

Termorregulação e equilíbrio hídrico no exercício físico: aspectos atuais e recomendações

Thermoregulation and fluid balance during physical exercise: current aspects and recommendations

MELO-MARINS D, SOUSA-SILVA AA, SILAMI-GARCIA E, LAITANO O. Termorregulação e equilíbrio hídrico no exercício físico: aspectos atuais e recomendações. *R. bras. Ci. e Mov* 2017;25(3):170-181.

RESUMO: A evaporação de suor é o principal mecanismo de termorregulação humana durante exercícios realizados na superfície terrestre. Este importante mecanismo fisiológico de manutenção da homeostase térmica, todavia, pode levar a uma perda significativa de fluidos corporais, causando a desidratação. Evidências demonstram que a perda de líquido correspondente a 2% da massa corporal é suficiente para causar redução na capacidade de desempenho físico. Portanto, evitar a desidratação ingerindo líquidos durante o exercício é importante não só para manter a capacidade de rendimento físico, como também para prevenir contra problemas associados à hipertermia. Sendo assim, o objetivo desta revisão é discutir os efeitos da desidratação no desempenho físico de atletas e pessoas que praticam exercícios com o objetivo de obter melhoras na aptidão física. Além disso, serão apresentadas formas de se identificar e avaliar a desidratação em praticantes de exercícios, bem como aspectos relevantes para a elaboração de uma estratégia eficiente de hidratação para evitar a desidratação e também o consumo excessivo de líquidos antes, durante e após o exercício. Para a elaboração desta revisão foram realizadas buscas nas bases de dados Scielo e Pubmed Medline, utilizando-se palavras-chave como “thermoregulation”, “heat stress”, “exercise”, “performance”, “dehydration”, “hydration”, “fluid balance”.

Palavras-chave: Desempenho; Hidratação; Hipertermia.

ABSTRACT: Sweat evaporation is the main mechanism of human thermoregulation during exercise performed on land. This is an important physiological mechanism for maintaining the thermal homeostasis, however, it can lead to a significant body fluid loss causing dehydration. Evidences have shown that fluid losses corresponding to 2% of body weight is sufficient to cause a decrease in exercise capacity. Therefore, avoiding dehydration by drinking fluids during exercise is important not only to maintain physical performance capacity, but also to prevent problems associated with hyperthermia and dehydration. Thus, the aim of this review is to discuss the main effects of dehydration on physical performance of athletes and non-athletes who exercise in order to obtain improvements in physical fitness. In addition, we will present ways to identify and assess hydration status in exercise settings as well as relevant aspects to the development of an effective hydration strategy to prevent dehydration and also excessive fluid consumption before, during and after exercise. In this review we searched the databases Scielo and Pubmed Medline using the following key-words: “thermoregulation”, “heat stress”, “exercise”, “performance”, “dehydration”, “hydration”, “fluid balance”.

Key Words: Performance; Hydration; Hyperthermia.

Denise de Melo-Marins¹
Ana A. Souza-Silva¹
Emerson Silami-Garcia²
Orlando Laitano¹

¹Universidade Federal do Vale do São Francisco

²Universidade Federal do Maranhão

Introdução

O principal mecanismo de termorregulação humana durante exercícios realizados na superfície terrestre é a evaporação do suor. Esse importante mecanismo fisiológico de manutenção da homeostase térmica, todavia, pode levar a uma perda significativa de fluidos corporais, causando a desidratação. O estado normal de hidratação é normalmente referido como euidratação e variações neste estado são definidas como hiper ou hipoidratação. Em ambientes quentes e úmidos a evaporação do suor é reduzida e, conseqüentemente, a taxa de elevação da temperatura corporal é aumentada, levando a uma perda ainda maior de água.

A tolerância individual à desidratação é variável, mas existem evidências de que a perda de líquido correspondente a 2% da massa corporal seja suficiente para levar um indivíduo do estado euidratado para hipoidratado e causar redução na capacidade de desempenho físico^{1,2}. Quando a desidratação ultrapassa 3% da massa corporal, além de uma redução ainda mais acentuada na capacidade de desempenho físico, surgem riscos de problemas de saúde relacionados à hipertermia^{1,3}. Portanto, evitar a hipoidratação ingerindo líquido durante o exercício é importante não só para manter a capacidade de desempenho físico. Por outro lado, a ingestão excessiva de água deve ser evitada, pois pode causar problemas como desconforto gástrico e, em casos extremos, pode causar redução dos níveis sanguíneos de sódio (hiponatremia)⁴.

Sendo assim, o objetivo desta revisão é discutir os efeitos da desidratação no desempenho físico de atletas e pessoas que praticam exercícios com o objetivo de obter melhoras na aptidão física. Secundariamente apresentaremos formas de identificar e avaliar o estado de hidratação e a magnitude da desidratação em praticantes de exercícios. Por fim, apresentaremos aspectos relevantes para a elaboração de uma estratégia eficiente de hidratação para evitar a hipoidratação e também o consumo excessivo de líquidos (hiperidratação) antes, durante e após o exercício. Para a elaboração desta revisão foram realizadas buscas nas bases de dados Scielo e Pubmed, utilizando-se palavras-chave como “thermoregulation”, “heat stress”, “exercise”, “performance”, “dehydration”, “hydration”, “fluid balance”.

