemplar intervenções nutricionais, como o bochecho com carboidrato, voltadas à otimização do desempenho sob condições de fadiga mental (FM) [16,18,21]. Até o momento, não foram identificados estudos que tenham avaliado especificamente o efeito do bochecho com carboidrato em ginastas, sendo as evidências disponíveis restritas, majoritariamente, a atletas de endurance e ciclismo [5,6]. Ademais, parcela significativa desses estudos apresenta limitações metodológicas que comprometem sua extrapolação para populações de atletas de elite [22].

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito do bochecho com carboidrato no desempenho de ginastas rítmicas da Seleção Brasileira submetidas à fadiga mental, contribuindo para o preenchimento de uma lacuna relevante na literatura esportiva.

Métodos

Participantes

O estudo incluiu 12 ginastas rítmicas adultas da Seleção Brasileira, representando o censo completo da equipe de conjunto classificada para os Jogos Olímpicos de Paris. Os critérios de inclusão foram: ser integrante ativa da seleção nacional e não fazer uso de medicamentos que pudessem influenciar a fadiga mental.

As participantes foram excluídas nos seguintes casos: (a) ausência em sessões de treinamento; (b) presença de lesão ou comprometimento motor que impossibilitasse a realização dos testes físicos; (c) diagnóstico de doenças cardiovasculares, metabólicas ou neurológicas; (d) uso de substâncias para melhoria de desempenho; ou (e) utilização de suplementos ergogênicos (por exemplo, cafeína, creatina, beta-alanina, nitrato ou bicarbonatos) durante o período experimental.

Não foi realizado cálculo amostral, uma vez que o estudo contemplou a totalidade da população disponível de atletas de elite nessa categoria.

Procedimento

A pesquisa adotou um delineamento experimental randomizado, duplo-cego, controlado por placebo e do tipo crossover, contemplando um fator entre participantes (grupo: carboidrato ou placebo) e três fatores intraindividuais (duração dos testes de fadiga, frequência cardíaca máxima e percepção subjetiva de esforço). O número de tentativas, o dia experimental e as participantes foram considerados como fatores aleatórios no modelo analítico.

A ordem de exposição aos tratamentos (CHO ou PLA) foi randomizada por meio de sorteio realizado por um pesquisador independente, a fim de assegurar o sigilo da alocação. O experimento foi conduzido ao longo de três sábados. No primeiro sábado, foi realizado um teste de fadiga para estabelecimento da linha de base. No segundo e terceiro sábados, as participantes foram randomizadas para os grupos carboidrato ou placebo, sendo submetidas a um teste de fadiga, seguido do bochecho correspondente e, posteriormente, de um teste físico. No terceiro sábado, houve inversão dos grupos.

As participantes realizaram uma sessão de familiarização com a tarefa de fadiga mental (no primeiro sábado, correspondente à linha de base) e foram orientadas a manter padrões consistentes de sono, treinamento e ingestão alimentar na semana que antecedeu os experimentos. O café da manhã nos dias de teste foi padronizado em 300 kcal (30% de proteínas, 25% de gorduras e 45% de carboidratos).

Durante a sessão de familiarização, foi fornecida às participantes uma definição padronizada de fadiga mental como um “estado psicobiológico caracterizado por sensações de cansaço e falta de energia decorrentes de atividade cognitiva exigente prolongada”. Para assegurar uma indução robusta de fadiga nesse grupo de atletas de elite, estabeleceu-se um limiar de 60% na Escala Visual Analógica de Fadiga Mental (EVA-FM) [23] como critério para o início dos testes físicos; ressalta-se que as participantes não foram informadas acerca desse valor específico.

Na sequência, foram apresentadas tarefas informatizadas do tipo Stroop e n-back, sendo as participantes instruídas a completar o maior número possível de tentativas. Após cada bloco de tarefas, as participantes respondiam à EVA-FM. Caso o nível de fadiga mental percebida fosse inferior ao limiar estabelecido, a sessão era encerrada e o número de repetições realizado era registrado como duração basal; caso contrário, uma nova rodada das tarefas de Stroop e n-back era iniciada.

No segundo e no terceiro sábados, as participantes inicialmente realizaram a tarefa de fadiga mental, a qual foi ajustada com base na duração basal individual. Em seguida, utilizaram o bochecho correspondente à condição experimental (carboidrato ou placebo) antes da realização do teste físico (ver esquema de coleta de dados na Figura 1).

