

## Marcadores bioquímicos relacionados à performance em mulheres atletas

### Biochemical markers related to performance in women athletes

Antônio Carlos Leal Cortez<sup>1,2</sup> , Alexandrino Barbosa de Sousa Neto<sup>1</sup> , Antônio Carlos Gomes<sup>3</sup> 

1. Centro Universitário Santo Agostinho (UNIFSA), Teresina, PI, Brasil

2. Laboratório de Biociências da Motricidade Humana – LABIMH-UNIRIO, RJ, Brasil

3. Centro Universitário Tereza D'ávila (UNIFATEA), Lorena, São Paulo, Brasil

#### RESUMO

**Introdução:** É notório que existem diferenças em relação à composição biológica entre homens e mulheres, principalmente quando nos referimos ao desempenho físico, no qual são observadas as características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas distintas entre os sexos, ainda mais, quando se trata da utilização dos marcadores bioquímicos relacionados à performance das mulheres atletas. **Objetivo:** Elucidar os principais marcadores bioquímicos que estão relacionados à performance em mulheres atletas. **Métodos:** O percurso teórico reflexivo apresentado neste ensaio teórico em saúde, aqui delineado sobre os marcadores bioquímicos relacionados à performance feminina, pauta-se em revisão de literatura científica, bem como em documentos nacionais e internacionais que abordaram a temática em questão. **Resultados:** As evidências científicas apresentadas nos estudos selecionados nos permitiram apresentar dados referentes aos efeitos anátomo-fisiológicos do treinamento em mulheres atletas e sobre os principais marcadores bioquímicos: Creatinoquinase (CK), Proteína C Reativa, Lactato Desidrogenase (LDH), Eritrócitos, Hematócritos, Hemoglobina, Testosterona, Estrógeno, Progesterona, que sofrem ação direta de acordo com o volume x intensidade de treinamento, bem como com o ciclo menstrual da atleta. **Conclusão:** As evidências científicas apresentadas no decorrer do estudo elucidaram as principais diferenças anátomo-fisiológicas e bioquímicas entre homens e mulheres e como elas interferem diretamente, desde o processo de treinamento até a performance, não havendo consenso sobre parâmetros fisiológicos e de marcadores bioquímicos específicos para mulheres atletas.

**Palavras-chave:** mulher atleta; biomarcadores; desempenho atlético.

#### ABSTRACT

**Introduction:** It is notorious that there are differences in relation to the biological composition between men and women, especially when we refer to physical performance, in which the morphological, physiological and biochemical characteristics are observed distinct between the sexes, even more, when it comes to the use of markers biochemicals related to the performance of female athletes. **Objective:** To elucidate the main biochemical markers that are related to performance in female athletes. **Methods:** The reflective theoretical path presented in this theoretical essay on health, outlined here on biochemical markers related to female performance, is based on a scientific literature review, as well as on national and international documents that addressed the issue in question. **Results:** The scientific evidence presented in the selected studies allowed us to present data regarding the anatomic-physiological effects of training on female athletes and on the main biochemical markers: Creatinokinase (CK), C-Reactive Protein, Lactate Dehydrogenase (LDH), Erythrocytes, Hematocrits, Hemoglobin, Testosterone, Estrogen, Progesterone, which suffer direct action according to the volume x training intensity, as well as the athlete's menstrual cycle. **Conclusion:** The scientific evidence presented during the study elucidated the main anatomic-physiological and biochemical differences between men and women and how they directly interfere, from the training process to performance, with no consensus on physiological parameters and specific biochemical markers for female athletes.

**Keywords:** female athlete; biomarkers; athletic performance.

## Introdução

A partir do momento em que os órgãos internacionais de esporte permitiram a participação de atletas femininas em competições esportivas oficiais como os jogos olímpicos de 1924 em Paris/França, as mulheres começaram a participar mais ativamente dentro do cenário esportivo mundial em diferentes modalidades esportivas. Durante todos esses anos até a atualidade, a mulher vem ocupando cada vez mais espaço dentro dos esportes, mesmo levando-se em consideração sua anatomofisiologia e de que forma seu organismo e suas reações bioquímicas são expressas perante as adaptações decorrentes do treinamento desportivo [1].

É notório que existem diferenças em relação à composição biológica entre homens e mulheres, principalmente quando nos referimos ao desempenho físico, no qual são observadas as características fisiológicas e morfológicas de homens e das mulheres. As diferentes respostas neuromusculares e metabólicas entre homens e mulheres refletem da ação de hormônios característicos: sendo testosterona para os homens e o estrogênio para as mulheres [2]. A ação dessas duas substâncias influencia diretamente na composição celular, com a testosterona estando diretamente ligada a deposição de proteína nos músculos, ossos, pele e em outras partes do corpo. Já o estrogênio está ligado ao aumento da deposição de gordura nas mamas, nos quadris e no tecido subcutâneo, o que explica a maior quantidade de gordura no sexo feminino [3].

