



Biomarcadores musculares de estresse fisiológico na prática esportiva de competição: uma revisão sistemática

Muscle biomarkers of physiological stress in competitive sports practice: a systematic review

Autores

Ana Karênina Sá Fernandes ¹
José Carlos Gomes de Carvalho
Leitão ²
Antônio José Abelha Cortinhas ³
Ariclécio Cunha de Oliveira ⁴
Adriano César Carneiro Loureiro ⁵

^{1,4,5} Universidade Estadual do Ceará (Brasil)

^{2,3} Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (Portugal)

Autor de correspondência:
Ana Karênina Sá Fernandes
karensafernandes@gmail.com

Cómo citar en APA

Fernandes, ana- karenina- sa, José Carlos Gomes de Carvalho Leitão, Antônio José Abelha Cortinhas, Ariclécio Cunha de Oliveira, & Adriano César Carneiro Loureiro. (2025). Biomarcadores musculares de estresse fisiológico na prática esportiva de competição: uma revisão sistemática. *Retos*, 63, 768-777. <https://doi.org/10.47197/retos.v63.110055>

Resumo

Introdução: A participação em competições esportivas muitas vezes exige um elevado esforço do atleta o que gera um estresse fisiológico no organismo resultando em alterações de parâmetros de biomarcadores musculares.

Objetivo: Verificar os efeitos de práticas de competições esportivas em biomarcadores de estresse fisiológico.

Método: As bases de dados utilizadas para a busca dos estudos nesta revisão sistemática foram: *PubMed*, *Scopus* e *ScienceDirect*; conforme os seguintes descritores empregados na busca: biomarkers and "stress, physiological" and sports que envolveram estudos entre os anos de 1974 a 2023. O processo de seleção dos estudos ocorreu conforme o protocolo PRISMA divididos em quatro etapas: identificação dos artigos nas bases de dados (n=196); triagem com a leitura dos títulos e resumos dos artigos (n=191); elegibilidade com a avaliação dos estudos pela leitura completa (n=5) e inclusão dos artigos científicos (n=5) que preencheram todos os critérios de inclusão. Como avaliação dos critérios de seleção dos artigos utilizou-se o método PICOS.

Resultados: Os resultados apresentaram a participação de biomarcadores do tipo: metabólitos (lactato e creatina quinase), proteínas (lactato desidrogenase, mioglobina e outras) e RNAs mensageiros em competições de cinco esportes distintos: corrida de aventura, rally, rugby, corrida e triatlo. Houve aumento das concentrações desses biomarcadores a partir do término das competições e a concentração da mioglobina apresentou aumento em atletas de triatlo que perdurou por 19 dias.

Conclusão: A conclusão principal do estudo aponta o estresse fisiológico com fadiga e dano muscular em atletas participantes de competições esportivas que se apresenta já a partir do fim do evento.

Palavras-chave

Biomarcadores; estresse fisiológico; fisiologia; medicina esportiva; músculo estriado.

Abstract

Introduction: Participation in sports competitions often requires a high level of effort from the athlete, which generates physiological stress in the body, resulting in changes in muscle biomarker parameters.

Objective: This study aimed to verify the effects of sports competition practices on biomarkers of physiological stress.

Methodology: The databases used to search for studies in this systematic review were: PubMed, Scopus, and ScienceDirect; according to the following descriptors used in the search: biomarkers and "stress, physiological" and sports that involved studies between 1974 to 2023. The study selection process occurred according to the PRISMA protocol divided into four stages: identification of articles in the databases (n = 196); screening by reading the titles and abstracts of the articles (n = 191); eligibility by evaluating the studies by reading them in full (n = 5); and inclusion of scientific articles (n = 5) that met all the inclusion criteria. The PICOS method was used to evaluate the article selection criteria.

Results: The results showed the participation of biomarkers such as metabolites (lactate and creatine kinase), proteins (lactate dehydrogenase, myoglobin and others) and messenger RNAs in competitions of five different sports: adventure racing, rally, rugby, running and triathlon. There was an increase in the concentrations of these biomarkers after the end of the competitions and the concentration of myoglobin showed an increase in triathlon athletes that lasted for 19 days.

Conclusions: The main conclusion of the study points to physiological stress with fatigue and muscle damage in athletes participating in sports competitions that appear after the end of the event.

Keywords

Biomarkers; physiological stress; physiology; sports medicine; striated muscle.

Introdução

O esporte de alto rendimento requer um desempenho físico que depende de treinamentos, práticas esportivas e participações em eventos esportivos de forma regular. Nas competições, há uma elevada exigência física que gera uma resposta direta e instantânea dos sistemas metabólico e fisiológico, impactando no desempenho e na saúde dos atletas (Bernardi et al., 2023). Tudo isso proporciona situações de sobrecarga nestes sistemas devido ao esforço da prática e que pode resultar numa situação de estresse fisiológico (Verdaguer, Parrado & Parrado 2021; Da Silva & Enumo, 2016).

Eventos fisiológicos estressores podem ter origem bioquímica, fisiológica e ambiental (Reis et al., 2024; Del Rosso et al., 2016) e está associado a alterações que envolvem modulações neuroendócrinas, hormonais, imunológicas e metabólicas como o aumento da concentração de lactato (Costache et al., 2022; Powers et al., 2020).

