

Termorregulação em corridas de longa distância: Revisão bibliográfica



<https://doi.org/10.56238/sevened2023.007-078>

Igor Breguez

Professor da Disciplina de Fisiologia da Universidade do Contestado UNC
Campus Porto União Santa Catarina
E-mail: igor_breguez@hotmail.com

Marco Antonio Schueda

Coordenador da Faculdade de Medicina e Professor da Disciplina de Anatomia da Universidade do Contestado UNC Campus Porto União - Santa Catarina
E-mail: schueda.sc@gmail.com

Anna Júlia Pelchebiski

Graduanda do curso de Medicina da Universidade do Contestado UNC
Campus Porto União - Santa Catarina
E-mail: annajuliapelchebiski@gmail.com

Beatriz Ribeiro da Silva de Amorim

Graduanda do Curso de Medicina da Universidade do Contestado UNC Campus Porto União - Santa Catarina
E-mail: beatriz.medicina2023@gmail.com

Rafaella Gugelmin Barros

Graduanda do Curso de Medicina da Universidade do Contestado UNC Campus Porto União - Santa Catarina
E-mail: rafaella.gugelmin@gmail.com

Thaysa Bruna Gavronski

Graduanda do Curso de Medicina da Universidade do Contestado UNC Campus Porto União - Santa Catarina

E-mail: thaysa101@hotmail.com

RESUMO

A revisão bibliográfica do presente estudo, demonstra que durante o exercício físico, o corpo produz calor pelos músculos em atividade, gerando estresse térmico. Através da análise de artigos principalmente dos últimos cinco anos, concluímos que para manter a temperatura corporal estável, o corpo utiliza mecanismos de regulação dependentes de parâmetros ambientais, da tarefa e pessoais. Em exercícios intensos e em ambientes quentes, o fluxo sanguíneo na pele pode aumentar significativamente, e a transpiração também é elevada. No entanto, os reflexos não térmicos durante o exercício fazem com que a regulação do fluxo sanguíneo na pele seja diferente daquela em repouso. O corpo ajusta o limiar para a dilatação dos vasos sanguíneos da pele a uma temperatura corporal central mais alta e modifica a sensibilidade a essa mudança de temperatura. O treinamento regular melhora essas adaptações, permitindo que os atletas dissipem o calor de maneira mais eficaz. Esta revisão destaca os mecanismos fisiológicos envolvidos na regulação térmica durante o exercício, discute a estimativa da temperatura central em humanos e apresenta novas abordagens até nutricionais para avaliar parâmetros para manter a temperatura central estável.

Palavras-chave: Fisiologia, Temperatura corporal, Estresse térmico.

1 INTRODUÇÃO

A temperatura central do corpo é normalmente regulada para $36,6^{\circ}\text{C}^1$, mas pode divergir consideravelmente quando exposta a condições extremas. A temperatura corporal central mais baixa registrada com sobrevivência por um ser humano é de $13,7^{\circ}\text{C}^2$. Em contraste, durante o exercício no calor, atletas bem treinados podem atingir temperaturas centrais do corpo de $41,5^{\circ}\text{C}^3$. A temperatura corporal central em humanos é a principal variável regulada na termorregulação⁴. A temperatura corporal central em repouso também depende da idade, sexo, etnia, temperatura ambiente, humidade, hora do dia e mês do ano¹. A amplitude desta variação diurna é de $0,5^{\circ}\text{C}$ em indivíduos saudáveis⁵, excluindo



qualquer exposição ao frio extremo ou estresse térmico, febre ou exercício. Os idosos têm uma temperatura central em repouso mais baixa do que os adultos jovens^{6,7,8}. O ciclo menstrual altera significativamente a temperatura corporal central, com uma mudança ascendente de 0,4°C durante a fase lútea em comparação com a fase folicular em mulheres na pré-menopausa^{9,10}.