De acordo com Fortes *et al.* [4], as mulheres apresentam menor massa corporal magra, menos glândulas sudoríparas, coração menor, menor volume sanguíneo e menor concentração de hemoglobina e hematócritos, sendo esses fatores influenciadores do desempenho físico. Em relação à função pulmonar, também há diferenças marcantes entre os sexos, com os homens possuindo maior diâmetro das vias aéreas, maiores volumes pulmonares e superfícies de difusão em comparação com as mulheres na fase adulta, o que confere maior eficiência na realização do exercício. Essas diferenças sexuais na capacidade de difusão pulmonar estão ligadas ao menor número total de alvéolos (menor área de superfície) e menor diâmetro relativo das vias aéreas nas mulheres [5].

É importante ressaltar que as adaptações físicas e fisiológicas são causadas pelo treinamento físico, dentro de aspectos dos princípios do treinamento desportivo, nesse caso o organismo se adapta aos estímulos, alterando alguns parâmetros (físicos, fisiológicos, bioquímicos e biomecânicos) como hipertrofia muscular, ganho de massa magra, aumento de potência (principalmente aeróbica), aumento da densidade mineral óssea, aumento do número e tamanho das mitocôndrias, aumento do armazenamento de glicogênio, aumento das miofibrilas, aumento dos filamentos de actina-miosina, conteúdo sarcoplasmático, etc. [6].

A intensidade e o volume das sessões de treinamento, bem como o tempo de recuperação entre as sessões, têm sido uma grande preocupação para treinadores, fisiologistas e cientistas do esporte, pois são fatores intervenientes no treinamento

esportivo voltado a performance. Existe uma linha tênue entre eles, onde há consequências positivas e negativas relacionadas ao estresse da carga de treinamento, principalmente para atletas que estão sempre nos limites físicos de seus corpos. Portanto, podemos descrever esses fatores como *overreaching* e *overtraining*, que é o processo que apresenta uma queda de desempenho físico de um atleta. Na recuperação do *overreaching* pode-se levar até duas semanas e na recuperação do *overtraining* pode-se passar de duas semanas e levar meses [7,8].

O *overtraining* é causado pelo desequilíbrio entre o estresse do treinamento e a recuperação. Os atletas sentem fadiga mental e queda no desempenho. O *overtraining* tem um grande impacto nos sistemas fisiológico e bioquímico. Pode-se citar como consequência desse desequilíbrio, nos sistemas fisiológico e bioquímico, a diminuição na força muscular, coordenação, aumento da percepção de esforço e recuperação, alterações no perfil de lactato, sono, anorexia, diminuição também do glicogênio muscular, conteúdo mineral ósseo, testosterona e relação testosterona/cortisol acima de 30%, também como aumento do cortisol e da ureia [1,9-11].

Marcadores bioquímicos podem ser considerados parâmetros válidos para avaliar a ocorrência de *overtraining*. Essa síndrome é acompanhada por uma resposta marcante a biomarcadores de estresse oxidativo que são alterados durante o treinamento de alta intensidade e retornam aos níveis normais quando a carga é reduzida, sugerindo uma relação dose-resposta. Vários métodos diretos e indiretos têm sido usados para analisar o dano muscular do exercício físico. Métodos indiretos como mioglobina, lactato desidrogenase (LDH), fragmento de cadeia pesada de miosina e CK são mais comumente usados [12].

Estas moléculas podem ser utilizadas como marcadores do dano no tecido muscular esquelético devido ao fato de serem citoplasmáticas e assim, impermeáveis na membrana plasmática. Dessa forma, o aumento nos níveis dessas moléculas no líquido extracelular pode indicar uma alteração da permeabilidade da membrana ou o rompimento da mesma, casando dessa forma, perda de performance [13]. Dessa forma, o estudo pretende, através de um ensaio teórico em saúde, descrever os principais marcadores bioquímicos que estão relacionados à performance em mulheres atletas.

## Métodos

### *Desenho metodológico*

O estudo em questão é um ensaio teórico em saúde, com abordagem qualitativa, objetivando trazer uma discussão, um novo olhar e insights sobre questões de interesse atual [14].

### *Cuidado ético*

O estudo foi conduzido de acordo com as diretrizes do *Committee on Publication Ethics* (COPE), que contém informações para autores e editores sobre ética em pesquisa [15].

### *Formulação da questão de pesquisa*

Para orientar a recuperação da informação, a questão de pesquisa foi estruturada a fim de garantir não só a validade interna, mas também o poder de extrapolação dos resultados do teste teórico. As evidências científicas de segurança e eficácia são aplicáveis entre populações em diferentes regiões do mundo e pela seleção dos estudos de forma abrangente e exaustiva, por meio da adoção de critérios e avaliação da qualidade e validade dos estudos recuperados nas buscas [16]. Dessa forma o referido estudo possui como questão norteadora: Quais os principais marcadores bioquímicos que estão relacionados à performance em mulheres atletas?

### *Definição dos critérios de elegibilidade*

Os critérios de inclusão e exclusão para seleção de documentos estão detalhados no quadro 1.

**Quadro 1** - Descrição dos critérios de inclusão e exclusão para seleção dos estudos

<b>Inclusão</b>	Foram incluídos estudos em português, espanhol e inglês do tipo: ensaios clínicos randomizados, estudos clínicos, artigos de revisão sistemática e demais obras de relevância científica que avaliaram evidências científicas relacionadas aos marcadores bioquímicos que estão relacionados à performance em mulheres atletas.
<b>Exclusão</b>	Foram excluídas publicações que não tratassem do objeto de pesquisa em questão, estudos com animais, estudos que não tivessem resultados publicados, bem como estudos que não mencionassem o conflito de interesses.