Essa molécula pode ser gerada durante a produção de energia pelas células musculares e indica o início do limiar anaeróbico no processo da bioenergética destas células com a participação da lactato desidrogenase. Sua alta concentração está associada a redução do pH intramuscular e a fadiga muscular levando a diminuição do desempenho contrátil e conseqüentemente do desempenho do músculo em sua totalidade (Matus-Ortega et al., 2020).

Outro ponto relevante é o efeito da prática esportiva na integridade muscular pois pode haver alterações como o aumento da concentração de creatina quinase (CK) e mioglobina que são dois biomarcadores de dano muscular. Essas proteínas são responsáveis por dois importantes substratos para o funcionamento muscular: o ATP e o oxigênio (Pesenti-Tofalini et al., 2020).

Várias proteínas e RNAm têm sido utilizadas como indicadores de estresse fisiológico e dano muscular e que são importantes na regulação de vias e mecanismos musculares que participam da saúde e do desempenho físico atlético, tais como a via ubiquitina-proteassoma que está envolvida no catabolismo proteico (Powers et al., 2020; Naughton, Miller & Slater, 2018; Kim et al., 2011).

A longo prazo, essas alterações podem gerar adaptações fisiológicas como a melhora das capacidades físicas como a produção de força muscular, aumento do tempo para o início dos efeitos da fadiga muscular e melhor desempenho neuromotor e das funções metabólicas como uma redução no comprometimento do estresse oxidativo, da resposta inflamatória e do dano muscular (Pomfret, Sand & May, 2023; Silva et al., 2020).

No entanto, há formas como as práticas de algumas modalidades esportivas são realizadas que não apresentam esses benefícios tais como futebol (Becatti et al., 2017), handebol (Henze et al., 2024), mergulho (Castagna et al., 2023), corrida de carro (Reid, 2022) e rally (Castro-Sepúlveda et al., 2014; Turner & Richards, 2015). E mesmo que a literatura científica ainda não apresente todos os fatores envolvidos isso provavelmente ocorra devido ao estresse fisiológico pela sobrecarga de intensidade, duração e/ou volume nas execuções esportivas (Bernardi et al., 2023).

O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas de biomarcadores do estresse fisiológico em atletas participantes de competições esportivas.

Método

O método de pesquisa deste estudo é uma revisão sistemática (Theile & Beall, 2024). As bases de dados utilizadas para a busca dos artigos científicos desta pesquisa foram realizadas pelas seguintes plataformas: *PubMed/Medline*, *Scopus* e *ScienceDirect*. Foram utilizados descritores na língua inglesa em conformidade com o *Medical Subject Headings (MeSH)* como também se utilizou o operador booleano "and" na seguinte combinação de descritores: biomarkers and "stress, physiological" and sports. O resultado dessa busca englobou artigos publicados entre os anos de 1974 a 2023 e estudos nas línguas portuguesa, inglesa e espanhola.

Foi utilizado o método PICOS (População; Intervenção; Comparação; Desfecho e Estudo) para a avaliação dos critérios de seleção dos artigos. Já para a avaliação dos critérios de inclusão dos estudos para esta revisão sistemática foram determinados os seguintes itens: a) pesquisas realizadas apenas em

seres humanos; indivíduos saudáveis; b) participantes de competição esportiva; c) análise de biomarcadores relacionados ao tecido muscular e d) análise feita pelo menos uma vez antes e uma vez após a competição esportiva e artigos científicos completos. Os artigos que apresentaram exercícios físicos e treinamentos esportivos ao invés da competição esportiva; que utilizaram algum tratamento medicamentoso concomitante à prática esportiva; artigos de revisão; com estudos de biomarcadores sistêmicos e não específicos ao tecido muscular foram excluídos desta revisão sistemática. A identificação do esporte para o critério de inclusão seguiu as definições propostas pelo Atlas do esporte no Brasil elaborado pelo Conselho Federal de Educação Física (Bitencourt & Navarro, 2006).

Após todos esses procedimentos, foi criada uma tabela para organizar as informações de todas as publicações e dados recolhidos para a elaboração da revisão. Este planejamento de dados serviu para identificar as áreas de atuação destes estudos e a análise de artigos científicos relevantes com o objetivo desta revisão conforme o Protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2023).

A qualidade metodológica dos artigos selecionados foi realizada pela versão adaptada do instrumento Downs e Black (1988) que possui especificidade para avaliar estudos randomizados e não randomizados. A adaptação foi proposta por Bento et al. (2012) utilizando uma lista de verificação para medir a qualidade dos estudos com 12 critérios relacionados a clareza do texto, validade interna, validade externa, controle do fator de confusão e poder estatístico dos artigos científicos.

Para a avaliação da qualidade metodológica desses estudos, todos os procedimentos foram realizados por três avaliadores distintos e ocorreu por uma somatória da pontuação correspondente a cada item que podem ser avaliados por duas alternativas: 0 ou 1 que, respectivamente, 0 corresponde a ausência ou não concordância com o critério e 1 que corresponde ao critério proposto. Na etapa da classificação dos estudos foi utilizada a proposta de Bento et al. (2012) que estabelece um valor de oito pontos como uma boa classificação da qualidade metodológica que pode atingir a pontuação máxima de 12 pontos.