A pele atua como interface com o ambiente, mas diferentemente da temperatura central, a temperatura da pele não é regulada¹¹ e varia em todo o corpo em resposta ao ambiente térmico^{12,13}. Mesmo assim, a temperatura média da pele pode ser categorizada como fria (<30 C), quente (30-34,9 C) e quente (>35 C)¹⁴. Dados indicam que as alterações na temperatura central são muito menores do que as da pele e das extremidades em relação às alterações na temperatura ambiente^{15,16}.

Entre os mecanismos de termorregulação se incluem a sudorese, a vasodilatação periférica, a taquicardia e a respiração aumentada¹⁶.

A sudorese é responsável pela dissipação do calor através da evaporação do suor na superfície da pele.

A vasodilatação periférica aumenta o fluxo sanguíneo para a pele, permitindo a dissipação do calor através da radiação e da condução.

A taquicardia e a respiração aumentada ajudam a aumentar a taxa metabólica e a dissipação do calor.

Além disso, o hipotálamo é o principal centro de controle da termorregulação no corpo humano, monitorando a temperatura corporal e ativando esses mecanismos para manter a homeostase térmica.

Exploraremos esses mecanismos no levantamento bibliográfico abaixo.

2 METODOLOGIA

A metodologia de escolha para realização da seguinte pesquisa, foi uma revisão bibliográfica de abordagem exploratória.

Para Marconi e Lakatos (2019), as revisões bibliográficas têm a finalidade de colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre o assunto. Não sendo mera repetição do assunto, mas proporcionando análise do tema sob outra visão ou abordagem, para chegar a novas conclusões¹⁷.

A pesquisa seguiu os métodos recomendados, após escolha do tema e pesquisa preliminar. Realizou-se leitura, seleção, avaliação e análise das amostras pesquisadas. Definiu-se as características da pesquisa para então discutir, interpretar e apresentar os resultados alcançados.

A pergunta norteadora foi: Como acontece a regulação da temperatura corporal durante a atividade física em corridas de longa distância?



Para revisão bibliográfica do tema foram realizadas pesquisas em bibliografias impressas e artigos digitalizados. Os artigos foram coletados preferencialmente nos últimos cinco anos levantando-se trabalhos especificamente relacionados ao tema proposto que resultaram em 83 artigos/capítulos.

Nos artigos pesquisados percebeu-se um padrão na problemática abordada, ou seja, os autores também tinham a mesma dúvida do presente trabalho com objeto da pesquisa.

Compreender esse assunto é de grande importância para profissionais médicos, bem como educadores físicos e fisioterapeutas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TERMORREGULAÇÃO AUTÔNOMICA E COMPORTAMENTAL

A regulação da temperatura corporal é realizada através de processos paralelos de termorregulação comportamental e autonômica.

A regulação comportamental da temperatura opera em grande parte através de ajustes comportamentais conscientes, que quando no calor incluem uma série de comportamentos de busca de frescor, como ficar na sombra, beber bebidas geladas, derramar água na cabeça e usar roupas de cores claras. Também foi sugerido que ajustes na taxa de trabalho durante o exercício no calor constituem ajustes comportamentais que contribuem para regular a temperatura corporal¹⁸.

O comportamento termorregulador diminui a necessidade de respostas autonômicas¹⁹, que operam por meio de processos fisiológicos independentes do comportamento voluntário consciente. Essas respostas incluem o controle da função vasomotora (isto é, vasodilatação cutânea) e sudomotora (sudorese) no calor, juntamente com a produção de calor metabólico (isto é, tremores) e função vasomotora (isto é, vasoconstrição cutânea) no frio. ambientes. Um sistema de feedback negativo é normalmente descrito como o sistema regulador que medeia as respostas autonômicas termorreguladoras. Este sistema de controle fisiológico produz respostas graduadas de acordo com distúrbios em uma variável regulada: a temperatura corporal central. Tais estruturas de controle são chamadas de sistemas de controle proporcional. Em humanos, os termorreceptores centrais (cérebro, coluna vertebral e trato gastrointestinal) e periféricos (pele) fornecem entrada aferente para centros termorreguladores localizados no hipotálamo, onde são comparados com o ponto de ajuste^{20,21}. O ponto de ajuste é puramente um conceito matemático usado para descrever o controle térmico das respostas efetoras e não implica um modelo neural específico de termorregulação ou temperatura definida. Em vez disso, descreve diferentes estágios de recrutamento dentro da magnitude de um erro de carga, que é a diferença entre a entrada e o ponto de ajuste²². Assim, os termorreceptores centrais e periféricos enviam informações para um integrador central, localizado no hipotálamo anterior pré-óptico²³. A noção de integração central é apoiada por dados que descrevem a proporção das contribuições das entradas de temperatura central e da pele no controle sudomotor^{24,25} e