Fonte: autores 2023

### *Seleção de estudos*

Os termos e entretermos foram definidos a partir de consultas, pelo índice trocado, no DeCS, de onde foram extraídos os descritores em português e seus respectivos MeSH, submetidos a posterior pesquisa para identificação de seus entretermos, nas bases de dados Pubmed, Scielo, Web of Science e Scopus. A busca pela definição desses termos e entretermos foi realizada em janeiro de 2023.

Foram elencadas estratégias para orientar a identificação e triagem dos estudos. Primeiramente, ficou decidido que o período da pesquisa seria livre para abranger o maior volume de informações. Em segundo lugar, a busca eletrônica foi realizada nas seguintes bases de dados: Pubmed, Scielo, Web of Science e Scopus. Essa escolha foi feita para garantir maior abrangência de artigos revisados por pares e por contemplarem uma variedade de periódicos com fatores de impacto mais elevados [17].

As palavras-chave e caracteres booleanos escolhidos foram “mulher atleta”, “marcadores bioquímicos”, “performance”, utilizando os caracteres booleanos AND/OR, bem como seus sinônimos, tendo como escopo de busca os respectivos termos no título, resumo e palavras de artigos publicados em revistas. Essa escolha se deve a uma avaliação anterior na literatura, na qual foi verificada a correlação entre eles e a frequência com que são utilizados em estudos.

## Resultados e discussão

Portanto, os resultados apresentados pelo ensaio teórico em questão propõem uma discussão baseada em evidências científicas, visando elucidar os efeitos anatomofisiológicos do treinamento e os principais parâmetros bioquímicos para mulheres atletas e, dessa forma, servir de base para futuras pesquisas sobre o tema, visto que ainda existem lacunas clínicas sobre os principais marcadores bioquímicos que estão relacionados à performance em mulheres atletas.

Assim, optamos por seccionar a discussão do ensaio teórico abordando os seguintes temas: efeitos anatomofisiológicos do treinamento em mulheres atletas e os marcadores bioquímicos em mulheres atletas.

### *Efeitos anatomofisiológicos do treinamento em mulheres atletas*

Em relação a diferenças estruturais e anatômicas, as mulheres são 10 a 15 centímetros menores que os homens, em média, e de 10 a 20 kg mais leves, já em relação ao percentual de gordura, a mulher apresenta 10% a mais que o homem. A mulher dispõe de uma menor massa muscular e, conseqüentemente, apresenta uma menor força máxima, apresentando menor densidade dos tecidos, nos ligamentos e os músculos, sendo os mesmos mais elásticos e flexíveis [18].

De acordo com as dimensões cardiovasculares, as mulheres têm coração menor, menor volume sanguíneo e menores concentrações de hemoglobina. Como seu coração é menor, o volume diastólico final, o volume sistólico e o débito cardíaco são menores. Em relação ao sistema respiratório, as mulheres têm cavidades nasais, traqueia, brônquios e pulmões menores do que os homens e volumes capilares menores, resultando em menor ventilação pulmonar [19].

Durante exercícios aeróbicos, observa-se menor consumo máximo de oxigênio em mulheres em comparação com os homens, e o principal mecanismo hemodinâmico envolvido é o menor débito cardíaco decorrente de menor volume sistólico, característica que, por sua vez, é conseqüente a menor massa e volume ventriculares em mulheres, além disso, a capacidade de transporte de oxigênio (devido a um nível médio de hemoglobina inferior decorrente das menstruações) é menor nas mulheres [20].

Batlouni *et al.* [21] destacaram que, durante a transição do repouso para o exercício, o volume sistólico diminui mais nas mulheres do que nos homens, o que explica por que o débito cardíaco, que é um produto do volume sistólico pela frequência cardíaca, está diretamente relacionado com o  $VO_2$  máximo, logo o consumo máximo de oxigênio é menor no sexo feminino. Embora a capacidade de adaptação ao treinamento seja semelhante, esses fatores se combinam para fazer com que o desempenho atlético das mulheres seja de 6% a 15% inferior ao dos homens.

Em relação à flexibilidade, os ligamentos e músculos das mulheres são mais elásticos e flexíveis, e através do treinamento de força, a força das mulheres pode ser aumentada em cerca de 20% a 40%. Por causa dos efeitos antioxidantes do estrogênio,

as mulheres têm menos massa muscular e menos testosterona, o que é muito importante na hipertrofia muscular, portanto há menos dano celular, mas em termos de composição de fibras musculares são semelhantes e, nas mulheres, o volume de cada fibra, tipo I ou tipo II, é maior que nos homens. Essas características dão aos homens maior força e resistência muscular do que as mulheres [22].