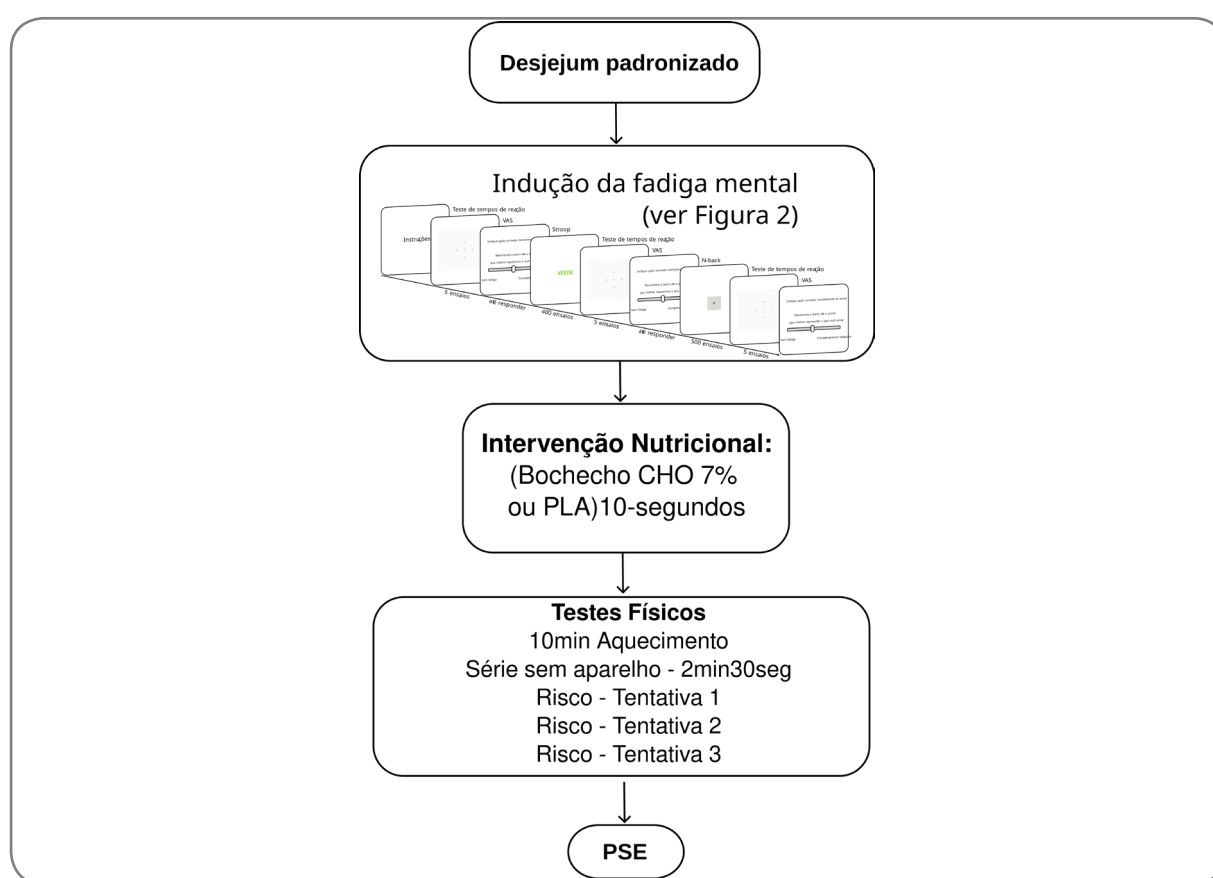


Figura 1 – Fluxograma da coleta de dados no segundo e terceiro sábados

Tarefa de fadiga mental

As participantes realizaram tarefas informatizadas do tipo Stroop e n-back com o objetivo de induzir fadiga mental. A tarefa de Stroop (ST) consistiu na identificação da cor da fonte de uma entre quatro palavras (preto, verde, roxo e bege), através da pressão da tecla correspondente, ignorando o significado semântico da palavra apresentada. Após cada resposta, era fornecido um feedback com duração de 500 ms. Cada tentativa teve duração aproximada de 5 minutos.

A tarefa n-back (NBT) consiste na apresentação sequencial de letras maiúsculas, exibidas brevemente (2000 ms), uma de cada vez, no centro da tela do compu-

tador. A participante deveria pressionar a barra de espaço sempre que a letra atual correspondesse àquela apresentada duas posições anteriores na sequência. Um feedback (1000 ms) era fornecido para indicar respostas corretas ou incorretas. Todo o procedimento foi repetido durante 5 minutos, totalizando aproximadamente 500 tentativas (Figura 2).

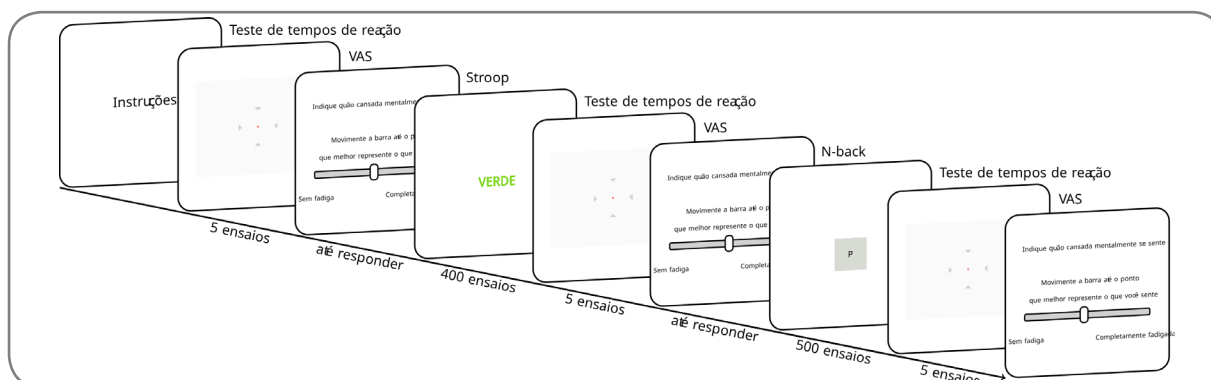


Figura 2 – Representação esquemática de um bloco experimental, composto por uma sequência alternada de tarefas de fadiga mental e avaliações de fadiga

A combinação das tarefas de Stroop e n-back foi utilizada para garantir o esgotamento abrangente dos recursos executivos, visando especificamente a inibição da resposta e a memória de trabalho simultaneamente. Esse protocolo multitarefa é respaldado por pesquisas anteriores [23], que sugerem que o envolvimento de diversos domínios cognitivos impede a adaptação específica à tarefa e induz, de maneira mais eficaz, um estado global de fadiga mental em atletas de alto rendimento

Avaliação da fadiga mental

A fadiga mental foi avaliada por meio de três métodos: uma Escala Visual Analógica (EVA), na qual um retângulo horizontal numerado de 0 a 100 é preenchido em vermelho, em que valores mais elevados e maior intensidade de cor indicam maior nível de fadiga; um teste de tempo de reação composto por cinco tentativas (Reaction Time Task – RTT), no qual as participantes deveriam pressionar a barra de espaço o mais rapidamente possível após o aparecimento de um círculo preto na tela do computador; e, por fim, a frequência de piscadas durante a execução da tarefa.

As tarefas de fadiga mental (ST e NBT), bem como a EVA e o RTT, foram programadas utilizando o software OpenSesame [24], versão 4.0, e executadas em computadores portáteis. Em todos os casos, foram registrados, para cada participante, o tempo de reação e o número de acertos.

Deteção de piscadas

O software OpenFace [25–28] foi utilizado para analisar as gravações em vídeo das faces das participantes, com o objetivo de identificar a posição dos olhos, determinar momentos de fechamento ocular e estimar a frequência e a duração das piscadas. Piscadas com duração superior a meio segundo foram excluídas da análise.

Tratamento

Todas as participantes realizaram as tarefas de fadiga mental (ST, RTT, NBT) e as avaliações de fadiga (EVA) em uma ordem padronizada: ST, RTT, EVA, NBT, RTT, EVA. As medidas de fadiga foram aplicadas após cada tarefa. Esse bloco foi repetido de 3 a 8 vezes, conforme os dados basais individuais. Antes do início do primeiro bloco, as participantes completaram as avaliações iniciais de EVA e RTT.