Termorregulação e balanço hídrico

Para manter a temperatura corporal dentro de limites fisiológicos (~37- 37.5°C), o corpo humano utiliza vias termorregulatórias de troca de calor com o ambiente como radiação, condução, convecção, respiração e evaporação⁵. A evaporação do suor destaca-se como a mais eficiente em relação às demais vias termorregulatórias devido ao fato de a evaporação permitir somente a perda de calor. Não obstante, a eficiência da evaporação do suor é dependente da magnitude da umidade relativa do ar. Quanto maior a umidade relativa do ar, menor será a taxa de evaporação⁶. Assim, a evaporação do suor produzido pelas glândulas sudoríparas écrinas torna-se um mecanismo fundamental para a regulação da temperatura corporal^{7,8}. Por outro lado, embora a evaporação do suor seja um importante mecanismo de termorregulação, ela resulta em desidratação, caracterizada pela redução do volume de sangue corporal^{9,10}.

A desidratação decorrente do processo de sudorese promove sobrecarga aos sistemas fisiológicos e pode prejudicar o desempenho físico e promover riscos transitórios ou permanentes para a saúde, principalmente em níveis significativos de desidratação. É evidente que a forma mais eficiente de evitar os efeitos indesejados da desidratação é a reposição hídrica. Desde a década de 60, pesquisadores vêm comparando bebidas com diferentes concentrações de carboidratos e minerais em busca da composição ideal para contrapor os efeitos da desidratação, bem como o momento mais adequado para se consumir determinada bebida¹¹ e a temperatura ideal da bebida¹.

Desidratação induzida pelo exercício físico.

Efeitos da desidratação sobre o desempenho aeróbio

A desidratação é um termo utilizado para descrever um processo de redução no conteúdo total de água no

corpo humano. Cheuvront *et al.*¹² propuseram que uma redução >2% da massa corporal corresponde a uma alteração além da flutuação normal do conteúdo total de água corporal (hipoidratação) e demonstra redução do rendimento em atividades de endurance.

É consistentemente reportado que a desidratação prejudica o desempenho aeróbio em ambientes temperados¹³ e ambientes quentes^{14,15}. Um aspecto relevante dessas investigações é o fato de que quanto maior a magnitude da desidratação, maior a redução no rendimento. Por exemplo, Craig & Cummings submetem os participantes a caminhada até a exaustão em ambiente quente com os participantes em estado de euidratação ou hipoidratação de ~2% da massa corporal ou 4%. O tempo total de exercício foi reduzido em 22% e 48%, e o VO₂máx foi reduzido em 10% e 22% com desidratação de 2% e 4% respectivamente¹⁴.

Outro estudo que demonstrou efeito de queda no desempenho aeróbio induzido por desidratação foi realizado por Cheuvront *et al.* que submetem os participantes a 30 minutos de exercício em cicloergômetro com intensidade constante (~50% do VO₂máx) seguido por um teste de contrarrelógio com duração constante em ambiente temperado. Os participantes foram desidratados a 3% da massa corporal pela exposição ao calor com restrição de líquidos. A desidratação reduziu a distância total coberta no teste em 8%¹³.

Below *et al.* submetem os participantes a exercício em cicloergômetro por 50 minutos em intensidade constante (~80% VO₂máx) seguido por teste de rendimento. Os participantes ingeriram líquidos para repor a perda hídrica por meio da sudorese, ou não consumiram líquidos resultando em desidratação de 2% da massa corporal nessas sessões de exercício. A desidratação resultou em queda de 7% no desempenho físico⁵. Da mesma forma, Walsh *et al.* submetem os participantes a exercício em cicloergômetro a 70% do VO₂máx por 60 minutos seguido por um teste de tempo até a exaustão a 90% do VO₂máx em ambiente quente. Antes do teste de desempenho, os participantes permaneceram desidratados (2% da massa corporal) ou ingeriram líquido em volume suficiente para repor as perdas de suor. A desidratação reduziu o rendimento no teste de desempenho em 31%¹⁶. Os resultados dos estudos descritos acima são consistentes com o posicionamento de que a desidratação prejudica a capacidade de realizar exercício em ambiente temperado e no calor.

Embora esses estudos demonstrem que a desidratação prejudica o desempenho físico em ambiente temperado e no calor, outros pesquisadores contestam esses estudos e propõem que o desenvolvimento da sede é o que limita o rendimento¹⁷. Esses autores argumentam que os estudos que demonstram que a desidratação limita o desempenho físico não refletem a realidade de esportes competitivos e atividades recreacionais, pois os desenhos experimentais forçam comportamentos que os atletas nunca adotariam como, por exemplo, o uso de estratégias para induzir desidratação antes do exercício tais como o uso de diuréticos, exposição prévia ao calor, restrição no consumo de água¹⁸.

Essas contestações tem promovido um intenso debate entre especialistas, mas o paradigma que apresenta maior número de evidências científicas até o momento, indica que uma desidratação >2% na massa corporal prejudica o desempenho aeróbio em ambiente temperado e quente¹⁸, conforme descrito graficamente na Figura 1. Além disso, os estudos que não demonstram efeito da desidratação sobre o rendimento, normalmente utilizam modelos de exercício com grande componente anaeróbio¹⁰.

Efeitos da desidratação sobre o desempenho anaeróbio

Enquanto a maior parte das evidências indicando que a desidratação prejudica o desempenho são provenientes de estudos que utilizaram atividades com predominância aeróbia, alguns estudos determinaram os efeitos da desidratação sobre a capacidade anaeróbia, com resultados conflitantes indicando que a desidratação limita^{19,20} ou não limita o desempenho em atividades com predominância anaeróbia²¹⁻²³.