A testosterona é considerada um hormônio que tem relação com a síntese e diminuição da degradação de proteína muscular. Trata-se de um hormônio predominantemente masculino, de função anabólica e androgênica, produzido pelas células de Leydig nos testículos e também uma pequena quantidade é secretada pelas glândulas suprarrenais [23]. Em mulheres, os ovários e adrenais são os responsáveis pela produção da testosterona. A testosterona é mais produzida e liberada por indivíduos do sexo masculino, o que faz jus a sua função, maior massa muscular e características como mais pelos, voz mais grave, produção de espermatozoides, etc. A testosterona também está presente no sistema feminino em menores quantidades, e depende da biossíntese de glicocorticoide, na qual o córtex adrenal secreta esteroides androgênicos que podem ser convertidos em testosterona [24].

O ciclo menstrual influencia na performance da mulher. Na fase lútea, a oxidação de gordura é maior e na fase folicular a oxidação de carboidratos é maior. As catecolaminas têm mais repostas significativas na fase folicular [25]. A mulher utiliza mais a gordura como fonte de substrato, portanto a glicemia durante o exercício é mais alta que o do homem, e o consumo de carboidratos é menor na mulher [19].

O GH, também conhecido como hormônio do crescimento ou somatotropina, é o hormônio mais abundante secretado pela hipófise anterior, e existem dois genes principais envolvidos na síntese do hormônio do crescimento: o gene GH normal expresso na hipófise e o gene variante GH (GH-V ou GH-2) expresso na placenta, detectável na circulação apenas durante a gravidez ou lactação, essencial para uma série de processos metabólicos e crescimento de vários tecidos, incluindo músculo [26,27].

No decorrer do desenvolvimento humano, a secreção do GH em ambos os sexos alcança concentrações máximas nos períodos de crescimento, principalmente na adolescência, logo após isso, tanto a frequência como a intensidade da secreção se reduzem, como, por exemplo, um indivíduo com cerca de 20 anos que secreta por dia mais que o dobro da quantidade de GH que pessoas idosas. Ressalta-se que alguns diversos fatores podem influenciar a secreção do GH, incluindo o estado nutricional, a quantidade de sono e de gordura corporal, o estresse e a prática da atividade física ou nível de treinamento, entre outros [28-31].

Ao analisarmos o mecanismo de ação do GH em nosso organismo, podemos descrevê-lo como um efeito anabólico relacionado a estimular o crescimento e o metabolismo dos tecidos, alterando o fluxo, a oxidação e o metabolismo de quase todos os nutrientes da circulação, que podem ser divididos em: efeitos diretos e efeitos indiretos. Os efeitos diretos são mediados por cascatas de sinalização intracelular desencadeadas pela ligação do GH aos seus receptores na membrana plasmática, e os efeitos indiretos são mediados principalmente pela regulação da síntese de crescimento estimulado pelo exercício físico [27].

Muitos dos efeitos promovidos pela atividade física são afetados pelo GH, incluindo a redução do catabolismo proteico e a oxidação da glicose, enquanto aumenta a mobilização de mais AGLs (ácidos graxos livres) no tecido adiposo para produção de energia. Esses fatos sugerem que o GH é um importante hormônio liberado em diversas situações estressantes, porém, estudos têm demonstrado que o GH também possui efeitos anabólicos, incluindo promover o balanço proteico positivo e aumentar a massa e liberação de IGF-1, envolvidos na estimulação do processo de hipertrofia muscular [28,32,33].

#### Marcadores bioquímicos em mulheres atletas

Os marcadores bioquímicos podem ser considerados parâmetros significativos na avaliação da ocorrência do *overtraining*. Essa síndrome é acompanhada por uma resposta significativa de biomarcadores do estresse oxidativo, os quais são alterados durante períodos de treinamento intenso e retornam aos níveis normais quando a carga diminui, indicando uma relação dose-resposta, ou seja, volume x intensidade de treinamento. Muitos métodos diretos e indiretos têm sido utilizados na análise do dano muscular decorrente do exercício físico [12,34,35].

Métodos indiretos como mioglobina, lactato desidrogenase (LDH), fragmento de cadeia pesada de miosina e CK são mais comumente usados. Essas moléculas podem ser usadas como marcadores de lesão do tecido muscular esquelético porque são citoplasmáticas e, portanto, não podem penetrar na membrana plasmática. Portanto, níveis aumentados dessas moléculas no líquido extracelular podem indicar alterações na permeabilidade da membrana ou ruptura da membrana [13,36].

A CK desempenha um papel fundamental na formação de energia das células musculares, pois é uma enzima dentro do músculo responsável pela manutenção dos níveis adequados de ATP durante as contrações musculares. Sabe-se que o uso desse marcador para controlar a carga de treinamento e o diagnóstico de *overtraining* ainda está em discussão, e que as alterações na atividade da CK, após o exercício, variam com as diferentes condições de exercício, a avaliação clínica do dano muscular induzido pelo exercício é muito difícil. Mas a CK pode ser um marcador de fadiga e sobrecarga em não atletas [11]

O exercício físico prolongado e vigoroso aumenta os níveis de CK, e a magnitude desse aumento está diretamente relacionada à intensidade e duração da atividade. Acredita-se que os efeitos do exercício contínuo prolongado podem desencadear mecanismos que induzam o extravasamento de CK para o sangue, pois as medidas de CK parecem ser parâmetros sensíveis e confiáveis para avaliar o aumento do estresse muscular ou tolerância ao exercício em indivíduos. O valor de CK total acima de 500 UI/L tem sido utilizado como parâmetro para indicar dano ao tecido muscular [37,38].