Resultados

Na figura 1 é apresentada a identificação de 196 artigos científicos nas seguintes bases de dados: *PubMed*, *Scopus* e *Science Direct*. Após essa identificação foram analisados os títulos de todos os artigos adotando os critérios de inclusão propostos para esta revisão e essa triagem resultou na eliminação de 174 estudos que não estiveram de acordo com o objetivo desta pesquisa.

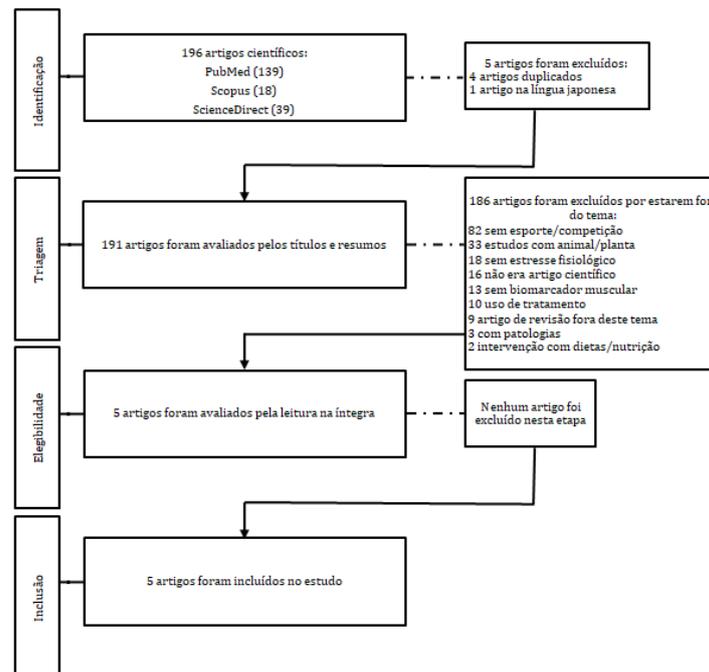
A etapa da elegibilidade dos artigos ocorreu com a leitura dos resumos e eliminou 12 artigos. A próxima análise ocorreu com a leitura na íntegra dos artigos que ao final foram obtidos cinco estudos que estiveram em conformidade com os critérios de inclusão deste estudo.

Esses estudos avaliaram biomarcadores de estresse fisiológico numa competição esportiva e envolveram cinco esportes distintos: corrida de aventura, rally, rugby, corrida e triatlo. A composição da amostra variou entre os estudos em que o mínimo foi o número de oito atletas e o máximo o número de 42 atletas (tabela 1).

Quanto aos biomarcadores de estresse fisiológico, os estudos pesquisaram desde metabólitos, proteínas, moléculas e RNA mensageiro (RNAm). Os biofluidos avaliados foram o sangue, a urina e houve a coleta amostral do tecido muscular, especificamente, o músculo vasto lateral do quadríceps femoral. O processamento das amostras de sangue foram realizadas por kit comercial (CK, lactato desidrogenase - LDH e lactato), análise eletro-enzimática (lactato), analisador automático (CK) e nefelometria (mioglobina); da urina foi pelo ensaio de Imunoabsorção Enzimática (mioglobina) e da biópsia tecidual foi por Western blot (proteínas), Ensaio fluorimétrico (peptidase semelhante à quimotripsina proteossomal) e PCR (RNAm) (tabela 2).

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que independente da duração da competição houve o aumento dos biomarcadores logo após a primeira coleta do biofluido e do tecido e foi verificado um prolongamento desse efeito por até algumas horas e dias do término da competição.

Figura 1. Fluxograma baseado no PRISMA



O lactato, a CK e a mioglobina foram avaliados em mais de um artigo desta revisão. O lactato foi analisado em dois dos cinco artigos e em ambos os estudos houve o aumento da concentração nas análises avaliadas logo após o término da competição (Del Rosso et al., 2016) e até 2h após esse término (Silva et al., 2020). O aumento da CK também foi avaliado em dois artigos e esse aumento ocorreu após o término da competição (Neubauer, König & Wagner, 2008) e até 2h após a competição (Silva et al., 2020). A mioglobina apresentou aumento logo após do término das competições de rugby (Lindsay et al., 2015) e triatlo (Neubauer, König & Wagner, 2008), vale ressaltar que esse aumento foi verificado até 19 dias do término da competição.

Houve análise de proteínas e RNA mensageiro no estudo de Kim et al. (2011) que apresentou um quadro de estresse fisiológico, mas com redução da expressão de proteínas ligadas a degradação proteica. Os estudos de Silva et al. (2020) e de Neubauer, König e Wagner (2008) também verificaram a integridade muscular, mas avaliando a CK como biomarcador de dano muscular.