Tarefa física

Uma comissão técnica composta por três treinadores especialistas, pertencentes a uma das equipes de ginástica rítmica (GR) mais bem classificadas do mundo, foi responsável pela elaboração do circuito de tarefas físicas. Após um aquecimento específico de 10 minutos, as atletas realizaram uma simulação de série de arco sem utilização de aparelho, seguida de três tentativas de um movimento de “risco” (Figura 3). Na ginástica rítmica, o “risco” é definido como um lançamento elevado do aparelho, combinado com duas ou mais rotações dinâmicas realizadas durante sua trajetória aérea, seguido de sua recuperação.

Para assegurar a objetividade e a conformidade com o Código de Pontuação da Fédération Internationale de Gymnastique (FIG), o desempenho foi avaliado pelos mesmos dois treinadores experientes, cegados quanto à intervenção nutricional, com mais de 20 anos de experiência. As pontuações foram atribuídas por meio de um sistema 0–5–10, desenvolvido para refletir a natureza dicotômica (“tudo ou nada”) dos elementos de risco: 10 pontos para execução perfeita; 5 pontos para movimentos completados com falhas técnicas (por exemplo, recepção imperfeita); e 0 ponto para perda do aparelho (queda), o que configura uma penalidade relevante em contexto competitivo.

A intensidade da tarefa física foi estimada por meio da frequência cardíaca (Polar Team Pro, Kempele, Finlândia) e classificada de acordo com os critérios do ACSM [29]: muito leve (< 57% da FC máxima), leve (57–63% da FC máxima), moderada (64–76% da FC máxima), vigorosa (77–95% da FC máxima) e próxima do máximo (> 96% da FC máxima).

Após a realização da tarefa, as atletas responderam à escala de percepção subjetiva de esforço CR10 (RPE), a partir da seguinte questão: “Quão intenso você considera que foi o exercício?”



Figura 3 – Representação esquemática da tarefa física. (1) Posição inicial com o arco à frente do corpo. (2) Salto com passagem pelo interior do arco. (3) Lançamento do arco para iniciar o elemento de risco. (4) Três giros chaîné com os braços elevados acima da cabeça. (5) Recepção do arco durante um giro em ilusão, passando por dentro do aparelho e sem controle visual. Figura gerada usando o Gemini 3.1 com refinamento iterativo do prompt

Intervenção nutricional

A intervenção nutricional utilizou uma bebida isotônica comercial sabor laranja (Gatorade) como solução de carboidrato (CHO), fornecendo uma concentração de 7%, conforme descrito em Brietzke *et al.* [9]. Sua composição inclui água, sacarose, glicose, cloreto de sódio, citrato de sódio, fosfato monobásico de potássio, ácido cítrico, aromatizantes e corantes artificiais (tartrazina e amarelo crepúsculo).

O placebo (PLA) consistiu em uma bebida em pó comercial sabor laranja sem açúcar (Clight), com controle de correspondência quanto à cor, temperatura e sabor. A composição do PLA inclui vitaminas (C, A e B1), suco de laranja desidratado, ácido cítrico, citrato de sódio e os edulcorantes aspartame e acesulfame de potássio.

Para assegurar a integridade do protocolo duplo-cego, um pesquisador independente preparou as soluções em recipientes idênticos, sendo a similaridade sensorial entre as duas bebidas previamente validada por meio de teste de paladar com estudantes de nutrição.

As participantes foram instruídas a realizar o bochecho da solução por 10 segundos e em seguida descartar, sem deglutir.

Análise estatística

A análise foi conduzida em duas etapas: inicialmente, buscou-se determinar se as atletas atingiram níveis elevados de fadiga mental; em seguida, avaliou-se o impacto do bochecho com carboidrato sobre o desempenho nas tarefas físicas após a indução de fadiga mental. Na primeira etapa, foram utilizados gráficos de dispersão e linhas de tendência linear para examinar a relação entre o tempo de reação e o número de acertos com a fadiga percebida (EVA) e a frequência de piscadas.

Na segunda etapa, empregou-se um modelo linear misto para analisar os escores médios dos movimentos de risco. Os fatores fixos incluíram o grupo (CHO ou PLA), a duração das tarefas cognitivas assistidas por computador (DU_PSI), a frequência cardíaca máxima (FCMÁX) e a percepção subjetiva de esforço (PSE). Como fatores aleatórios, foram considerados o número de blocos de tarefas de fadiga (BLs), o dia experimental (Dia) e a identificação das participantes (ID).

$$\text{média_riscos} \sim \text{GRUPO} * \text{DU_PSI} * \text{FCMÁX} * \text{PSE} + (1 | \text{BLs}) + (1 | \text{Dia}) + (1 | \text{ID})$$

Efeitos de interação no modelo linear misto, como GRUPO * FCMÁX, foram incluídos com base na hipótese de que os benefícios ergogênicos do bochecho com carboidrato são mais pronunciados em condições de maior estresse fisiológico [9]. Para mitigar o risco de sobreajuste inerente ao reduzido tamanho amostral de atletas de elite ($n = 12$), foi empregado um procedimento de seleção retrógrada (stepwise backward), visando à obtenção do modelo mais parcimonioso.

Adicionalmente, a multicolinearidade foi avaliada por meio do Fator de Inflação da Variância (FIV); verificou-se que PSE e FCMÁX atuaram como preditores independentes, representando, respectivamente, o esforço subjetivo e a intensidade fisiológica.

Os testes post hoc foram realizados com ajuste de Holm (biblioteca mult-comp). Todas as análises foram conduzidas no ambiente R/RStudio, utilizando as bibliotecas lmerTest e lme4. A normalidade dos resíduos e a homocedasticidade foram verificadas previamente à seleção do modelo por meio da biblioteca performance.

Aprovação ética

Este estudo foi aprovado pelo Conselho Nacional de Ética em Pesquisa [CONEP], protocolo n.º 92652418.0.0000.5546. Todas as participantes forneceram consentimento informado de forma voluntária antes de sua inclusão no estudo.

Resultados

Teste de fadiga mental

As participantes apresentaram níveis semelhantes de fadiga mental ao longo das três sessões experimentais. Tal condição foi alcançada por meio de 3 a 8 repetições (média de $5,25 \pm 1,36$) de um bloco de tarefas (ST + RTT + EVA + NBT + RTT + EVA), com duração média de 1 hora e 26 minutos. A fadiga mental, mensurada por meio da EVA e do tempo de reação (Figuras 4A–B), aumentou ao longo do tempo, mantendo-se, contudo, consistente entre as três sessões, conforme evidenciado pela tendência observada no primeiro sábado (Figura 4A) e pelas linhas de tendência dos sábados subsequentes (Figura 4B).