Em atletas, o estudo de CK, em repouso e após exercício, pode ser uma ferramenta importante para técnicos e médicos. Atletas têm níveis maiores de CK em repouso quando comparados a indivíduos destreinados, provavelmente devido a maior massa muscular e síntese diária. No entanto, após exercício, a atividade sérica de CK

depende do nível de formação do atleta, embora os atletas apresentem maior dor muscular quando comparados com indivíduos destreinados, a atividade sérica de pico é menor [39].

A concentração sérica de CK apresenta picos de 1 a 4 dias após o exercício e permanece elevada por vários dias. Assim, os atletas que participam do treinamento diário possuem valores de repouso mais elevados do que os não atletas, embora esta resposta ao treinamento seja atenuada pelo chamado efeito do ataque repetido, ou seja, a repetição de um exercício após vários dias ou mesmo semanas causa menos danos às fibras musculares do que aquela causada pelo exercício anterior [40].

Para atletas, o intervalo de referência para CK é diferente para cada gênero, sendo o limite de referência superior para os homens mais do que o dobro do que para as mulheres, além disso, está em concordância com a existência de intervalos de referência para a CK específicos a cada sexo na população em geral. Essas diferenças podem ser explicadas pela maior quantidade de CK no músculo masculino do que no músculo feminino, embora outros fatores, como a permeabilidade da membrana muscular, a taxa de depuração de CK e a atividade linfática, não possam ser excluídos [40,41].

De acordo com Hecksteden *et al.* [42], a CK é um importante marcador relacionado a recuperação e desgaste muscular, sendo essencial nos ajustes da carga de treinamento físico diário. Neste caso, devemos levar em consideração ao avaliarmos esse marcador bioquímico, as diferenças individuais de cada atleta em relação ao grupo, realizando Intervalos de referência individualizados visando otimizar o monitoramento da recuperação muscular.

Além da CK, temos também a LDH (lactato Desidrogenase), uma enzima presente nas células que é responsável pelo metabolismo da glicose no organismo. Essa enzima pode ser encontrada em vários órgãos e tecidos, portanto, sua elevação não é muito específica e requer exames adicionais para fazer um diagnóstico e, geralmente, sua elevação indica lesão de órgão ou tecido. Isso ocorre porque, como resultado do dano celular, a LDH intracelular é liberada e circula no sangue, e sua concentração é avaliada por exames de sangue [43]. Vale a pena ressaltar que vários fatores influenciam o aumento da CK e o LDH após o exercício físico, como idade, sexo, tipo de exercício realizado, condicionamento físico e o volume x intensidade do exercício realizado [44,45]

Outro marcador bioquímico importante no processo de avaliação do desgaste muscular é a proteína C reativa (PCR), que é uma proteína sintetizada pelo fígado, onde seus níveis aumentam em resposta à inflamação, portanto trata-se de uma proteína reativa de fase aguda do treinamento, tendo como indutor principal a interleucina-6 (IL-6), que influencia o processo de transcrição da proteína durante a fase aguda de um processo inflamatório ou infeccioso. Um papel importante desempenhado pela PCR é o de reconhecimento de patógenos ou células danificadas [46].

Em condições agudas ao exercício físico, as concentrações de PCR aumentam durante as primeiras 6 a 8 horas após inflamação ou lesão tecidual, podendo atingir



até milhares de vezes acima do nível normal em aproximadamente 48 horas. A PCR é um marcador clínico de grande valia devido a sua estabilidade analítica, além de mostrar resultados reprodutíveis, alta sensibilidade e boa precisão [47,48].

Juntamente com os marcadores citados anteriormente, temos a análise da série vermelha, que contemplam a quantificação de eritrócitos (Hemácias), hematócrito, dosagem de hemoglobina e índices hematimétricos (VCM, HCM, CHCM, RDW), bem como o exame microscópico da morfologia eritrocitária. Esses conjuntos de análises fornecem subsídios para o diagnóstico das principais causas de anemias [49].

Vale a pena ressaltar que os marcadores bioquímicos possuem diferenças em suas classificações tendo em vista o sexo, uma vez que existem diferenças anatomofisiológicas que fazem com que as concentrações desses marcadores variem bastante, levando-se em consideração aspectos como ciclo menstrual e composição corporal [50]. No quadro 2, apresentamos os principais marcadores bioquímicos relacionados a performance de mulheres atletas.