Tabela 1. Caracterização dos dados dos artigos da revisão

Autor (ano)	Esporte	N	Objetivo	Resultados
Silva et al. (2020)	Corrida de aventura	15 homens 10 mulheres	Avaliar a diferença das respostas de variáveis bioquímicas de homens e mulheres nos efeitos de uma corrida de aventura de longa duração por atletas profissionais.	O lactato aumentou após a competição não diferindo entre os sexos. A CK e a LDH aumentaram após a competição; esses aumentos foram significativamente maiores para os homens.
Del Rosso et al. (2016)	Rally	9 homens	Avaliar o estresse numa corrida de rally de carros oficial e a relação do condicionamento físico e da composição corporal.	O lactato aumentou em 396%.
Lindsay et al. (2015)	Rugby	24 homens	Avaliar o estresse psicofisiológico individual e coletivo em 3 jogos de rugby.	A mioglobina aumentou nos 3 tempos avaliados.
Kim et al. (2011)	Corrida	8 homens	Avaliar o estresse celular do músculo esquelético após uma corrida de 200 km.	Houve estresse celular com o aumento de proteínas e RNAm do estresse oxidativo e da inflamação e houve redução em proteínas ligadas a ubiquitina e ao proteassoma, que levam a degradação de proteínas.
Neubauer, König e Wagner (2008)	Triatlo	42 homens	Elucidar a resposta ao estresse fisiológico, bioquímico e molecular no triatlo.	Houve aumento da mioglobina em todas as mensurações e a CK aumentou logo após a competição e após 1 e 5 dias.

Vale ressaltar que o dano muscular foi avaliado por dois mecanismos: a via da CK (Silva et al., 2020; Neubauer, König & Wagner, 2008) e a via ubiquitina-proteassoma (Kim et al., 2011).

Apenas um estudo avaliou o efeito do estresse fisiológico numa prática esportiva de competição em relação ao sexo, avaliando 15 homens e 10 mulheres. Esse estudo verificou diferenças nos efeitos na CK e na LDH nos homens com um aumento da concentração após a competição maior que o verificado nas atletas femininas. No entanto, o lactato apresentou aumento significativo em ambos os sexos (Silva et al., 2020).

Tabela 2. Dados metodológicos referentes aos biomarcadores muscular

Autor (ano)	Esporte	Biomarcador	Material biológico	Processamento da amostra	Jogos/competição	Duração	Tempo de coleta
Silva et al. (2020)	Corrida de aventura	CK Lactato LDH	Sangue	CK: Kit comercial específico Lactato: Eletroenzimático LDH: Kit comercial específico	1 competição	4 a 5 dias	Antes Até 2h após
Del Rosso et al. (2016)	Rally	Lactato	Sangue	Lactato: Kit - Teste enzimático	1 competição	12 a 14 min	1 semana antes Logo após
Lindsay et al. (2015)	Rugby	Mioglobina	Urina	Mioglobina: ELISA	3 jogos	1º jogo: $\mu=72.1$ min 2º jogo: $\mu=66.6$ min 3º jogo: $\mu=74.4$ min	120 min antes Logo após $\mu=37,75$ min após
Kim et al. (2011)	Corrida	Proteínas: BiP, calnexina, ERK1/2, ERO1- α , fosfo-p38, GAPDH, I κ B α , JNK, PDI, proteassoma 20S, ubiquitina RNAm: ATF4, CHOP, C2, IL-6, MAFbx, MT1F, MT1H, MuRF-1, NADPHox, TNF- α , USP28, XBP1s, XBP1t	Tecido muscular	Proteínas: Western blot e ensaio fluorimétrico RNAm: PCR	1 competição	36h	2 semanas antes 3h após
Neubauer, König e Wagner (2008)	Triatlo	CK Mioglobina	Sangue	CK: Analisador automático Mioglobina: Nefelometria	1 competição	9 a 10h	2 dias antes 20 min após 1 dia após 5 dias após 19 dias após

Legenda: ATF4= fator de transcrição ativador 4; BiP= proteína de ligação; CHOP= proteína homóloga C/EBP; CK= creatina quinase; C2= proteassoma C2; DP= desvio padrão; ERK1/2= quinase 1/2 relacionada ao sinal fosfo-extracelular; ELISA= Ensaio de Imunoabsorção Enzimática; ERO1- α = proteína endoplasmática oxidoreductina 1 α residente em retículo endoplasmático; Fosfo-p38= proteína quinase p38; GAPDH= gliceraldeído 3 -fosfato desidrogenase; h= horas; I κ B α = dinitrofenil, inibidor of nuclear factor kB α ; IL-6= interleucina-6; JNK= fosfo-c-Jun N-terminal; LDH= Lactato desidrogenase; MAFbx= atrofia muscular F-box; min= minutos; MT1F= metalotioneína F; MT1H= metalotioneína H; MuRF-1= ubiquitina ligase específica de músculo Ring-finger 1; NADPHox= nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato -oxidase; PCR= reação em cadeia da polimerase em tempo real; PDI= protein disulfide isomerase; RNAm= RNA mensageiro; XBP1s= proteína 1 de ligação ao X-box - s; XBP1t= proteína 1 de ligação ao X-box - t; μ = média; μ = média.

O tempo de coleta de dados após as competições limita uma análise ampla em relação ao efeito do estresse fisiológico, ao dano muscular e ao retorno a valores basais. Quatro dos cinco estudos realizaram a coleta do material biológico até 3h após a competição e apenas um dos estudos realizou por até 19 dias após o evento.