Com o objetivo de quantificar os efeitos da desidratação sobre o desempenho em exercícios resistidos,

Judelson *et al.*²⁴ submetem participantes a três sessões de treinamento de força em diferentes estados de hidratação: hidratado, desidratado a 2,5% e 5% da massa corporal. Ambos os níveis de desidratação reduziram o desempenho da força nas séries finais de exercícios.

Da mesma forma, Rodrigues *et al.*²⁵ submetem participantes a duas sessões de exercício em cicloergômetro no calor com carga constante de 100 W com e sem a reposição de líquidos. A sessão com restrição de líquidos induziu desidratação de aproximadamente 2% da massa corporal. Os participantes realizaram avaliações da força dos extensores de joelho e flexores de cotovelo após as sessões de exercício no calor. A desidratação promoveu redução de ~16% do torque dos extensores de joelho sem afetar o desempenho dos flexores do cotovelo.

Caterisano *et al.*¹⁹ demonstraram que 3% de desidratação reduziu a resistência muscular isocinética do quadríceps em atletas de potência e controles sedentários, mas não observaram efeitos sobre o desempenho de atletas de endurance. Parece que as adaptações promovidas pelo treinamento de endurance (ex.: expansão do volume plasmático e aumento nas reservas de glicogênio muscular) fornecem uma reserva extra de água para contrapor os efeitos causados pela desidratação. Outro estudo corroborou essa hipótese²⁰, pois reportou uma relação significativa e inversa entre massa corporal magra e reduções na força após desidratação de 1,7% da massa corporal.

Alguns autores especulam que a redução da massa corporal induzida pela desidratação pode ser benéfica para atividades caracterizadas pelo deslocamento do corpo (ex. tiros de velocidade)²², pois carregar um menor peso, poderia representar uma vantagem biomecânica e fisiológica durante determinados gestos esportivos. Por outro lado, evidências não suportam esta especulação. Por exemplo, em um estudo a desidratação de 2,5% da massa corporal não apresentou efeito sobre o desempenho de tiros de velocidade e potência sugerindo que a desidratação não fornece vantagem para atividades com características de transporte da massa corporal. Da mesma forma, não houve correlação entre redução da massa corporal e altura do salto vertical²⁶.

Apesar das limitações e discussões apresentadas acima, o consenso mais recente indica que a desidratação pode reduzir a força em ~2%, a potência em ~3% e endurance de alta intensidade em ~10%²³.

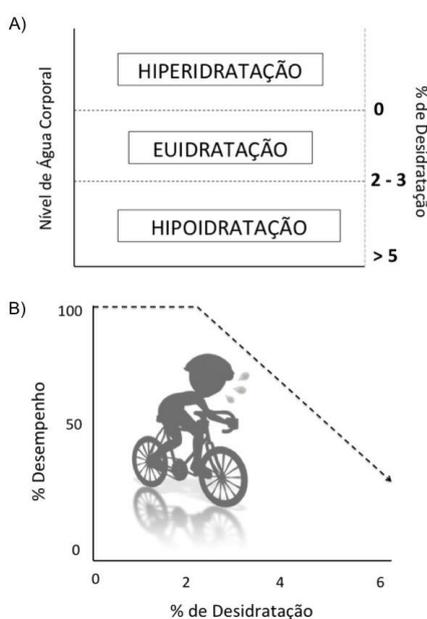


Figura 1. Painel A - Representação gráfica dos estados de hidratação (euidratado, hipoidratado e hiperidratado) e sua relação com o % de desidratação. Note que é possível desidratar, mas permanecer em euidratação, normalmente quando a desidratação é < do que 2% de redução na massa corporal total. Painel B - Efeito da desidratação sobre o desempenho aeróbico. Note que até 2% de desidratação pouca ou nenhuma queda no rendimento é observada. Desidratação >2% de queda na massa corporal total promove queda progressiva no desempenho físico, principalmente em ambiente quente e úmido.

Mecanismos da desidratação e queda do desempenho físico

Sobrecarga cardiovascular

Durante o exercício aeróbio, principalmente em ambiente quente, muitos dos efeitos deletérios da desidratação ocorrem por alteração na função cardiovascular. A desidratação reduz o volume plasmático total, aumentando a frequência cardíaca submáxima e reduzindo o débito cardíaco máximo²⁷. Além disso, alterações no fluxo sanguíneo devido a perda hídrica podem diminuir a entrega de nutrientes para a musculatura ativa e diminuir a remoção de metabólitos, alterando o metabolismo celular²⁷. Entretanto, a magnitude em que essas alterações afeta a força e a potência não está bem definida na literatura. Sessões de força e potência ocorrem com maior predominância do metabolismo anaeróbio. Esses exercícios dependem principalmente do adenosina trifosfato antes da abreviação - (ATP) e creatina fosfato (CP) estocados no músculo para energia.

Embora seja improvável que a sobrecarga cardiovascular esteja envolvida nas limitações do desempenho anaeróbio causados pela desidratação, é muito provável que este seja um dos principais mecanismos explicando as limitações de desempenho em atividades aeróbias de alta intensidade, uma vez que sessões repetidas de exercício necessitam de uma entrega adequada de oxigênio e a remoção de produtos metabólicos na musculatura ativa.