vasomotor^{24,26,27}. Essas respostas também podem ser alteradas por fatores como ritmo circadiano, febre, fase do ciclo menstrual e aclimatação ao calor^{22,28}.

A noção de integração central evoluiu, com o surgimento de outros modelos regulatórios. Estes incluem um modelo no qual o equilíbrio térmico é alcançado através da regulação do calor através de uma gama de cargas de calor, detectando o fluxo de calor de e para o corpo e defendendo o conteúdo de calor corporal através de respostas termofetoras^{29,30}. Outro modelo sugere que circuitos termofetores independentes coordenam suas atividades para regular a temperatura corporal em torno de um ponto de equilíbrio^{11,31}. A termorregulação durante o exercício no calor é regulada de forma semelhante à do repouso e influenciada por fatores como o estado de hidratação e as condições ambientais, bem como a taxa de trabalho (ou seja, a intensidade do exercício)¹⁶.

4 EQUILÍBRIO TÉRMICO

O equilíbrio de calor humano refere-se ao equilíbrio entre a taxa interna de produção metabólica de calor e a taxa de troca de calor com o ambiente circundante através de vias sensíveis (isto é, convecção, condução e radiação) e insensíveis (isto é, evaporação).

Quatro parâmetros ambientais principais afetam as propriedades biofísicas do equilíbrio térmico humano: temperatura ambiente, umidade, velocidade do ar e radiação solar. Além dos fatores ambientais, os parâmetros dependentes da tarefa têm impacto na troca de calor: taxa de produção de calor metabólico e vestuário; assim como os parâmetros pessoais: área de superfície corporal, massa corporal, sexo, idade e aptidão aeróbica¹⁶.

5 PARÂMETROS AMBIENTAIS:

Temperatura ambiente, umidade, velocidade do ar, radiação solar

5.1 PARÂMETROS DEPENDENTES DA TAREFA:

Produção de calor metabólico, vestimentas (roupas)

5.2 PARÂMETROS PESSOAIS:

Área de superfície corporal, massa corporal, sexo, idade e aptidão aeróbica

5.3 PARÂMETROS AMBIENTAIS:

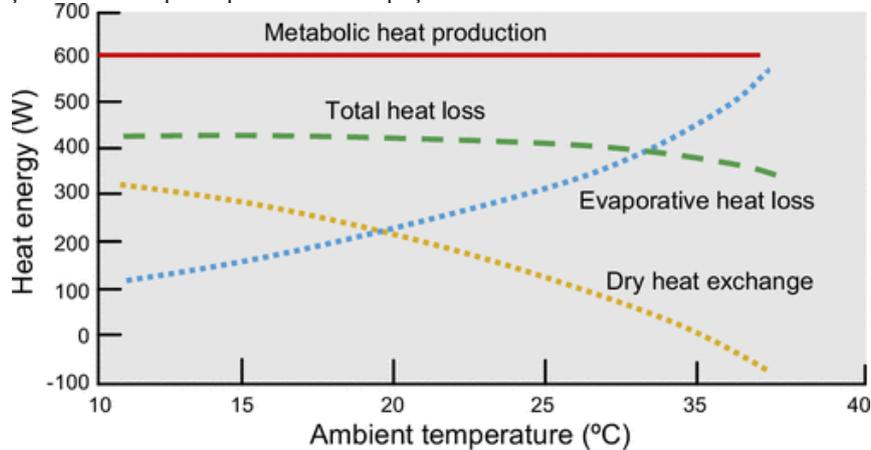
5.3.1 Temperatura ambiente

Durante o exercício, temperaturas ambientes superiores à temperatura da pele levaram ao ganho de calor sensível (ou seja, seco), enquanto temperaturas mais baixas levaram à perda de calor (FIGURA



1). Ambientes com alta temperatura ambiente e baixa umidade favorecem a perda de calor por evaporação, uma vez que o suor e a umidade da mucosa podem evaporar mais facilmente¹⁶.