A duração da competição também possui uma elevada variação que dificulta a análise comparativa entre os estudos, pois o menor tempo de duração foi de 12 minutos no estudo com atletas de rally (Del Rosso et al., 2016) e o maior tempo foi no estudo avaliando a corrida de aventura que durou até cinco dias (Silva et al., 2020).

A avaliação do viés nos estudos de Lindsay et al. (2015), Kim et al. (2011) e Neubauer, König e Wagner (2008) foram classificados com o nível moderado (7 pontos), sendo os estudos de Silva et al. (2020) e Del Rosso et al. (2016) classificados com o nível bom (8 pontos) (quadro 1). Os artigos não indicaram o método da seleção dos participantes do estudo utilizado e da amostragem, e poucas inconsistências foram detectadas em relação à clareza do texto, à validação interna e externa. No geral, os artigos foram considerados com uma qualidade metodológica adequada (Bento et al., 2012).



Tabela 3. Pontuação da escala da qualidade metodológica dos artigos

Identificação dos itens e dos critérios/ Autor (ano)	Silva et al. (2020)	Del Rosso et al. (2016)	Lindsay et al. (2015)	Kim et al. (2011)	Neubauer, König e Wagner (2008)
1. A hipótese/objetivo/objetivo do estudo está claramente descrito?	1	1	1	1	1
2. Os principais resultados a serem medidos estão claramente descritos na seção Introdução ou Métodos?	1	1	1	1	1
3. As características dos pacientes incluídos no estudo estão claramente descritas?	1	1	1	1	1
5. As distribuições dos principais fatores de confusão em cada grupo de indivíduos a serem comparados estão claramente descritas?	0	0	0	0	0
6. As principais conclusões do estudo estão claramente descritas?	1	1	1	1	1
7. O estudo fornece estimativas da variabilidade aleatória nos dados para os principais resultados?	1	1	0	0	1
10. Foram relatados valores de probabilidade reais (por exemplo, 0,035 em vez de <0,05) para os resultados principais, exceto quando o valor de probabilidade é inferior a 0,001?	0	1	1	1	0
11. Os sujeitos foram convidados a participar do estudo representativo de toda a população da qual foram recrutados?	0	0	0	0	0
12. Os sujeitos que foram preparados para participar eram representativos de toda a população da qual foram recrutados?	0	0	0	0	0
18. Os testes estatísticos utilizados para avaliar os principais resultados foram adequados?	1	1	1	1	1
20. As principais medidas de resultados utilizadas foram precisas (válidas e confiáveis)?	1	1	1	1	1
27. O estudo teve poder suficiente para detectar um efeito clinicamente importante onde o valor de probabilidade de uma diferença ser devida ao acaso é inferior a 5%?	1	1	0	0	0
Somatório de pontos	8	9	7	7	7

Discussão

As evidências dos resultados deste estudo apontaram para o aumento de biomarcadores moleculares após a competição esportiva. Esses estudos identificaram o aumento das concentrações de biomarcadores pelo aumento dos níveis de metabólitos teciduais como o lactato e a CK; o aumento na concentração de proteínas como a enzima LDH e RNAm. Isto ocorre porque a prática esportiva, especialmente as modalidades esportivas com alta intensidade, parecem apresentar situações de estresse fisiológico ao organismo (Bernardi et al., 2023; Da Silva & Enumo, 2016).

Em relação a esses biomarcadores, o lactato é uma molécula identificada no quadro de estresse fisiológico na prática de competições esportivas. A elevação de sua concentração pode levar a redução do pH e instauração da fadiga muscular (Brooks et al., 2023) e isso é devido a impossibilidade das células musculares em oxidar todo o piruvato na fase da glicólise (Matus-Ortega et al., 2020). Vale ressaltar que, fisiologicamente, o aumento do lactato também acarreta o aumento da enzima LDH como foi identificado no estudo de Silva et al. (2020) apresentado nesta revisão.

Corroborando com esses achados, o estudo de Berton et al. (2017) observou uma resposta metabólica aguda (5, 15, 30 e 60 min) após a execução de dois exercícios resistidos verificou o aumento do lactato sanguíneo 1h antes e imediatamente antes dos exercícios demonstrando que há uma rápida alteração da concentração frente a uma prática de exercício de curta duração esses dados vêm ao encontro dos achados desta revisão que identificaram esse aumento logo após o término das competições (Silva et al., 2020; Del Rosso et al., 2016).

Outros dois biomarcadores que obtiveram aumento da concentração após a competição esportiva foram a CK e a mioglobina que também se apresentam como resposta ao estresse fisiológico e ao dano muscular e que pode ser avaliada em concentrações no sangue e na urina. Os estudos que envolveram o rugby e o triatlo observaram o aumento dessas proteínas logo após as competições (Lindsay et al., 2015; Neubauer, König & Wagner, 2008) e possivelmente tiveram origem do músculo esquelético devido ao esforço realizado nas competições.

É de referir ainda a importância da avaliação da CK que retornou a valores basais após 19 dias da competição, o que não ocorreu com a mioglobina. No entanto, os outros estudos não apresentaram análises com mais de 3h após o término da competição o que leva a falta de dados para uma avaliação comparativa.