Outro indicador de fadiga mental foi a diminuição do número de acertos nos testes de atenção à medida que aumentava a percepção de fadiga (EVA). As Figuras 4C e 4D demonstram que, à medida que a fadiga mental percebida aumentava entre as condições, o desempenho no teste de Stroop declinava.

Adicionalmente, o aumento da frequência de piscadas durante a execução das tarefas, conforme ilustrado na Figura 4E, constitui um indicador fisiológico de fadiga mental, corroborando a hipótese de que o protocolo experimental promoveu elevação da frequência de piscadas, do tempo de reação e da fadiga percebida. Os níveis de fadiga mental mantiveram-se consistentes em todos os dias experimentais.

Testes físicos

Os testes físicos, com duração média de 13 minutos, foram classificados como de intensidade vigorosa, de acordo com a frequência cardíaca (FC) e a escala CR10. A FC média foi de $76,99 \pm 10,71$ bpm para o grupo CHO e de $80,00 \pm 6,89$ bpm para o grupo PLA. A percepção subjetiva de esforço (PSE) média foi de $7,25 \pm 1,06$ para o grupo CHO e de $7,42 \pm 1,31$ para o grupo PLA. Por fim, o escore médio na tarefa de risco foi de $4,72 \pm 2,55$ para o grupo CHO e de $4,17 \pm 2,41$ para o grupo PLA. A Tabela I apresenta a síntese dos resultados referentes à fadiga mental e aos testes físicos.

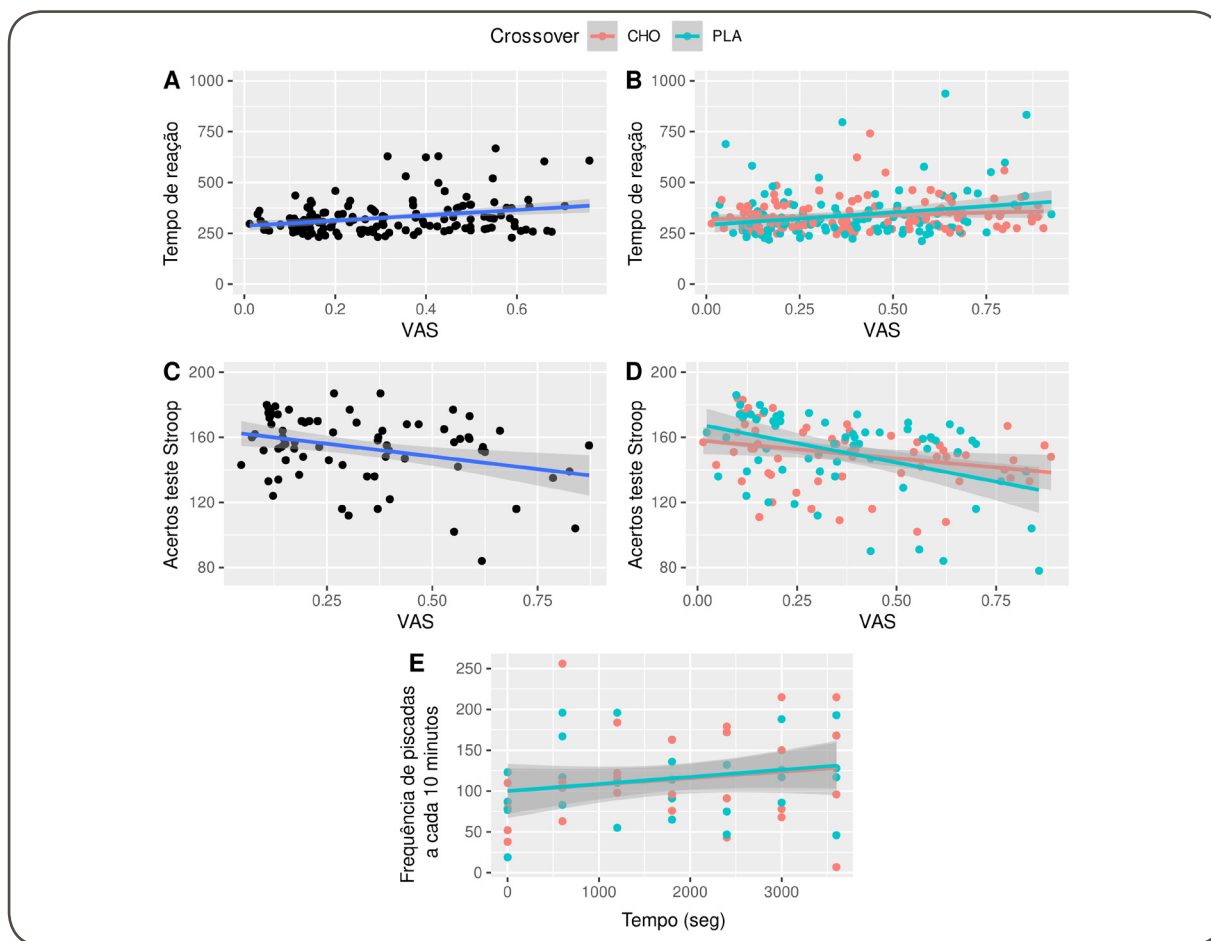


Figura 4 – Gráficos de dispersão que comparam os valores de EVA (eixo x) com o tempo de reação na tarefa de tempo de reação (eixo y dos painéis A e B), para a primeira sessão (A) e para a segunda e terceira sessões (B). Os painéis C e D apresentam gráficos de dispersão que comparam os valores de EVA (eixo x) com a frequência de acertos no teste de Stroop, para a primeira sessão (C) e para a segunda e terceira sessões (D). Por fim, o painel E apresenta o gráfico de dispersão da frequência de piscadas ao longo das tarefas atencionais

Tabela I – Número de blocos e duração dos testes de fadiga mental, bem como indicadores de desempenho físico das atletas em cada grupo (carboidrato-CHO e placebo-PLA) (média $\pm$ desvio padrão).