Sobrecarga metabólica

A alteração do volume celular induzida pela desidratação influencia drasticamente o metabolismo celular²⁷, sugerindo que a desidratação pode alterar o metabolismo e afetar até mesmo sessões curtas de exercício⁵. Embora uma alteração no metabolismo dos lipídios tenha sido sugerida como possível mecanismo para explicar os efeitos na desidratação sobre a atividade muscular máxima¹⁵, a maioria das evidências científicas examina as alterações no metabolismo dos carboidratos.

Evidências experimentais refutam a possibilidade de a desidratação alterar os estoques intramusculares de ATP e CP²⁸ ou as concentrações circulantes de glicose sanguínea²⁹. Existe controvérsia sobre os efeitos da desidratação nas concentrações de lactato pós-exercício. Apesar de um estudo⁶ indicar maior concentração de lactato com a desidratação, a grande maioria demonstra que a desidratação não altera^{15,21,26,29} ou diminui⁵ o lactato pós-exercício. Em muitos casos, a redução na produção de lactato é resultante da menor intensidade ou duração de exercício com desidratação ao invés de um efeito fisiológico da desidratação sobre a produção, efluxo ou consumo de lactato⁷. Por outro lado, a redução na produção de lactato pode ocorrer de maneira secundária às reduções nos estoques de glicogênio induzidos pela desidratação e não porque a desidratação afeta o metabolismo de carboidratos²⁹. O fato de a depleção de glicogênio estar aumentada com a hipertermia e com a restrição calórica, interfere na interpretação conclusiva dos efeitos isolados da desidratação sobre o metabolismo dos carboidratos³⁰.

Mais recentemente, estudos têm indicado que a desidratação apresenta potencial para alterar o equilíbrio entre substâncias pró e antioxidantes no músculo esquelético e no sangue e causar estresse oxidativo^{3,31}. É sabido que o estresse oxidativo pode causar danos importantes em estruturas celulares e ao mesmo tempo pode ser um sinal para adaptações celulares³². Por isso, os resultados das pesquisas que descrevem o aumento no estresse oxidativo com a desidratação são de difícil interpretação, pois podem tanto representar uma via de impacto negativo para o desempenho como um mecanismo celular de adaptação ao estresse promovido pela desidratação^{31,33}.

Sobrecarga neuromuscular

Parece lógico que a principal limitação exercida pela desidratação que resulta em redução do desempenho seja explicada por uma sobrecarga no sistema nervoso central (SNC). É escasso o número de estudos que avaliou os efeitos da desidratação sobre o SNC em humanos. Em um estudo recente, Trangmar *et al.*³⁴ determinaram os efeitos da

desidratação sobre o fluxo sanguíneo e taxa metabólica cerebral durante exercício máximo. Os resultados apontam que embora a desidratação tenha sido capaz de reduzir o fluxo sanguíneo cerebral, houve um aumento na extração de oxigênio do sangue e manutenção da taxa metabólica cerebral, possivelmente para compensar a redução do fluxo de sangue no cérebro.

Muitos estudos indicam que a perda de água corporal afeta algum componente do sistema neuromuscular. Todavia, dados eletromiográficos durante contração máxima em desidratação são limitados e inconclusivos²¹ e pesquisas que examinaram os efeitos da desidratação sobre a excitabilidade da membrana muscular refutam a hipótese de a desidratação afetar o sinal eletromiográfico⁹.

Hiponatremia

A hiponatremia é caracterizada por queda nas concentrações sanguíneas de sódio (Na⁺). Normalmente, o sangue contém em torno de 140 mEq/L de Na⁺ e uma queda para 136 mEq/L já caracteriza clinicamente a hiponatremia⁴. Durante o exercício, a hiponatremia tem sido descrita após atividades como maratona, triatlons e outros eventos esportivos de longa duração⁴. Como estes eventos têm se tornado mais populares, a incidência de hiponatremia e a ocorrência de fatalidades tem aumentado uma vez que as complicações da hiponatremia estão associadas a encefalopatia e edema pulmonar⁴.

As causas da hiponatremia durante o exercício são atribuídas a desidratação por perda excessiva de suor contendo grandes concentrações de sódio e também ao consumo excessivo de líquidos contendo baixa concentração de eletrólitos por período prolongado de tempo⁴. Os fatores de risco para a hiponatremia incluem: sexo feminino, uso de anti-inflamatórios não esteroidais, baixa velocidade de corrida e consumo excessivo de líquidos. Condições ambientais e orientações dadas aos corredores também apresentam profundo impacto na incidência da hiponatremia. Pessoas que apresentam a síndrome de secreção inapropriada do hormônio antidiurético também possuem risco aumentado de desenvolver hiponatremia por consumo excessivo de líquidos com baixa concentração de sódio. Por isso, uma das justificativas para se utilizar de uma estratégia planejada de hidratação é justamente evitar o consumo excessivo de líquidos e reduzir os riscos de hiponatremia.

Como identificar a desidratação?

Os estágios iniciais da desidratação são caracterizados por sinais e sintomas que vão de sede a desconforto e reclamações. Esses são seguidos de pele corada, cansaço, câibras e apatia. Em níveis mais avançados, tontura, dor de cabeça, vômitos, náusea e sensação de calor podem estar presentes³⁵. Como a desidratação afeta o volume de sangue, parâmetros sanguíneos como a osmolaridade do sangue, o hematócrito e a hemoglobina são medidas consideradas padrão ouro para a determinação da desidratação³⁶. Contudo, essas medidas são dependentes de equipamentos que estão acessíveis apenas em laboratórios de bioquímica e fisiologia. Por isso, o foco nesta revisão será em formas práticas de identificação da desidratação em cenários esportivos e de práticas de atividade física conforme destacado em etapas na Figura 3.