Dessa forma, uma possível explicação em relação à concentração da mioglobina no sangue, é porque o seu aumento é mais rápido do que a concentração da CK pois sua estrutura molecular é menor o que favorece uma maior cinética de deslocamento do meio intracelular miocitário para o meio extracelular (Soler-López et al., 2024; Naughton, Miller & Slater, 2018).

Neste contexto, a revisão sistemática realizada por Bäcker et al. (2023) também avaliou a CK e a mioglobina em atletas em práticas de esforço físico esportivo e foram demonstradas altas concentrações desses biomarcadores no sangue após a prática, mas evidenciando um quadro de rabdomiólise, ou seja, degradação das células musculares esqueléticas por esforço.

Verifica-se que esse dano muscular identificado pela CK e pela mioglobina também pode apresentar aumento de RNA mensageiro e conseqüentemente de proteínas nesse tecido. Esse dano muscular atinge a integridade do músculo esquelético e tem relação com as vias da autofagia-lisossomal e da ubiquitina-proteassoma e literatura científica já apresenta que exercícios com alta duração e baixa intensidade são capazes de ativar essas vias e levar a sobrecarga metabólica muscular (Francaux & Deldicque, 2019).

Ainda sobre esse tema, no estudo de Kim et al. (2011) foi identificado a expressão gênica de várias proteínas relacionadas ao estresse fisiológico, mas sem aumentar os biomarcadores que apontam o dano muscular como proteínas ligadas a ubiquitina e a proteassoma 20S. Esses autores relatam a ativação de mecanismos compensatórios para explicar os resultados. No estudo de Belli, Crisp e Verlengia (2017) foi verificada a participação do gene ACTN3 R577X no dano muscular em atletas após uma competição de corrida de ultra-resistência. Em relação a isso, sabe-se que o exercício físico pode regular algumas das fases da expressão gênica como a transcrição e translação realizadas pelo o RNA (Beyersmann, 2000).

Embora existam poucos estudos que analisem as diferenças do estresse fisiológico em relação ao sexo, o estudo de Silva et al. (2020) verificou um maior aumento de um biomarcador de dano muscular nos homens. Esse achado pode ser explicado devido à maior massa muscular nos homens quando comparado às mulheres, sendo aproximadamente 20% a mais que as atletas femininas (Silva et al., 2020; Foschini, Prestes & Charro, 2007).

Embora nenhum dos artigos tenha atingido a pontuação máxima devido a representatividade da amostra, assim como houve ausência de variáveis que identificassem os fatores de confusão nos estudos, houve aspectos positivos como a consistência dos estudos e dos procedimentos metodológicos (Downs & Black, 1988; Bento et al., 2012). Dessa forma, esses artigos científicos apresentaram uma boa qualidade metodológica dos artigos.

Todas as informações supracitadas relatam o efeito do estresse fisiológico em resposta à prática do esporte de competição com o aumento do lactato, CK, mioglobina e algumas proteínas, apesar da limitação da quantidade de estudos encontrados e da diversidade da configuração da avaliação dos parâmetros dos biomarcadores nas práticas competitivas. A literatura científica já apresenta vários estudos em que pode haver alterações após um esforço por exercício ou prática esportiva (Loureiro et al., 2022; Senakham et al., 2020; Lippi et al., 2012), mas se faz necessário mais estudos que comparem os parâmetros dos biomarcadores de estresse fisiológico no músculo esquelético em mais de um tipo de modalidade esportiva competitiva como também avaliar a estrutura muscular mais envolvida na prática esportiva a fim de compreender melhor as vias e mecanismos de ação envolvidos no estresse fisiológico.

Conclusões

As evidências científicas encontradas neste estudo apontam que o esporte de alto rendimento competitivo pode levar ao estresse fisiológico observado pelas alterações de biomarcadores moleculares que foram identificadas nas amostras biológicas de cinco modalidades esportivas distintas. Assim, esses efeitos estão relacionados com a fadiga muscular e ao dano muscular que foram identificados logo após o término da competição e que revelam o quadro de estresse fisiológico nos atletas.