Variáveis	CARB	PLA
Número médio de blocos da tarefa de fadiga mental	5,25 $\pm$ 1,36	5,25 $\pm$ 1,36
Duração média da tarefa de fadiga mental (min)	86,58 $\pm$ 21,26	86,58 $\pm$ 21,26
Duração média da tarefa física (aquecimento + série + 3 riscos) (min)	13,12 $\pm$ 0,01	13,07 $\pm$ 0,02
Escore do risco 1 (u.a.)	5,00 $\pm$ 3,69	4,17 $\pm$ 2,89
Escore do risco 2 (u.a.)	5,42 $\pm$ 3,34	4,16 $\pm$ 3,59
Escore do risco 3 (u.a.)	3,75 $\pm$ 3,11	4,17 $\pm$ 2,87
Escore médio dos riscos (u.a.)	4,72 $\pm$ 2,55	4,17 $\pm$ 2,41
Frequência cardíaca média durante a tarefa física (bpm)	76,99 $\pm$ 10,71	80,00 $\pm$ 6,89
Percepção subjetiva de esforço - PSE (u.a.)	7,25 $\pm$ 1,06	7,42 $\pm$ 1,31

u.a. = unidade arbitrária; bpm=batimentos por minuto; min = minutos

Modelo linear misto

O modelo resultante após o processo de seleção retrógrada (stepwise backward) de variáveis foi:

$\text{media_riscos} \sim \text{GRUPO} + \text{DU_PSI} + \text{FCMÁX} + \text{PSE} + (1 \mid \text{BLs}) + \text{GRUPO}:\text{FCMÁX} + \text{DU_PSI}:\text{FCMÁX} + \text{DU_PSI}:\text{PSE} + \text{FCMÁX}:\text{PSE}$

As variáveis numéricas foram reescaladas utilizando a função scale do R. Os testes de normalidade e homocedasticidade indicaram que o modelo apresentou distribuição normal dos resíduos e variância homogênea. O coeficiente de determinação marginal ($R^2_{\text{marginal}} = 0,33$) indicou que o modelo explicou uma proporção relevante da variância dos dados.

A Tabela II apresenta os resultados da ANOVA para o modelo linear misto. Os resultados indicam diferenças no desempenho das sequências de risco para os efeitos principais de GRUPO, FCMÁX e PSE, bem como para as interações GRUPO: FCMÁX, DU_PSI: FCMÁX, DU_PSI: PSE e FCMÁX: PSE.

A análise post hoc, realizada com o pacote emmeans para comparação da variável GRUPO, revelou diferença estatisticamente significativa (tratio = 2,283, df = 12,8, $p = 0,0402$), com maior escore médio de risco no grupo CARB. A Figura 5 apresenta a comparação dos escores médios de risco entre os dois grupos.

Tabela II – Tabela de ANOVA (tipo III) para o modelo resultante após o processo de seleção retrógrada de variáveis. Os asteriscos indicam níveis de significância inferiores a: “ 0,001, ou “0,01, ou “ 0,05

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Intercept	1,6866	1	0,194047
GRUPO	5,2921	1	0,021422 *
DU_PSI	2,3945	1	0,121760
FC_MAX	3,0865	1	0,078946 *
PSE	23,7162	1	1,116e-06 ***
GRUPO:FC_MAX	10,7137	1	0,001063 ***
DU_PSI:FC_MAX	4,9080	1	0,026733 *
DU_PSI:PSE	10,1416	1	0,001450 **
FC_MAX:PSE	19,809	1	1,253e-05 ***

HR_MAX: Frequência cardíaca máxima; DU_PSI: Duração das tarefas cognitivas assistidas por computador; BLs: Número de blocos de tarefas de fadiga; ID : Identificação das participantes; PSE : Percepção subjetiva de esforço; Chisq : Qui-quadrado; Df : Graus de liberdade; Pr(>Chisq) : P-valor do qui-quadrado

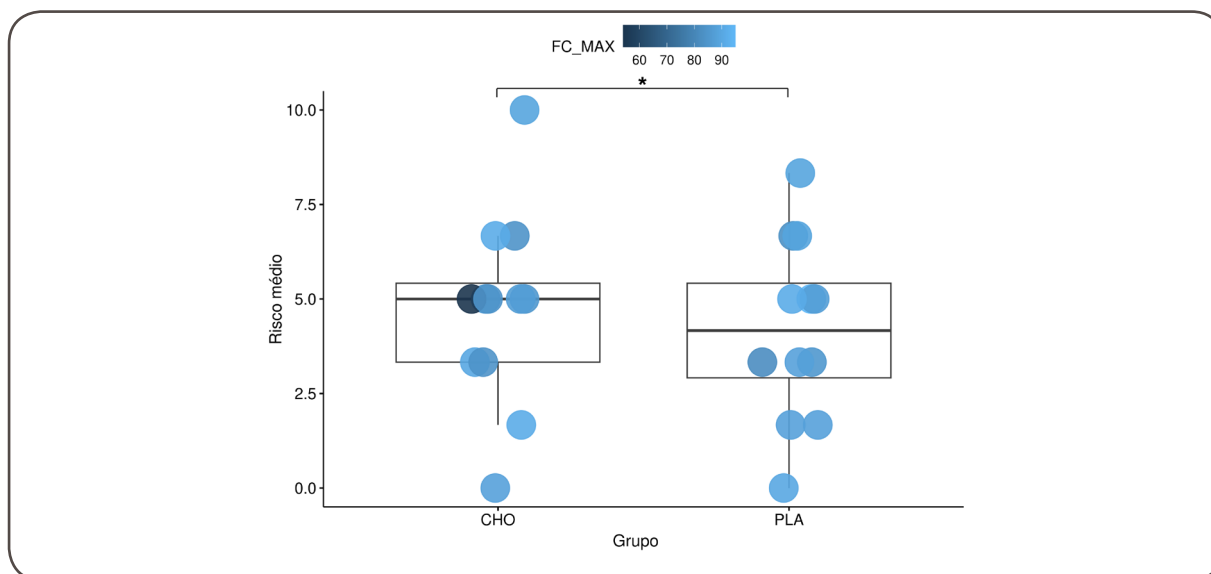


Figura 5 – Diagramas de caixa dos escores médios de risco para os grupos CHO e PLA, com a média da frequência cardíaca (FC) representada pela coloração dos pontos. Cada ponto corresponde ao escore individual de uma atleta

Discussão

O presente estudo investigou o impacto do bochecho com carboidrato (CHO) sobre o desempenho de ginastas rítmicas de elite submetidas à fadiga mental aguda. Os achados demonstram que o protocolo de indução de fadiga mental foi eficaz e consistente, evidenciando aumento da fadiga percebida e redução do desempenho cognitivo, em consonância com estudos prévios [9,12,14,30–37].