Normalmente a desidratação é expressa relativa a alteração percentual na massa corporal, assumindo que 1 kg de massa corporal corresponde a 1 L de água. Assim, uma equação simples para se determinar o % de desidratação é:

$$\text{Equação 1: \% desidratação} = 100 - \left(\frac{\text{MCF} \times 100}{\text{MCI}} \right)$$

Onde: MCF = massa corporal final em kg e MCI = Massa corporal inicial em kg.

Enquanto a sudorese termorregulatória é a fonte primária de redução da massa corporal durante o exercício, existem outros fatores que contribuem para tal redução, incluindo perda de vapor de água e dióxido de carbono (CO₂) pelo ar expirado. Por outro lado, essas perdas são muito pequenas e normalmente são negligenciadas nos cálculos de determinação do percentual de desidratação, mas existem equações que permitem estimar a contribuição das perdas de massa via respiração e metabolismo^{36,6}.

Uma limitação do uso da massa corporal para determinação do percentual de desidratação é o fato de assumir que a massa corporal inicial representa um estado ótimo de hidratação. Muitas vezes, atletas e praticantes de atividades físicas já iniciam a prática da atividade desidratados. Por isso, uma forma eficiente de se determinar o estado inicial de hidratação é por meio da gravidade específica da urina (GEU). A GEU é a medida da concentração de todas as partículas químicas na urina realizada por um instrumento denominado refratômetro (Tabela 1).

Tabela 1. Hidratação inicial com base na gravidade específica da urina e a respectiva classificação de desidratação³⁵.

Hidratação Inicial	Classificação
< 1.010	Bem hidratado
1.010 - 1.020	Desidratação mínima
1.021 - 1.030	Desidratação significativa
>1.030	Desidratação severa

Muitas vezes o refratômetro pode não estar a disposição em cenários esportivos ou de práticas de atividade física. Nestes casos, uma medida simples e acessível para mensurar o estado inicial de hidratação é por meio da observação da coloração da urina³⁷ (Figura 2).



Figura 2. Escala da cor da urina para determinação do nível inicial de hidratação.

Reidratação

O primeiro passo para se elaborar uma estratégia de hidratação é a determinação da perda de suor para posterior cálculo da taxa de sudorese. Lembrando que a perda de suor é calculada a partir da variação da massa corporal entre uma sessão de exercício:

$$\text{Equação 2: Perda de suor (l)} = MCI - MCF$$

Onde MCI = Massa corporal inicial e MCF = Massa corporal final, ambos em kg.

A taxa de sudorese pode então ser determinada em litros por hora utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{Equação 3: Taxa de sudorese (l/h)} = \frac{PS + (CL/1000)}{(T/60)}$$

Onde PS = Perda de suor em litros, CL = consumo de líquidos em mililitros, T = tempo de atividade em minutos.