Referências

- Bäcker, H. C., Richards, J. T., Kienzle, A., Cunningham, J., & Braun, K. F. (2023). Exertional rhabdomyolysis in athletes: systematic review and current perspectives. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 33(2), 187-194. https://journals.lww.com/cjsportsmed/abstract/2023/03000/exertional_rhabdomyolysis_in_athletes__systematic.15.aspx?context=featuredarticles&collectionid=1
- Becatti, M., Mannucci, A., Barygina, V., Mascherini, G., Emmi, G., Silvestri, E., ... & Fiorillo, C. (2017). Redox status alterations during the competitive season in elite soccer players: focus on peripheral leukocyte-derived ROS. *Internal and Emergency Medicine*, 12, 777-788. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28361355/>
- Belli, T., Crisp, A. H., & Verlengia, R. (2017). Greater muscle damage in athletes with ACTN3 R577X (RS1815739) gene polymorphism after an ultra-endurance race: a pilot study. *Biology of sport*, 34(2), 105. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5424449/>
- Bento, T., Cortinhas, A., Leitão, J. C., & Mota, M. P. (2012). Use of accelerometry to measure physical activity in adults and the elderly. *Revista de Saúde Pública*, 46, 561-570. https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/rsp/v46n3/3591.pdf
- Bernardi, B. S., da Silva, G. C., Sousa, D. L., dos Santos, L. H. O., do Nascimento, L. A., & dos Santos Magraner, J. M. P. (2023). Modalidades off-road, implicações fisiológicas na saúde do atleta: uma revisão integrativa da literatura. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, 14(2), 20-30. <https://revista.unifaema.edu.br/index.php/Revista-FAEMA/article/view/1259>
- Berton, R., Conceição, M. S., Libardi, C. A., Canevarolo, R. R., Gáspari, A. F., Chacon-Mikahil, M. P. T., & Cavaglieri, C. R. (2017). Metabolic time-course response after resistance exercise: A metabolomics approach. *Journal of sports sciences*, 35(12), 1211-1218. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640414.2016.1218035>
- Beyersmann, D. (2000). Regulation of mammalian gene expression. *Exs*, 89, 11-28. <https://europepmc.org/article/med/10997280>
- Bitencourt, V., & Navarro, P. (2006). Atlas do esporte no Brasil. Lamartine Da Costa (Org.). Rio de Janeiro: Shape. <http://www.listasconfef.org.br/arquivos/atlas/atlas.pdf>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P., & Rothstein, H. R. (2021). Introduction to meta-analysis. John Wiley & Sons.
- Brooks, G. A., Osmond, A. D., Arevalo, J. A., Duong, J. J., Curl, C. C., Moreno-Santillan, D. D., & Leija, R. G. (2023). Lactate as a myokine and exerkin: drivers and signals of physiology and metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 134(3), 529-548. <https://journals.physiology.org/doi/abs/10.1152/jappphysiol.00497.2022>
- Castagna, O., Druelle, A., Michoud, G., Prevautel, T., & Lacour, J. R. (2023). Individual changes in respiratory compliance upon immersion may predict susceptibility to immersion pulmonary edema. *Sports medicine-open*, 9(1), 39. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37261587/>
- Castro-Sepúlveda, M., Ramirez-Campillo, R., Astudillo, S., Burgos, C., & Henríquez-Olguín, C. (2014). Prevalence of dehydration and fluid intake practices in elite rally dakar drivers. *Science & sports*, 29(6), 327-330. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0765159714000835>
- Cohen, J. (2013). Statistical power analysis for the behavioral sciences. Routledge.
- Costache, A. D., Leon-Constantin, M. M., Roca, M., Maștaleru, A., Anghel, R. C., Zota, I. M., ... & Mitu, F. (2022). Cardiac biomarkers in sports cardiology. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 9(12), 453. <https://www.mdpi.com/2308-3425/9/12/453>
- Da Silva, A. M. B., & Enumo, S. R. F. (2016). Estresse em atletas de modalidades coletivas: uma revisão sistemática. *Arquivos em movimento*, 12(1), 91-105. <https://revistas.ufrj.br/index.php/am/issue/view/696>
- Del Rosso, S., Abreu, L., Webb, H. E., Zouhal, H., & Boullosa, D. A. (2016). Stress markers during a rally car competition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(3), 605-614. https://journals.lww.com/nsca-jscr/FullText/2016/03000/Stress_Markers_During_a_Rally_Car_Competition.2.aspx