**Quadro 2 - Principais marcadores bioquímicos relacionados à performance de mulheres atletas**

Marcador bioquímico	Valores de referência
<b>Creatinoquinase (CK)</b>	29.00 U/L e 168.00 U/L
<b>Proteína C Reativa</b>	<b>Muito alto risco:</b> acima de 10 mg/L ou 1 mg/dL <b>Alto risco:</b> 2,0 mg/L ou 0,2 mg/dL <b>Médio risco:</b> entre 1,0 e 2,0 mg/L ou 0,1 e 0,2 mg/dL <b>Baixo risco:</b> menor que 1,0 mg/L ou 0,1 mg/dL
<b>Lactato Desidrogenase (LDH)</b>	230,0 a 460,0 U/L
<b>Eritrócitos</b>	3,9 a 5,3 M/mm <sup>3</sup>
<b>Hematócitos</b>	35 e 45%
<b>Hemoglobina</b>	<b>Estado não gravídico:</b> 12 a 16 g/dL <b>Grávidas:</b> 11 g/dL
<b>Testosterona</b>	<b>Idade entre 16 e 21 anos:</b> 17,55 – 50,41 ng/dL <b>Acima de 21 anos:</b> 12,09 – 59,46 ng/dL <b>Durante a menopausa:</b> até 48,93 ng/dL
<b>Estrógeno</b>	<b>Fase folicular:</b> 50,0 a 100,0 pg/mL <b>Fase lutea:</b> 100,0 a 300,0 pg/mL <b>Menopausa:</b> 10,0 a 60,0 pg/mL
<b>Progesterona</b>	<b>Início da menstruação:</b> 1 ng/mL ou inferior <b>Antes da ovulação:</b> inferior a 10 ng/mL <b>7 a 10 dias depois da ovulação:</b> superior a 10 ng/mL <b>No meio do ciclo menstrual (ovulação):</b> 5 a 20 ng/mL <b>Primeiro trimestre de gravidez:</b> 11 a 90 ng/mL <b>Segundo trimestre de gravidez:</b> 25 a 90 ng/mL <b>Terceiro trimestre de gravidez:</b> 42 a 48 ng/mL

Fonte: Cortez, Sousa Neto e Gomes (2023)

## Conclusão

Com o aumento no número de mulheres participando de diferentes modalidades no esporte e com o avanço da ciência do esporte, podemos então analisar, com mais parâmetros biológicos, as diferenças fisiológicas e bioquímicas entre homens e mulheres atletas e como elas interferem na performance. Essas diferenças, apresentadas no estudo de forma geral, afetam sim a performance feminina em relação a masculina. Fatores como um coração menor, volume de ejeção menor, número menor de alvéolos pulmonares, bem como uma menor produção de testosterona - hormônio diretamente relacionado ao ganho de massa magra, variável bastante importante dentro da performance-, além de outras alterações hormonais causadas pelo ciclo menstrual, dentre outras, fazem com que as mulheres tenham respostas fisiológicas e bioquímicas diferentes.

As evidências científicas apresentadas no decorrer do estudo descreveram as principais diferenças anátomo-fisiológicas e bioquímicas entre homens e mulheres e como elas interferem diretamente, desde o processo de desempenho no sistema de treinamento até a performance. Sendo assim, a aplicação dos marcadores bioquímicos mostra-se de grande importância durante todo o processo, ressaltando que os mesmos devem ser utilizados conjuntamente e durante todas as fases do treinamento, para serem mais fidedignos em seus resultados, além de criarem parâmetros bioquímicos, visando evitar o *overtraining* e perda de performance.

Outro dado importante é que não há consenso sobre parâmetros fisiológicos e de marcadores bioquímicos específicos para mulheres atletas, sendo essas variáveis de suma importância para os fisiologistas e técnicos esportivos. Dessa forma, faz-se necessário o acompanhamento dos fisiologistas do exercício durante todo o processo de treinamento, criando um sistema de informações voltados a avaliação de cada atleta separadamente, respeitando suas individualidades biológicas, visando criar seus parâmetros fisiológicos e bioquímicos específicos, evitando o *overtraining* e perda de performance. Assim concluímos a necessidade do desenvolvimento de pesquisas experimentais que abordem a temática em questão, para que se estabeleçam parâmetros fisiológicos e bioquímicos voltados a mulher atleta, visando o monitoramento da ação do treino, principalmente relacionados aos marcadores bioquímicos que revelam diretamente os seus efeitos no organismo feminino referentes as ações do treinamento e das competições das quais participam.

### Conflitos de interesse

Não há conflitos de interesse.

### Fonte de financiamento

Não há fonte de financiamento.

### Contribuição dos autores

**Concepção e desenho da pesquisa:** Cortez ACL, Sousa Neto AB, Gomes AC; **Análise e interpretação dos dados:** Cortez ACL, Sousa Neto AB; **Análise estatística:** Cortez ACL, Sousa Neto AB; **Redação do manuscrito:** Cortez ACL, Sousa Neto AB, Gomes AC; **Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante:** Cortez ACL, Gomes AC.