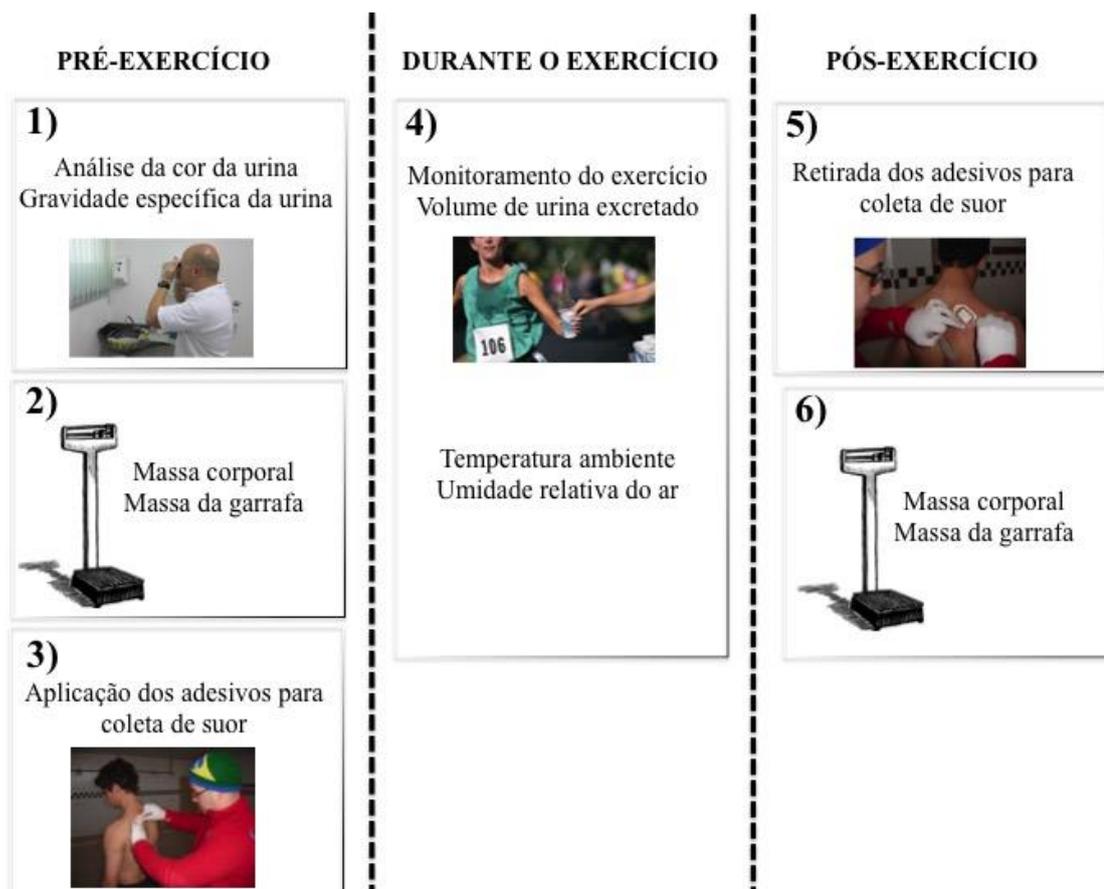


Figura 3 - Etapas do teste de suor. 1) Coleta de amostra de urina para análise da cor e gravidade específica da urina para determinação do estado de hidratação pré-exercício; 2) registro da massa corporal pré exercício bem como da massa das garrafas para determinação do volume de bebida ingerido; 3) Aplicação de adesivo com gaze absorvente (3M Tegaderm + pad, ref. 3582) para coleta de suor. Note que nesta etapa a pele do avaliado deve ser previamente limpa com água deionizada e completamente seca antes da aplicação do adesivo. Normalmente os adesivos são aplicados no lado direito do corpo nas regiões peitoral, subescapular, antebraço e coxa e é feita uma média das concentrações dos eletrólitos dessas regiões; 4) Durante o exercício é importante monitorar a intensidade, temperatura e umidade relativa do ar. Além disso, caso o avaliado deseje urinar durante o exercício, o volume de urina deve ser registrado para posterior inclusão nas equações; 5) Os adesivos devem ser retirados com pinças esterilizadas e inseridos em seringas para obtenção da amostra de suor. O suor é então analisado para sódio, cloreto e potássio em laboratório por fotometria de chama ou íon seletivo; 6) Por fim, a massa corporal e das garrafas deve ser registrada após o exercício para determinação da taxa de sudorese e volume de líquido consumido, respectivamente.

O objetivo da estratégia de hidratação é tentar manter um percentual de desidratação $< 2\%$ da massa corporal total para evitar os efeitos indesejados da desidratação sobre o desempenho³⁸, conforme discutido anteriormente. Assim, a taxa de sudorese serve como uma valiosa referência sobre o volume que um atleta precisa consumir para atingir essa meta. Quando a taxa de sudorese é muito elevada (ex.: 2 a 3 l/h), torna-se impossível manter o corpo hidratado, já que a taxa de suor extrapola a taxa de esvaziamento gástrico³⁹.

O consumo de líquidos para reduzir a desidratação e a temperatura corporal durante o exercício se torna cada vez mais importante à medida que a temperatura do ambiente e a duração do exercício aumentam. Durante o exercício de longa duração, o consumo de líquido contendo carboidrato é vantajoso para reduzir os efeitos negativos da depleção no conteúdo de glicogênio muscular e hepático. Porém, a absorção do líquido ingerido é limitada³⁹. O esvaziamento do líquido do estômago para o intestino, onde o líquido é absorvido, é dependente de diversos fatores incluindo a temperatura ambiental bem como o volume, a temperatura e a composição da bebida^{6,11}.

A taxa de esvaziamento gástrico aumenta conforme o aumento no volume de líquido ingerido até o limite de

aproximadamente 300 ml de líquido a cada 15 minutos. A taxa máxima e esvaziamento gástrico é em torno de 1,2 l/h de líquido e é atingida com o consumo de água pura ou contendo baixas concentrações de carboidratos³⁹. Além disso, quanto maior temperatura ambiente, menor a taxa de esvaziamento gástrico apesar da maior necessidade de líquidos em temperaturas mais elevadas⁶.

Com o aumento da concentração de carboidratos na bebida, a taxa de absorção de líquido é reduzida⁴⁰. Os carboidratos têm o efeito de reter líquido no intestino e também favorecem o transporte de água por osmose da corrente sanguínea para o intestino⁴⁰. Para superar o problema da necessidade simultânea de consumo de carboidratos e líquidos, bebidas contendo tipos distintos de carboidratos (ex.: glicose + frutose) que minimizem a queda na taxa de esvaziamento gástrico devem ser preferidas. Além disso, é importante ressaltar a dependência de sódio para a absorção de glicose no intestino pelos receptores SGLT-1. Assim, a presença de sódio em soluções de hidratação tem como objetivo, além de repor o sódio perdido pelo suor, favorecer a absorção intestinal de glicose.

Antes do exercício prolongado (> 60 minutos), o tipo de líquido consumido deve ser cuidadosamente escolhido. Normalmente, em ambiente frio, uma solução contendo de 5-8% carboidratos deve ser consumida¹¹. O elevado conteúdo de carboidratos pode reduzir a absorção de água, mas a perda hídrica por meio do suor neste caso não é elevada, e a baixa temperatura ambiente também aumenta a taxa de esvaziamento gástrico⁴⁰. No calor a perda hídrica é maior e a taxa de esvaziamento gástrico é menor. Por isso, o consumo de água pura ou contendo concentrações mais baixas de carboidratos (ex.: 2-3%) é recomendada para potencializar a absorção de água. Embora essa recomendação limite o déficit de líquido, a entrega de carboidrato para a musculatura ativa é mínima. Por isso, nessas condições, é particularmente importante que os estoques de glicogênio muscular estejam completos antes do início do exercício.