Fig. 1 - À medida que a temperatura ambiente aumenta e se aproxima da temperatura da pele, a perda de calor seco é reduzida e a evaporação torna-se a principal via de dissipação de calor¹⁶.



5.3.2 Umidade

A umidade absoluta refere-se à quantidade de vapor d'água presente no ar. Na atmosfera, a umidade absoluta varia de quase zero a 30g/m³ quando o ar está saturado a 30^o C. A umidade do ar está fortemente relacionada ao clima. Os climas quentes e úmidos são normalmente encontrados em áreas de floresta tropical e os climas quentes e secos próximos aos desertos. A alta umidade absoluta compromete a capacidade de evaporação do suor da pele porque a diferença de vapor d'água (isto é, umidade) entre a superfície da pele e o ambiente é baixa¹⁶.

5.3.3 Velocidade do ar

A velocidade meteorológica padrão do vento é determinada a 10 m acima do solo e a velocidade do ar mais alta já registrada na Terra é 113,3 m/s. A velocidade do ar durante o exercício depende de fatores como a direção da viagem, a direção do vento e o terreno. O deslocamento do ar através do corpo resulta em troca de calor convectiva, dependendo do gradiente térmico entre o ar e a pele. O deslocamento do ar também ajuda com perda de calor por evaporação, pois remove a camada de vapor de água saturado que pode estagnar na pele¹⁶.

5.3.4 Radiação solar

A quantidade de radiação solar que atinge o corpo humano depende da localização na Terra, da hora do dia, da estação do ano e do nível da área da pele exposta.

A integração de parâmetros ambientais pode ser utilizada para fornecer um índice de severidade do ambiente térmico, com uma combinação de parâmetros utilizados para calcular diferentes índices. Uma meta-análise identificou mais de 300 índices térmicos, dos quais 185 foram incluídos em diversas



análises estatísticas³². Temperatura (98%), umidade relativa (UR: 77%) e velocidade do ar (72%) foram os parâmetros ambientais mais utilizados para calcular a severidade do ambiente, com radiação solar (45%) e uma a combinação dos quatro parâmetros (42%) é menos frequentemente integrada nestes cálculos. O índice mais comumente usado no esporte e no exercício é o globo do bulbo úmido. índice de temperatura (WBGT), que tem sido defendido pelo American College of Sports Medicine³³ e pela National Athletic Trainers' Association³⁴ e utilizado por diversas organizações desportivas internacionais (por exemplo, World Athletics, World Triathlon).

5.4 PARÂMETROS DEPENDENTES DA TAREFA

5.4.1 Produção de calor metabólico

O metabolismo humano é a soma do metabolismo do repouso (65 W/m²) e do exercício. A oxidação de substratos durante o exercício contribui significativamente para aumentar a temperatura central do corpo, uma vez que apenas 20 a 25%^{35,36} da energia metabólica é convertida em trabalho mecânico, sendo a maior parte libertada como calor. A maior taxa máxima de consumo de oxigênio já registrada (VO₂max) é de 96,7 ml/kg/min³⁷. Embora não seja sustentável durante um período muito longo, este nível de consumo de oxigênio equivale a 2.500 W de produção de calor metabólico, o que sublinha a grande contribuição da produção de calor induzida pelo exercício para o equilíbrio térmico humano¹⁶.