A combinação de medidas autorreferidas (EVA-FM), comportamentais (tempo de reação) e fisiológicas (frequência de piscadas) possibilitou a indução de um nível elevado e sustentado de fadiga, apesar da notável resiliência desse grupo de atletas. Essa abordagem multimodal configura-se como uma das principais contribuições do presente estudo, ao oferecer um protocolo robusto para a indução de fadiga mental. Nesse contexto, os achados indicam uma divergência substancial nos limiares de fadiga mental (FM) em relação à literatura existente. Enquanto protocolos convencionais tendem a induzir exaustão cognitiva em aproximadamente 30 minutos em populações recreacionais ou menos especializadas [31–33,38,39], as ginastas de elite avaliadas neste estudo sustentaram desempenho cognitivo intensivo por um tempo médio de $86,58 \pm 21,26$ minutos antes de atingirem o critério de fadiga. Essa duração é comparável aos maiores tempos de indução reportados por Van Cutsum *et al.* [37], que também empregaram uma combinação da tarefa de Stroop com outras tarefas atencionais. Destaca-se que a tarefa de Stroop permanece como um dos paradigmas mais amplamente utilizados para indução de fadiga mental [8,34,37], o que reforça a validade do protocolo adotado no presente estudo.

A elevada resiliência observada em atletas de ginástica rítmica sugere a existência de um perfil cognitivo especializado, possivelmente moldado pelas demandas atencionais singulares da modalidade, que envolvem a coordenação simultânea da

manipulação do aparelho e da execução técnica sob rigorosa sincronização musical. Esse perfil pode ser considerado comparativamente mais robusto do que aquele observado em outras modalidades esportivas, como jogadores de futebol [33] ou ciclistas de estrada [40], nos quais aproximadamente 30 minutos de indução de fadiga mental foram suficientes para provocar níveis semelhantes de fadiga. Adicionalmente, essa resistência à fadiga mental (FM) provavelmente decorre de adaptações crônicas à exigente rotina ecológica do esporte [20], na qual os aquecimentos pré-competitivos, por si só, frequentemente se estendem por três a quatro horas [19]. Esse elevado volume de treinamento demanda manutenção prolongada do foco atencional, podendo favorecer o desenvolvimento de maior resistência neuropsicológica em comparação a outras populações atléticas.

Os resultados do presente estudo corroboram a evidência de que a fadiga mental exerce impacto negativo sobre o desempenho cognitivo [9,31–37], manifestando-se especialmente em tarefas que requerem atenção e rapidez de resposta [9,31–34,37]. Notavelmente, o grupo submetido ao bochecho com CHO apresentou desempenho significativamente superior na execução de movimentos com alto risco de perda do aparelho, em comparação ao grupo placebo, sugerindo a existência de uma interação complexa entre estratégias nutricionais, estado de fadiga mental e processos de tomada de decisão em atletas de alto rendimento [8,9,14,31,33,34,37].

Esse achado é particularmente relevante, uma vez que a literatura sugere que o bochecho com carboidrato (CHO) é capaz de modular respostas cerebrais [1,3–6,8]. Acredita-se que essa estratégia atue por meio da estimulação de receptores orais sensíveis a carboidratos, os quais ativam áreas cerebrais relacionadas ao planejamento motor e às respostas emocionais, como o córtex pré-frontal (CPF), bem como circuitos de recompensa, mesmo na ausência de ingestão [1,5,6,8,9,35,37]. Embora as vias neurológicas precisas ainda não tenham sido completamente elucidadas por meio de técnicas diretas de neuroimagem, hipotetiza-se que as melhorias observadas na execução de movimentos de risco sejam mediadas pela ativação desses receptores orais. Esse mecanismo não metabólico provavelmente modula áreas cerebrais associadas ao planejamento motor e aos sistemas de recompensa, como o córtex pré-frontal. A ativação desses circuitos pode gerar respostas cognitivas, emocionais e comportamentais positivas [6,9], que, por sua vez, influenciam a propensão à tomada de risco e a percepção dos resultados associados a essas ações [6,12,14,33,35,37].

No contexto da ginástica rítmica, tal modulação pode contribuir para a melhoria da qualidade da execução motora e da consciência espacial durante momentos críticos de “risco”, mesmo quando a atleta se encontra em estado de depleção cognitiva.

Embora estudos prévios tenham investigado os efeitos do bochecho com carboidrato (CHO) sobre o desempenho em exercícios de endurance e no ciclismo [5,6,8,9,11], sua influência direta sobre o desempenho em tarefas caracterizadas por elevado risco de perda do aparelho, sob condições de fadiga mental, ainda não havia sido explorada. Esse aspecto constitui uma das principais contribuições do presente

estudo, juntamente com a inclusão do censo completo da equipe de conjunto da Seleção Brasileira, o que confere elevada validade ecológica no contexto do esporte de elite. Adicionalmente, o protocolo individualizado de indução de fadiga assegurou que cada ginasta atingisse seu limiar cognitivo específico antes da realização da tarefa física, minimizando vieses associados a protocolos de duração fixa frequentemente reportados na literatura [34].

Implicações clínicas

Na ginástica rítmica, modalidade que exige elevada precisão na execução de gestos técnicos, desenvolvimento aprimorado de capacidades físicas e artísticas, além de altos níveis de estresse físico e psicológico [19,21,41], a fadiga mental pode constituir um fator limitante relevante [14,34,37]. A capacidade de tomar decisões ideais, especialmente em situações de risco inerentes ao desempenho (por exemplo, elementos de dificuldade e interação com o aparelho) [19,21], é crucial.

Nesse contexto, o bochecho com carboidrato (CHO) pode configurar-se como uma estratégia útil para mitigar os efeitos da fadiga mental, contribuindo para a manutenção do desempenho cognitivo e motor durante sessões intensas de treinamento e competições [4,8,9,12,37]. Ademais, por não envolver ingestão calórica, essa intervenção oferece benefício ergogênico com menor potencial de desconforto gastrointestinal, favorecendo a sustentação do desempenho atlético [1,3,4,6,8].