Existe uma grande variação individual na capacidade de transferir líquido do estômago para o intestino entre indivíduos. Por isso, a bebida usada em competições deve ser experimentada em treinamentos primeiramente. Várias bebidas e volumes podem ser experimentados no treinamento e o corpo pode ser treinado a tolerar um maior consumo de líquidos. Um estudo recente de nosso grupo de pesquisa, demonstrou que o consumo prévio (20 minutos antes do exercício) de água de coco foi capaz de melhorar o rendimento em teste até a exaustão realizado em cicloergômetro no calor².

Em geral, a magnitude de priorização do consumo de líquidos e carboidratos durante o exercício deve considerar os seguintes aspectos:

- a duração da atividade;
- as condições ambientais;
- a capacidade de sudorese;
- a capacidade individual de absorção de líquidos;

Atletas e praticantes de exercício devem consumir quantidades suficientes de líquidos antes do exercício independente da sensação de sede. Um consumo de líquidos de 0,5-1 L, 60 a 90 minutos antes de treinos e competições é normalmente apropriado. Durante atividades com duração maior do que 30 minutos, líquidos devem ser consumidos frequentemente, mas em pequenas quantidades (150-250 ml a cada 10-15 minutos) para evitar o acúmulo excessivo de líquido no estômago³⁹. Da mesma forma, após o exercício, reestabelecer o balanço hídrico é importante. Este processo pode ser demorado e, algumas vezes, pode ser necessário beber mais do que o estabelecido pela sede. Após o exercício, os riscos do consumo excessivo de líquidos são minimizados, pois o sistema renal é eficiente em eliminar o excesso de líquido por meio da urina.

Considerações finais

A evaporação do suor é um importante mecanismo de regulação térmica durante o exercício em ambiente terrestre. Por outro lado, este mecanismo pode levar a desidratação. Uma desidratação >2% da massa corporal prejudica o desempenho em atividades aeróbias e anaeróbias. O principal mecanismo de limitação de rendimento associado a desidratação é a sobrecarga cardiovascular, embora aspectos metabólicos também possam estar envolvidos. A identificação do nível de desidratação pode ser realizada por técnicas bioquímicas laboratoriais ou por observações nas alterações de sinais clínicos como cor da urina e flutuações na massa corporal após uma sessão de exercícios. A estratégia de hidratação deve ser elaborada levando-se em consideração a taxa de sudorese do indivíduo bem como o tipo de exercício e o ambiente onde o exercício é realizado. O consumo de líquidos contendo carboidratos e eletrólitos pode ser necessário para pessoas que praticam atividades prolongadas em ambientes quentes e úmidos.

Agradecimentos

DMM foi bolsista de Mestrado da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (IBPG-1205-4.09/13).

Referências

1. Carvalho MV, Andrade MT, Ramos GP, Maia-Lima A, Pereira ER, Mendes TT, *et al.* The temperature of water ingested ad libitum does not influence performance during a 40-km self-paced cycling trial in the heat. *J. Sports Med. Phys. Fitness*; 2014.
2. Laitano O, Trangmar SJ, Marins DM, Menezes ES, Reis GS. Improved exercise capacity in the heat followed by coconut water consumption. *Mot Rev Educ Física*. 2014; 20: 107-111.
3. Laitano O, Kalsi KK, Pook M, Oliveira AR, González-Alonso J. Separate and combined effects of heat stress and exercise on circulatory markers of oxidative stress in euhydrated humans. *Eur J Appl Physiol*. 2010; 110: 953-960.
4. Hew-Butler T, Almond C, Ayus JC, Dugas J, Meeuwisse W, Noakes T, *et al.* Exercise-Associated Hyponatremia (EAH) Consensus Panel. Consensus statement of the 1st International Exercise-Associated Hyponatremia Consensus Development Conference, Cape Town, South Africa 2005. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med*. 2005; 15: 208-213.
5. Below PR, Mora-Rodríguez R, González-Alonso J, Coyle EF. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1995; 27: 200-210.
6. American College of Sports Medicine, Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*. 2007; 39: 377-390.
7. Saltin B. Circulatory response to submaximal and maximal exercise after thermal dehydration. *J Appl Physiol*. 1964; 19: 1125-1132.
8. Shibasaki M, Crandall CG. Mechanisms and controllers of eccrine sweating in humans. *Front Biosci Sch*. 2010; 2: 685-696.
9. Costill DL, Coté R, Fink WJ, Van Handel P. Muscle water and electrolyte distribution during prolonged exercise. *Int J Sports Med*. 1981; 2: 130-134.
10. Stewart CJ, Whyte DG, Cannon J, Wickham J, Marino FE. Exercise-induced dehydration does not alter time trial or neuromuscular performance. *Int J Sports Med*. 2014; 35: 725-730.
11. Baker LB, Jeukendrup AE. Optimal composition of fluid-replacement beverages. *Compr Physiol*. 2014; 4: 575-620.
12. Chevront SN, Carter R, Sawka MN. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep*. 2003; 2: 202-208.
13. Chevront SN, Carter R, Castellani JW, Sawka MN. Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 2005; 99: 1972-1976.
14. Craig EN, Cummings EG. Dehydration and muscular work. *J Appl Physiol*. 1966; 21: 670-674.
15. Armstrong LE, Costill DL, Fink WJ. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1985; 17: 456-461.