5.4.2 Vestimentas (roupas)

As roupas atuam como uma barreira entre a pele e o meio ambiente, alterando as propriedades de troca de calor em relação às condições ambientais. As propriedades do material e o ajuste de uma peça de roupa podem afetar a tensão térmica durante o exercício, reduzindo a dissipação de calor e promovendo a conservação do calor³⁸. Como tal, as propriedades isolantes e a resistência ao vapor de água das peças de vestuário usadas durante o exercício no calor devem ser tão baixas quanto possível. A capacidade de absorção de água do material também deve ser baixa, pois, o suor preso na roupa não evapora e não proporciona resfriamento. Além disso, as propriedades reflexivas de uma peça de vestuário são importantes em cenários de alta carga radiativa (ou seja, luz solar direta). Não é tanto a cor da roupa que é importante, mas as propriedades reflexivas dos corantes usados na roupa. A ventilação na camada de ar entre a pele e a vestimenta (isto é, efeito fole) é importante para a perda de calor durante o exercício no calor³⁹. Um exemplo do efeito fole é visto no deserto, onde nenhuma diferença na temperatura da pele foi observada ao usar roupas largas pretas ou brancas (ou seja, roupões), apesar de uma diferença de 6⁰C na temperatura da superfície das roupas (preto: 47 C; branco: 41 C)^{40,41,42}.



5.5 PARÂMETROS PESSOAIS

5.5.1 Área de superfície corporal

O calor gerado durante o metabolismo é perdido na superfície do corpo para evitar o armazenamento excessivo de calor. A área de superfície corporal é calculada usando uma fórmula baseada na altura e no peso: $\text{área de superfície} = 0,20247 \text{ altura (m)}^{0,725} \text{ peso (kg)}^{0,425^{43}}$, que foi validada usando técnicas de varredura tridimensional⁴⁴. Uma grande área de superfície corporal é benéfica para a perda de calor por evaporação, pois o número de glândulas sudoríparas ativas é proporcional à área de superfície⁴⁵. A perda de calor seco também é aumentada por ter uma área de superfície corporal maior quando a temperatura ambiente é inferior à temperatura da pele⁴⁶. Assim, para um determinado ambiente térmico, o potencial de perda de calor é maior naqueles com grande área de superfície corporal⁴⁷.

5.5.2 Relação área-massa da superfície corporal

Indivíduos com uma alta relação entre área de superfície corporal e massa experimentam menos armazenamento de calor durante a exposição ao calor não compensável do que aqueles com uma relação menor, devido à maior área para perda de calor seco e evaporativo em relação à massa corporal⁴⁷. A relação superfície/massa corporal diminui com o aumento da massa corporal e em maior extensão nas mulheres⁴⁸. Assim, para mulheres pesadas é mais difícil liberar o calor corporal do que para homens igualmente pesados. Isso foi confirmado em um estudo no qual um modelo térmico foi usado para avaliar a temperatura corporal central em mulheres de diferentes morfologias corporais, mostrando que mulheres relativamente gordas alcançam temperaturas corporais consideravelmente mais altas durante o exercício em um ambiente quente/úmido do que suas mulheres mais magras⁴⁹.

5.5.3 Sexo

Homens e mulheres diferem no tamanho corporal, sendo os homens geralmente mais pesados, mais altos e exibindo VO₂max mais alto. No entanto, quando padronizada para a área de superfície corporal, a produção metabólica de calor durante diversas tarefas é semelhante entre os sexos⁵⁰.

5.5.4 Idade

O envelhecimento impacta tanto na capacidade termorreguladora quanto na regulação de fluidos^{51,52}. Indivíduos mais velhos (>60 anos) apresentam temperatura corporal central em repouso mais baixa, capacidade vasodilatadora cutânea atenuada, resposta ao suor menos eficaz e sensibilidade termorreceptora diminuída em comparação com indivíduos mais jovens⁵¹⁻⁵³. Os idosos, também apresentam um limiar de sensação de sede mais elevado^{54,55}, menor nível de água corporal total^{56,57}, função renal reduzida^{56,58} e regulação prejudicada da vasopressina plasmática em repouso e



após desidratação^{59,60}. Estas funções reguladoras deterioram-se com o avanço da idade⁶¹ e aumentam o risco de desenvolver hipertermia e desidratação^{51,52,60,62,63}. No entanto, indivíduos mais velhos em boa forma retêm uma melhor capacidade de termorregulação e podem melhorar a capacidade termorreguladora com treinamento⁵⁹.