## Referências

1. Brandão MRF, Casal H. Mulheres-atletas e o esporte de rendimento: a questão de gênero. Mulher e esporte: mitos e verdades. Barueri: Phorte; 2003. p.155-163.
2. Smith LL. *Overtraining*, excessive exercise, and altered immunity. *Sports Med.* 2003;33(5):347-364. doi: 10.2165/00007256-200333050-00002
3. Pardini DP. Alterações hormonais da mulher atleta. *Arq Bras Endocrinol.* 2001;45(4):343-51. doi: 10.1590/S0004-27302001000400006
4. Fortes MSR, Marson RA, Martinez EC. Comparação de desempenho físico entre homens e mulheres: revisão de literatura. *Revista Mineira de Educação Física.* [Internet]. 2015 [citado 2022 mar 15];23(2):54-69. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/revminef/article/view/9964>
5. Harms CA. Does gender affect pulmonary function and exercise capacity? *Respir Physiol Neurobiol.* 2006;151(2-3):124-31. doi: 10.1016/j.resp.2005.10.010
6. Raso V, Greve JMD, Polito MD. in Pollock: *Fisiologia clínica do exercício.* São Paulo: Manole; 2013.
7. Borin JP, Gomes AC, Santos LG. Preparação desportiva: aspectos do controle da carga de treinamento nos jogos coletivos. *Journal of Physical Education.* 2007;18(1):97-105. doi:10.4025/reveducfisv-18n1p97-105
8. Gleeson M. Biochemical and immunological markers of *overtraining*. *J Sports Sci Med.* [Internet] 2002 [citado 2023 jul 21];1(2):31-41. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3963240/>
9. Baumert M, Brechtel L, Lock J, Hermsdorf M, Wolff R, Baier V, Voss A. Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clin J Sports Med.* 2006;16(5):412-7. doi: 10.1097/01.jsm.0000244610.34594.07
10. Purge P, Jürimäe J, Jürimäe T. Hormonal and psychological adaptation in elite male rowers during prolonged training. *J Sports Sci.* 2006;24(10):1075-82. doi: 10.1080/02640410500432516
11. Hartmann U, Mester J. Training and *overtraining* markers in selected sport events. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(1):209-215. doi:10.1097/00005768-200001000-00031
12. Foschini D, Prestes J, Charro MA. Relação entre exercício físico, dano muscular e dor muscular de início tardio. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Humano.* [Internet]2007;[citado 2023 jul 21]9(1):101-6. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/rbcdh/article/view/4038>
13. Totsuka M, Nakaji S, Suzuki K. Break point of serum creatine kinase release after endurance exercise. *J Appl Physiol.* 2022;93(4):1280-6. doi:10.1152/jappphysiol.01270.2001
14. Magna CO. Gênero Textual Ensaio Acadêmico - Suas especificidades e regularidades [Internet]. 2014. [citado 2022 mar 12]. Disponível em: <https://trilhante.com.br/trilha/fdrp/sobre/ensaio-academico>
15. COPE. *Committee on Publication Ethics* [Internet]. 2023. [citado 2022 mar 12]. Disponível em: <https://publicationethics.org/>
16. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados. (Série A: Normas e Manuais Técnicos). Brasília, DF: Ministério da Saúde; 2012.
17. Prayag G, Ozanne LK. A systematic review of peer-to-peer (P2P) accommodation sharing research from 2010 to 2016: progress and prospects from the multi-level perspective. *Journal of Hospitality Marketing & Management.* 2018;27(6):649-78. doi: 10.1080/19368623.2018.1429977
18. Weineck J. *Biologia do esporte.* 7ª ed. Barueri: Manole; 2005. 768p.
19. Robergs RA, Roberts SO. Adaptações neuroendócrinas ao exercício. In: Robergs RA, Roberts SO. *Princípios fundamentais de fisiologia do exercício: para aptidão, desempenho e saúde.* São Paulo: Phorte; 2002. p.184-205.
20. Leitão MB, Lazzoli JK, Oliveira MABD, Nóbrega ACLD, Silveira GGD, Carvalho TD, et al. Posicionamento oficial da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte: atividade física e saúde na mulher. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* 2000;6:215-220.
21. Batlouni M, Schwartz HJ, Ghorayeb N. Eletrocardiograma. In: Ghorayeb N, Dioguardi GS, eds. *Tratado de cardiologia do exercício e esporte.* São Paulo: Atheneu; 2007.
22. Costill DL, Wilmore JH. *Fisiologia do Esporte e do Exercício.* 2ª ed. São Paulo: Manole; 2001. 728p.
23. Araújo MR. A influência do treinamento de força e do treinamento aeróbio sobre as concentrações hormonais de testosterona e cortisol. *Motricidade* 2008;4(2):67-75. doi:10.6063/motricidade.4(2).513
24. Gerlinger-Romero F, Caperuto EC, Maia AF, Guimarães-Ferreira L. Bases moleculares das ações da testosterona, hormônio do crescimento e igf-1 sobre a hipertrofia muscular esquelética e respostas ao treinamento de força. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte* [Internet]. 2014;12(2). [citado 2023 Fev 12]. Disponível: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/remef/article/view/2100>