Limitações

É importante reconhecer algumas limitações do presente estudo. Embora sua relevância seja sustentada pela escassez de investigações sobre o uso de bochecho com CHO em ginastas rítmicas, o tamanho amostral reduzido ($n = 12$), pode ser considerado um fator limitante. Ainda que os resultados tenham apresentado significância estatística, tal característica pode impactar a robustez e a generalização dos achados. Adicionalmente, destaca-se que o estudo foi conduzido com atletas da Seleção Brasileira, uma população de elite com características fisiológicas e psicológicas altamente específicas. Dessa forma, os resultados podem não ser diretamente generalizáveis para atletas recreacionais ou para indivíduos de outras modalidades esportivas. Por fim, embora os achados sugiram a participação de mecanismos centrais na modulação do desempenho, estudos futuros devem incorporar técnicas de neuroimagem direta, a fim de elucidar e corroborar os padrões de ativação neural aqui hipotetizados.

Conclusão

O bochecho com carboidrato promoveu melhora significativa no desempenho de ginastas rítmicas de elite na execução de movimentos de risco sob condições de fadiga mental. Esses achados reforçam a relevância de intervenções nutricionais direcionadas em modalidades esportivas estéticas, como estratégia para mitigar os efeitos negativos da depleção cognitiva sobre a execução técnica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe da Seleção Brasileira de Ginástica Rítmica.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Disponibilidade de dados

Os scripts em R e os dados estão disponíveis na plataforma Zenodo, no seguinte endereço: <https://zenodo.org/records/17194718>.

Financiamento

Não houve financiamento para a realização deste estudo.

Contribuição dos autores

Conceitualização, redação da versão original e investigação: Nascimento IO; Conceitualização e metodologia: Gomes JH, Martins B, Coradine J, Rezende C, Fernandes I, Fortes LS, Fiorese L; Redação da revisão do rascunho e revisão/edição do manuscrito: Oliveira JVC; Investigação: Andrade R; Conceitualização, revisão/edição do manuscrito, análise formal e metodologia: Tejada J; Conceitualização, revisão/edição do manuscrito e metodologia: Mendes RR.

Referências

1. Carter JM, Jeukendrup AE, Jones DA. The effect of carbohydrate mouth rinse on 1-h cycle time trial performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(12):2107–11. doi: 10.1249/01.mss.0000147585.65709.6f
2. Jeukendrup AE, Chambers ES. Oral carbohydrate sensing and exercise performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2010;13(4):447–51. doi: 10.1097/MCO.0b013e328339de83
3. Ataíde-Silva T, Ghiarone T, Bertuzzi R, Stathis CG, Leandro CG, Lima-Silva AE. CHO mouth rinse ameliorates neuromuscular response with lower endogenous CHO stores. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(9):1810–20. doi: 10.1249/MSS.0000000000000973
4. Peart DJ. Quantifying the effect of carbohydrate mouth rinsing on exercise performance. *J Strength Cond Res.* 2017;31(6):1737–43. doi: 10.1519/JSC.0000000000001741
5. Brietzke C, Franco-Alvarenga PE, Coelho-Júnior HJ, Silveira R, Asano RY, Pires FO. Effects of carbohydrate mouth rinse on cycling time trial performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2019;49(1):57–66. doi: 10.1007/s40279-018-1029-7
6. Loureiro LMR, Nabuco LL, Duarte LC, Reis CEG. Efeitos do bochecho de carboidratos no desempenho fí-sico em corrida de endurance: uma revisão sistemática. *RBNE - Revista Brasileira de Nutrição Esportiva [Internet].* 2020 [cited 2026 Jan 17];14(87):373–81. Available from: <https://www.rbne.com.br/index.php/rbne/article/view/1686>
7. Chong E, Guelfi KJ, Fournier PA. Effect of a carbohydrate mouth rinse on maximal sprint performance in competitive male cyclists. *J Sci Med Sport.* 2011;14(2):162–7. doi: 10.1016/j.jsams.2010.08.003
8. Bailey SP, Harris GK, Lewis K, Llewellyn TA, Watkins R, Weaver MA, et al. Impact of a carbohydrate mouth rinse on corticomotor excitability after mental fatigue in healthy college-aged subjects. *Brain Sci.* 2021;23(11(8):972. doi: 10.3390/brainsci11080972
9. Brietzke C, Franco-Alvarenga PE, Canestri R, Goethel MF, Vínicius Í, Painelli V de S, et al. Carbohydrate mouth rinse mitigates mental fatigue effects on maximal incremental test performance, but not in cortical alterations. *Brain Sci.* 2020; 10(8):493. doi: 10.3390/brainsci10080493
10. Jeukendrup A. The new carbohydrate intake recommendations. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser.* 2013;75:63–71. doi:10.1159/000345820
11. Franco-Alvarenga PE, Brietzke C, Canestri R, Goethel MF, Hettinga F, Santos TM, et al. Caffeine improved cycling trial performance in mentally fatigued cyclists, regardless of alterations in prefrontal cortex activation. *Physiol Behav.* 2019 May 15;204:41–8. doi: 10.1016/j.physbeh.2019.02.009
12. Marcora SM, Staiano W, Manning V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J Appl Physiol* (1985). 2009;106(3):857–64. doi: 10.1152/jappphysiol.91324.2008
13. Pires FO, Silva-Júnior FL, Brietzke C, Franco-Alvarenga PE, Pinheiro FA, de França NM, et al. Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial. *Front Physiol.* 2018;9:227. doi: 10.3389/fphys.2018.00227
14. Russell S, Jenkins D, Rynne S, Halson SL, Kelly V. What is mental fatigue in elite sport? Perceptions from athletes and staff. *Eur J Sport Sci.* 2019;19(10):1367–76. doi: 10.1080/17461391.2019.1618397
15. Grgic J, Grgic I, Pickering C, Schoenfeld BJ, Bishop DJ, Pedisic Z. Wake up and smell the coffee: caffeine supplementation and exercise performance—an umbrella review of 21 published meta-analyses. *Br J Sports Med.* 2020 Jun;54(11):681–8. doi: 10.1136/bjsports-2018-100278
16. Bobo-Arce M, Méndez Rial B, Bobo-Arce M, Méndez Rial B. Determinants of competitive performance in rhythmic gymnastics. A review. *Journal of Human Sport and Exercise: JHSE [Internet].* 2013 [cited 2026 Jan 17];8(3):711–27. Available from: <https://portalinvestigacion.udc.gal/documentos/608ca984af765575d40afc72?lang=en>
17. Di Cagno A, Baldari C, Battaglia C, Monteiro MD, Pappalardo A, Piazza M, et al. Factors influencing performan-