5.5.5 Adequação aeróbica

Demonstrou-se que o exercício regular de resistência que leva à melhoria da aptidão aeróbica (ou seja, VO₂max) aumenta a capacidade de perda de calor. O treinamento aeróbico ativo a vasodilatação cutânea em uma temperatura central mais baixa e aumenta o fluxo sanguíneo da pele para uma determinada temperatura central⁶⁴⁻⁶⁶. O aumento no fluxo sanguíneo da pele é amplamente mediado pela expansão do volume sanguíneo e pelo maior débito cardíaco que caracterizam o estado de treinamento⁶⁷. Também foi relatado que o treinamento de resistência reduz o limiar de temperatura interna para o início da sudorese, aumenta a taxa de suor em uma determinada temperatura central e aumenta a taxa de suor máxima^{65,68}. A modelagem sugere que um aumento no VO₂máx induzido pelo treinamento físico de 12 a 17% deveria reduzir o limiar de temperatura interna para o início da sudorese em 0,1°C⁶⁹. No entanto, a função melhorada da transpiração associada à aptidão aeróbica também pode estar relacionada com o treino de resistência regular, proporcionando um desafio térmico repetido que leva a melhorias na capacidade termorreguladora^{70,71}. A temperatura corporal central pode ser medida em diferentes locais do corpo, dependendo do tipo de equipamento e necessidade de precisão.

5.5.6 Doença causada pelo calor por esforço - exertional heat illness (EHI)

A produção de calor geralmente excede a capacidade de dissipação de calor. Embora as respostas termofisiológicas ao exercício no calor sejam bem compreendidas, as respostas individuais variam substancialmente^{72,73}. A gravidade da EHI varia ao longo do seu continuum, com queixas leves após câibras musculares associadas ao exercício, até preocupações mais sérias durante a síncope por calor e exaustão pelo calor, e riscos de risco de vida durante a insolação^{34,74-76}.

A desidratação e a ingestão de medicamentos específicos (ou seja, diuréticos) podem aumentar ainda mais o risco de síncope por calor, enquanto a expansão do volume sanguíneo induzida pela aclima a o ao calor pode reduzir o risco.

O fato de a insola o por esforço continuar sendo a terceira principal causa de morte em atletas nos Estados Unidos, depois de distúrbios cardíacos e traumatismos de cabeça e pesco o^{77,78}, enfatiza ainda mais a necessidade de reconhecimento precoce dos sintomas de EHI pelos profissionais de saúde, equipamento apropriado para tratar vítimas de insola o (isto  , banhos de gelo) e educa o dos participantes da corrida. Trabalhos considerando frequência cardíaca e taxa de suor, duas variáveis práticas (não invasivas), mostram ter maior poder preditivo na preven o da EHI⁷⁹.



6 EQUILÍBRIO HÍDRICO CORPORAL¹⁶

O volume total de água corporal representa aproximadamente 60% da massa corporal (variação: 45 a 75%) e depende da idade e do sexo, com valores mais baixos para idosos e mulheres. A água corporal pode ser dividida em compartimentos de fluido intracelular e extracelular. O compartimento intracelular representa aproximadamente (~) 40% da massa corporal, enquanto o compartimento extracelular pode ser segmentado nos subcompartimentos intersticial (~15% da massa corporal) e intravascular (ou seja, volume plasmático, ~5% da massa corporal).