25. Åstrand P, Rodahl K, Dahl HÅ, Strømme SB. Tratado de fisiologia do trabalho. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2006. 560p.
26. Baumann G. Growth hormone-binding proteins: state of the art. *J. Endocrinol* 1994;141:1-6. doi:10.1677/joe.0.1410001
27. Strobl JS, Thomas MJ. Human growth hormone. *Pharmacol Rev.* [Internet]. 1994;46:1-34. [citado 2023 Fev 12]. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8190748/>
28. Adams GR. Insulin-like growth factor in muscle growth and potential abuse by athletes. *Br J Sports Med.* 2000;34:412-3. doi: 10.1136/bjism.34.6.412
29. Rosen CJ. Growth hormone and aging. *Endocrine.* 2000;12:197-201. doi: 10.1385/ENDO:12:2:197
30. Rennie MJ. Claims for the anabolic effects of growth hormone: a case of the Emperor's new clothes? *Br J Sports Med.* 2003;37:100-5. doi: 10.1136/bjism.37.2.100
31. Gomes MR, Pires I, Castro IA, Tirapegui J. Effect of moderate physical exercise on plasma and tissue levels of insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in adult rats. *Nutr Res.* 2004;24:555-64. doi: 10.1016/j.nutres.2004.04.003
32. Lange KHW. Fat metabolism in exercise - with special reference to training and growth hormone administration. *Scand J Med Sci Sports.* 2004;14:74-99. doi: 10.1111/j.1600-0838.2004.381.x
33. Machida S, Booth FW. Insulin-like growth factor 1 and muscle growth: implications for satellite cell proliferation. *Proc Nutr Soc.* 2004;63:337-40. doi: 10.1079/PNS2004354
34. Petibois C, Cazorla G, Déleris G. The biological and metabolic adaptations to 12 months training in elite rowers. *Int J Sports Med.* 2003;24(1):36-42. doi: 10.1055/s-2003-37194
35. Margonis K, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Douroudos I, Chatzinikolaou A, *et al.* Oxidative stress biomarkers responses to physical overtraining: implications for diagnosis. *Free Radic Biol Med.* 2007;43(6):901-7. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2007.05.022
36. Rogero MM, Mendes RR, Tirapegui J. Aspectos neuroendócrinos e nutricionais em atletas com overtraining. *Arq Bras Endocrinol Metab.* 2005;49(3):359-68. <https://doi.org/10.1590/S0004-27302005000300006>
37. Varlet-Marie E, Gaudard A, Mercier J, Bressolle F, Brun J-F. In the feeling of heavy legs in overtrained athletes related to impaired hemorheology? *Clin Hemorheol Microcirc.* [Internet]. 2003 [citado 2022 mar 12];28(3):151-9. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12775897/>
38. Martínez-Amat A, Boulaiz H, Prados J, Marchal JA, Puche PP, Caba O, *et al.* Release of a-actin into serum after skeletal muscle damage. *Br J Sports Med.* 2005;39(11):830-4. doi:10.1136/bjism.2004.017566
39. Brancaccio P, Limongelli FM, Maffulli N. Monitoring of serum enzymes in sport. *Br J Sports Med.* 2006;40:96-7. doi: 10.1136/bjism.2005.020719
40. Mougios V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *Br J Sports Med.* 2007;41(10):674-8. doi: 10.1136/bjism.2006.034041
41. Nikolaidis MG, Protosygelou MD, Petridou A, Tsalis G, Tsigilis N, Mougios V. Hematologic and biochemical profile of juvenile and adult athletes of both sexes: implications for clinical evaluation. *Int J Sports Med.* 2003;24(7):506-11. doi: 10.1055/s-2003-42014
42. Hecksteden A, Pitsch W, Julian R, Pfeiffer M, Kellmann M, Ferrauti A, *et al.* A new method to individualize monitoring of muscle recovery in athletes. *International J Sports Physiol Perform.* 2017;12(9):1137-42. doi: 10.1123/ijsp.2016-0120
43. Farhana A, Lappin SL. Biochemistry, lactate dehydrogenase. [Updated 2023 May 1]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 jan. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557536/>
44. Sahran Y, Sofian AM, Saad AZM. Pre-treatment serum lactate dehydrogenase (LDH) and serum alkaline phosphatase (ALP) as prognostic factors in patients with osteosarcoma. *J Cancer Prev Curr Res.* 2018;9(2):58-63. doi: 10.15406/jcpcr.2018.09.00320
45. Mohebbi H, Rahmani-Nia F, yar Arabmomeni, A, Riasi A, Marandi M. The effects of interval training and age on blood lactate (La) levels and lactate dehydrogenase (LDH) activity in male Wistar rats. *Pars Journal of Medical Sciences.* 2015;12(4):37-45. doi: 10.29252/jmj.12.4.4
46. Vanderschueren S, Deeren D, Knockaert DC, Bobbaers H, Bossuyt X, Peetermans W. Extremely elevated C-reactive protein. *Eur J Intern Med.* 2006;17:430-3. doi:10.1016/j.ejim.2006.02.025
47. Pepys MB, Hirschfield GM. C-reactive protein: a critical update. *J Clin Invest.* 2003;111(12):1805-12. doi: 10.1172/JCI18921
48. Koenig W, Khuseynova N. Biomarkers of atherosclerotic plaque instability and rupture. *Arterioscl Thromb Vasc Biol.* 2007;27(1):15-26. doi: 10.1161/01.ATV.0000251503.35795.4f
49. Naoum FA, Naoum PC. Hematologia laboratorial. Leucócitos. São José do Rio Preto: Academia de Ciência e Tecnologia; 2006.
50. Lee EC, Fragala MS, Kavouras SA, Queen RM, Pryor JL, Casa DJ. Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes. *J Strength Cond Res.* 2017;31(10):2920. doi: 10.1519/JSC.0000000000002122