- Downs, S. H., & Black, N. (1998). The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *Journal of epidemiology & community health*, 52(6), 377-384. <https://jech.bmj.com/content/52/6/377.short>
- Foschini, D., Prestes, J., & Charro, M. A. (2007). Relação entre exercício físico, dano muscular e dor muscular de início tardio. *Revista brasileira de cinesantropometria e desempenho humano*, 9(1), 101-106. https://www.researchgate.net/profile/Jonato-Prestes/publication/26455321_Relationship_between_physical_exercise_muscle_damage_and_delayed-onset_muscle_soreness/links/56aff93e08ae8e37214d14cd/Relationship-between-physical-exercise-muscle-damage-and-delayed-onset-muscle-soreness.pdf
- Francaux, M., & Deldicque, L. (2019). Exercise and the control of muscle mass in human. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 471, 397-411. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00424-018-2217-x>
- Henze, A. S., Matits, L., Huth, J., & Mauch, F. (2024). Relationship Between Objective and Subjective Markers of Muscle Recovery in Professional Handball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 19(4), 393-399. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38266635/>
- Kim, H. J., Jamart, C., Deldicque, L., An, G. L., Lee, Y. H., Kim, C. K., ... & Francaux, M. (2011). ER-stress markers and ubiquitin-proteasome pathway activity in response to 200-km run. *Med Sci Sports Exerc*, 43(1), 18-25.
- Lindsay, A., Lewis, J. G., Scarrott, C., Gill, N., Gieseg, S. P., & Draper, N. (2015). Assessing the effectiveness of selected biomarkers in the acute and cumulative physiological stress response in professional rugby union through non-invasive assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 36(06), 446-454. <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0034-1398528>
- Lippi, G., Sanchis-Gomar, F., Salvagno, G. L., Aloe, R., Schena, F., & Guidi, G. C. (2012). Variation of serum and urinary neutrophil gelatinase associated lipocalin (NGAL) after strenuous physical exercise. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*, 50(9), 1585-1589. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/cclm-2011-0954/html>
- Loureiro, A. C. C., Nocrato, G. F., Correia, A. L. L., de Matos, R. S., Filho, J. C. C. N., Daher, E. D. F., ... & de Carvalho, D. P. (2022). Serum and Urinary Neutrophil Gelatinase-Associated Lipocalin Are Not Associated With Serum Redox Parameters in Amateur Athletes After an Ultramarathon. *Frontiers in Physiology*, 13, 811514. <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2022.811514/full>
- Matus-Ortega, G., Romero-Aguilar, L., Luqueno-Bocardo, O. I., Hernandez-Morfin, K., Guerra-Sanchez, G., Matus-Ortega, M., ... & Pardo-Vazquez, J. P. (2020). Las funciones metabólicas, endocrinas y reguladoras de la expresión genética del lactato. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 63(5), 7-17. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0026-17422020000500007&script=sci_arttext
- Naughton, M., Miller, J., & Slater, G. J. (2018). Impact-induced muscle damage and contact sports: etiology, effects on neuromuscular function and recovery, and the modulating effects of adaptation and recovery strategies. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(8), 962-969. <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijspp/13/8/article-p962.xml>
- Neubauer, O., König, D., & Wagner, K. H. (2008). Recovery after an Ironman triathlon: sustained inflammatory responses and muscular stress. *European journal of applied physiology*, 104, 417-426. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00421-008-0787-6>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2023). A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. *Revista pan-americana de salud publica*, 46, e112. <https://www.scielosp.org/article/rpsp/2022.v46/e112/pt/>
- Pesenti-Tofalini, F. B., Spartalis, E. R., Okino, A. M., Venturini, D., Frisseli, A., & Macedo, C. D. S. G. (2020). Effect of Immersion in Cold Water on Creatine Kinase and Myoglobin Levels in Soccer Players. *Journal of Health Sciences*, 22(2), 151-155. <https://journalhealthscience.pgsscogna.com.br/JHealthSci/article/view/7745>
- Pomfret, G., Sand, M., & May, C. (2023). Conceptualising the power of outdoor adventure activities for subjective well-being: A systematic literature review. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 42, 100641. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213078023000385>

- Powers, S. K., Deminice, R., Ozdemir, M., Yoshihara, T., Bomkamp, M. P., & Hyatt, H. (2020). Exercise-induced oxidative stress: Friend or foe?. *Journal of sport and health science*, 9(5), 415-425. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095254620300399>
- Reid, M. B. (2022). Redox implications of extreme task performance: the case in driver athletes. *Cells*, 11(5), 899. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35269521/>
- Reis, C. P., Custódia Ferreira, M. C., Renata de Almeida, F., Lúcia de Mello Santiago, M., Vinícius de Sá, M., Bevilaqua Fernandes Hosken, F., & Alvarez Pires, D. (2025). Estrés laboral y síndrome de burnout: percepción de entrenadores de la Liga de Baloncesto Femenino (LBF). *Retos*, 62, 745-755. <https://doi.org/10.47197/retos.v62.106723>
- Senakham, N., Punthipayanon, S., Senakham, T., Sriyabhaya, P., Sriramatr, S., & Kuo, C. H. (2020). Physiological stress against simulated 200-m and 500-m sprints in world-class boat paddlers. *Journal of Physiology Investigation*, 63(1), 15-20.
- Silva, R. P., Vilaça, A., Guerra, F. D., Mundim, A. V., De Agostini, G. G., De Abreu, L. C., ... & Penha-Silva, N. (2020). Sex differences in physiological stress induced by a long-lasting adventure race: a prospective observational analytical study. *Sportverletzung· Sportschaden*, 34(02), 84-95. <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/a-0928-0990>
- Soler-López, A., Moreno-Villanueva, A., Gómez-Carmona, C. D., & Pino-Ortega, J. (2024). The Role of Biomarkers in Monitoring Chronic Fatigue Among Male Professional Team Athletes: A Systematic Review. *Sensors*, 24(21), 6862. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39517758/>
- Theile, C. M., & Beall, A. L. (2024). Conducting a Systematic Review of the Literature. *Journal of Dental Hygiene*, 98(2). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38649289/>
- Turner, A. P., & Richards, H. (2015). Physiological and selective attention demands during an international rally motor sport event. *BioMed research international*, 2015(1), 638659. <https://online-library.wiley.com/doi/full/10.1155/2015/638659>
- Verdaguer, A., Parrado, E., & Parrado, A. (2021). Níveis de recuperação de estresse em atletas femininas de esqui de alto nível. *Desafios*, 42, 595-603. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/83889>

Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Ana Karênina Sá Fernandes	karensafernandes@gmail.com	Autor/a
José Carlos Gomes de Carvalho Leitão	jcleitao@utad.pt	Autor/a
António José Abelha Cortinhas	acortinhas1@hotmail.com	Autor/a
Ariclécio Cunha de Oliveira	ariclecio.oliveira@uece.br	Autor/a
Adriano César Carneiro Loureiro	adriano.loureiro@uece.br	Autor/a
Leslie John Alfred Davis	lesthebuilder@gmail.com	Traductor/a
Silvia Liana de Sá Cardoso Davis	silvia.sacardoso@gmail.com	Traductor/a