16. Walsh RM, Noakes TD, Hawley JA, Dennis SC. Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int J Sports Med.* 1994; 15: 392-398.
17. Beltrami FG, Hew-Butler T, Noakes TD. Drinking policies and exercise-associated hyponatraemia: is anyone still promoting overdrinking? *Br J Sports Med.* 2008; 42: 796-501.
18. Sawka MN, Noakes TD. Does dehydration impair exercise performance? *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39: 1209-1217.
19. Caterisano A, Camaione DN, Murphy RT, Gonino VJ. The effect of differential training on isokinetic muscular endurance during acute thermally induced hypohydration. *Am J Sports Med.* 1988; 16: 269-273.
20. Schoffstall JE, Branch JD, Leutholtz BC, Swain DE. Effects of dehydration and rehydration on the one-repetition maximum bench press of weight-trained males. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* 2001; 15: 102-108.
21. Bigard AX, Sanchez H, Claveyrolas G, Martin S, Thimonier B, Arnaud MJ. Effects of dehydration and rehydration on EMG changes during fatiguing contractions. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33: 1694-1700.
22. Viitasalo JT, Kyröläinen H, Bosco C, Alen M. Effects of rapid weight reduction on force production and vertical jumping height. *Int J Sports Med.* 1987; 8: 281-285.
23. Judelson DA, Maresh CM, Anderson JM, Armstrong LE, Casa DJ, Kraemer WJ, *et al.* Hydration and muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Med Auckl NZ.* 2007; 37: 907-921.
24. Judelson DA, Maresh CM, Farrell MJ, Yamamoto LM, Armstrong LE, Kraemer WJ, *et al.* Effect of hydration state on strength, power, and resistance exercise performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39: 1817-1824.
25. Rodrigues R, Baroni BM, Pompermayer MG, Oliveira Lupion R, Geremia JM, Meyer F, *et al.* Effects of acute dehydration on neuromuscular responses of exercised and nonexercised muscles after exercise in the heat. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* 2014; 28: 3531-3536.
26. Watson G, Judelson DA, Armstrong LE, Yeargin SW, Casa DJ, Maresh CM. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive sprint and power performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2005; 37: 1168-1174.
27. González-Alonso J, Crandall CG, Johnson JM. The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *J Physiol.* 2008; 586: 45-53.
28. Montain SJ, Smith SA, Mattot RP, Zientara GP, Jolesz FA, Sawka MN. Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism: a 31P-MRS study. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1998; 84: 1889-1894.
29. Oöpik V, Pääsuke M, Sikku T, Timpmann S, Medijainen L, Erelaine J, *et al.* Effect of rapid weight loss on metabolism and isokinetic performance capacity. A case study of two well trained wrestlers. *J Sports Med Phys Fitness.* 1996; 36: 127-131.
30. King DS, Costill DL, Fink WJ, Hargreaves M, Fielding RA. Muscle metabolism during exercise in the heat in unacclimatized and acclimatized humans. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1985; 59: 1350-1354.
31. Souza-Silva AA, Moreira E, Melo-Marins D, Schöler CM, Bittencourt PIHJ, Laitano O. High intensity interval training in the heat enhances exercise-induced lipid peroxidation, but prevents protein oxidation in physically active men. *Temperature (Austin)* 29. 2015; 3(1): 167-75.
32. Powers SK, Duarte J, Kavazis AN, Talbert EE. Reactive oxygen species are signalling molecules for skeletal muscle adaptation. *Exp Physiol.* 2010; 95: 1-9, 2010.
33. King MA; Clanton TL; Laitano O. Hyperthermia, dehydration, and osmotic stress: unconventional sources of exercise-induced reactive oxygen species. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 310. 2016; 2: 105-114.
34. Trangmar SJ, Chiesa ST, Stock CG, Kalsi KK, Secher NH, González-Alonso J. Dehydration affects cerebral blood flow but not its metabolic rate for oxygen during maximal exercise in trained humans. *J Physiol.* 2014; 592: 3143-3160.
35. Casa DJ, Armstrong LE, Hillman SK, Montain SJ, Reiff RV, Rich BS, *et al.* National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for athletes. *J Athl Train.* 2000; 35: 212-224.
36. Maughan RJ, Shirreffs SM, Leiper JB. Errors in the estimation of hydration status from changes in body mass. *J Sports Sci.* 2007; 25: 797-804.
37. Armstrong LE, Maresh CM, Castellani JW, Bergeron MF, Kenefick RW, LaGasse KE, Riebe D. Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr.* 1994; 4: 265-279.
38. Goulet EDB. Effect of exercise-induced dehydration on endurance performance: evaluating the impact of exercise protocols on outcomes using a meta-analytic procedure. *Brit J Sport Med.* 2012.

39. Lambert GP, Chang RT, Joensen D, Shi X, Summers RW, Schedl HP, Gisolfi CV. Simultaneous determination of gastric emptying and intestinal absorption during cycle exercise in humans. *Int J Sports Med.* 1996; 17: 48-55.
40. Evans GH, Shirreffs SM, Maughan RJ. Acute effects of ingesting glucose solutions on blood and plasma volume. *Br J Nutr.* 2009; 101: 1503-1508.