- ce of competitive and amateur rhythmic gymnastics--gender differences. *J Sci Med Sport*. 2009 May;12(3):411-6. doi: 10.1016/j.jsams.2008.01.006
18. Douda H, Avloniti A, Kasabalis A, Tokmakidis SP. Adaptations on physical performance characteristics after a 6-month specific training in rhythmic gymnasts. *Medical Problems of Performing Artists* [Internet]. 2007 [cited 2026 Jan 17];22(1):10-7. Available from: <https://www.jstor.org/stable/48710886>
 19. Marques IL, Menezes VO, Silva RJ, Lourenço MRA, Gomes JH, Mendes RR. Comportamentos de risco para deficiência de energia relativa no esporte em jovens ginastas rítmicas brasileiras de alto rendimento. *Rev Bras Fisiol Exerc* 2021;20(6):618-32. doi: 10.33233/rbfex.v20i6.4943
 20. Menezes VO, Marques IL, Silva R de J, Lourenço MRA, Gomes JH, Mendes RR. Ansiedade, qualidade de sono e transtornos alimentares em ginastas rítmicas da Seleção Brasileira Juvenil. *Rev Bras Fisiol Exerc* 2022;21(1):36-47. doi: 10.33233/rbfex.v21i1.4945
 21. Vernetta M, Montosa I, Beas-Jiménez J, López-Bedoya J. Bateria funcional ARISTO en gimnasia rítmica: protocolo de test específicos para la evaluación de jóvenes gimnastas en un ámbito de entrenamiento saludable. *Rev Andal Med Deporte*. 2017;10(3):112-9. doi:10.1016/j.ramd.2017.02.001
 22. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med*. 2018;52(7):439-55. doi: 10.1136/bjsports-2018-099027
 23. Bian C, Russell S, Mali A, Lathouwers E, De Pauw K, Habay J, et al. Methodological considerations and effectiveness for ecologically valid mental fatigue inducement in sports: a systematic review. *Sports Med Open*. 2025;11(1):82. doi: 10.1186/s40798-025-00891-0
 24. Mathôt S, Schreij D, Theeuwes J. OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behav Res*. 2012;44:314-24. doi:10.3758/s13428-011-0168-7
 25. Baltrušaitis T, Zadeh A, Lim YC, Morency L. OpenFace 2.0: Facial behavior analysis toolkit. In: 2018 13th IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition (FG 2018). 2018. p. 59-66.
 26. Baltrušaitis T, Robinson P, Morency LP. Constrained local neural fields for robust facial landmark detection in the wild. In: 2013 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops 2013:354-61. doi: 10.1109/ICCVW.2013.54
 27. Baltrušaitis T, Mahmoud M, Robinson P. Cross-dataset learning and person-specific normalisation for automatic Action Unit detection. In: 2015 11th IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition (FG) [Internet]. 2015 [cited 2026 Jan 17]. p. 1-6. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7284869>
 28. Zadeh A, Chen M, Poria S, Cambria E, Morency LP. Tensor fusion network for multimodal sentiment analysis. In: Palmer M, Hwa R, Riedel S, editors. *Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* [Internet]. Copenhagen, Denmark: Association for Computational Linguistics; 2017 [cited 2026 Jan 17]. p. 1103-14. Available from: <https://aclanthology.org/D17-1115/>
 29. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011 Jul;43(7):1334-59. doi: 10.1249/MSS.0b013e318213fefb
 30. Bafna T, Hansen JP. Mental fatigue measurement using eye metrics: A systematic literature review. *Psychophysiology*. 2021;58(6):e13828. doi: 10.1111/psyp.13828
 31. Migliaccio GM, Di Filippo G, Russo L, Orgiana T, Ardigo LP, Casal MZ, et al. Effects of mental fatigue on reaction time in sportsmen. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(21):14360. doi: 10.3390/ijerph192114360
 32. Slimani M, Znazen H, Bragazzi NL, Zguira MS, Tod D. The effect of mental fatigue on cognitive and aerobic performance in adolescent active endurance athletes: insights from a randomized counterbalanced, cross-over trial. *J Clin Med*. 2018;7(12):510. doi: 10.3390/jcm7120510
 33. Smith MR, Zeuwts L, Lenoir M, Hens N, De Jong LMS, Coutts AJ. Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *J Sports Sci*. 2016;34(14):1297-304. doi: 10.1080/02640414.2016.1156241
 34. Sun H, Soh KG, Roslan S, Wazir MRWN, Soh KL. Does mental fatigue affect skilled performance in athletes? A systematic review. *Plos One*. 2021;16(10):e0258307. doi: 10.1371/journal.pone.0258307
 35. Wascher E, Rasch B, Sängler J, Hoffmann S, Schneider D, Rinkenauer G, et al. Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biol Psychol*. 2014 Feb;96:57-65. doi: 10.1016/j.biopsycho.2013.11.010
 36. Wirdnam M, Ferrar K, Mayes S, MacMahon C, Cook J, Rio E. "A sprained ankle is the biggest sign of mental fatigue": A qualitative study of the perceptions and experiences of mental fatigue in professional ballet. *Phys Ther Sport*. 2024 Jan;65:154-161. doi: 10.1016/j.ptsp.2023.12.006
 37. Van Cutsem J, De Pauw K, Marcora S, Meeusen R, Roelands B. A caffeine-maltodextrin mouth rinse counters mental fatigue. *Psychopharmacology (Berl)*. 2018 Apr;235(4):947-58. doi: 10.1007/s00213-017-4809-0
 38. Cuchna FM, Blair P, Herrick J, Collins S. The effects of mental fatigue induced by the stroop test on muscular endurance performance and neuromuscular activation in division iii female athletes. *Int J Exerc Sci*. 2024;17(4):1540-52. doi: 10.70252/LEDA1951
 39. Dallaway N, Lucas SJE, Ring C. Cognitive tasks elicit mental fatigue and impair subsequent physical task endurance: Effects of task duration and type. *Psychophysiology*. 2022;59(12):e14126. doi: 10.1111/psyp.14126
 40. Martin K, Staiano W, Menaspà P, Hennessey T, Marcora S, Keegan R, et al. Superior inhibitory control and resistance to mental fatigue in professional road cyclists. *PLoS ONE*. 2016; 11(7):e0159907. doi: 10.1371/journal.pone.0159907
 41. Silva R de J, Borges LP, Quintans-Júnior LJ, Resende CF, Cadegiani FA, Gomes JH, et al. Acute effects of a typical rhythmic gymnastic training day on physiological parameters in Olympic athletes. *Kinesiology*. 2022;54(2):278-87. doi: 10.26582/k.54.2.9