Quando o exercício de intensidade moderada a alta é iniciado, ocorre uma redução no fluxo sanguíneo da pele mediada por vasoconstritores, o que contribui para fornecer sangue adicional aos músculos esqueléticos em atividade. Pouco tempo depois, inicia-se a vasodilatação cutânea para auxiliar na dissipação do calor gerado metabolicamente. A vasoconstrição esplâncnica e renal pode contribuir com 600 a 800 ml/min⁻¹ de sangue para esta resposta. O limiar de temperatura interna no qual ocorre a vasodilatação cutânea ativa está ligado à intensidade do exercício, com um aumento na taxa de trabalho atrasando o limiar em relação ao repouso.

A mudança no limiar de vasodilatação cutânea durante o exercício resulta em menor fluxo sanguíneo cutâneo para uma determinada temperatura central em comparação com o repouso. Esta resposta é exacerbada quando se exercita em condições ambientais frias em comparação com condições ambientais quentes, uma vez que as temperaturas mais baixas da pele suprimem a resposta vasodilatadora ativa ao aumento da temperatura interna, aumentando assim o limiar de temperatura para a vasodilatação. Fatores como a hora do dia, a fase do ciclo menstrual nas mulheres e a osmolalidade plasmática também demonstraram influenciar o limiar de início da vasodilatação cutânea.

A desidratação aguda está associada à diminuição da regulação glicêmica, piora do humor, embotamento do controle da pressão arterial, redução do fluxo sanguíneo cerebral durante a simpatoexcitação e intolerância ortostática.

A hipoidratação e a desidratação podem reduzir a capacidade de resposta das estruturas neurais centrais que regulam a perda de calor por evaporação, com um aumento no limiar de início da sudorese associado a uma inibição induzida pela hiperosmolalidade de neurônios sensíveis ao calor dentro do hipotálamo (isto é, núcleo pré-óptico mediano). Em análise, as perdas de água corporal não reabastecidas (isto é, hipohidratação) ou substituídas inadequadamente (isto é, desidratação) durante o exercício sob estresse térmico reduzem o volume sanguíneo e aumentam a osmolalidade, com a gravidade dessas respostas impactando na capacidade termorreguladora.



7 NUTRIÇÃO^{80,81,82}

A fonte primária de energia do ser humano é o carboidrato (CHO), que é formado por moléculas de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio. Sendo classificados em: monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos, cujo valor energético é igual ao das proteínas, que fornecem 4 kcal para cada grama⁸⁰.

Apesar de serem a principal fonte de energia, eles têm uma variedade de efeitos benéficos no corpo, incluindo aqueles na produção de hormônios e neurotransmissores, metabolismo, eficiência metabólica, sensibilidade à insulina e microbiota intestinal⁸⁰.

Os carboidratos são categorizados com base no grau de complexidade estrutural, são ingeridos na forma de moléculas complexas (amido) ou simples (glicose) e invariavelmente transformados pela digestão, em monossacarídeos (carboidratos simples): glicose, frutose e galactose⁸⁰.

A importância do uso dos carboidratos como fonte de energia durante a prática de diversas modalidades esportivas tem sido reconhecida desde o começo do século passado. Este macro nutriente compõe a maior fonte de energia na dieta de humanos, representando cerca de 40 a 80% da energia total consumida, e seu uso como recurso ergogênico para aumentar o desempenho esportivo é indicado por consistir em um substrato determinante no aumento da performance⁸⁰.

O primeiro estudo conhecido demonstrando a utilidade da glicose como fonte de energia chave para corredores de longa distância foi realizado em 1924. Corredores de maratona desenvolveram hipoglicemia com exaustão, de acordo com o estudo. Desde então, vários estudos afirmaram que a glicose é um macro nutriente importante para manter o desempenho em atividades de longo prazo⁸⁰.

Consumir carboidrato durante o exercício é uma prática comum em muitos esportes, principalmente esportes de resistência como a corrida. Quando comparada a uma dieta regular (50%) e baixa (10%) de carboidrato, uma dieta rica em carboidrato (70% da energia dietética de CHO) e grandes reservas de glicogênio muscular parece aumentar a capacidade de resistência. Embora o conhecimento da fisiologia e da nutrição humana, bem como as alterações dietéticas e a suplementação com nutrientes⁸⁰.

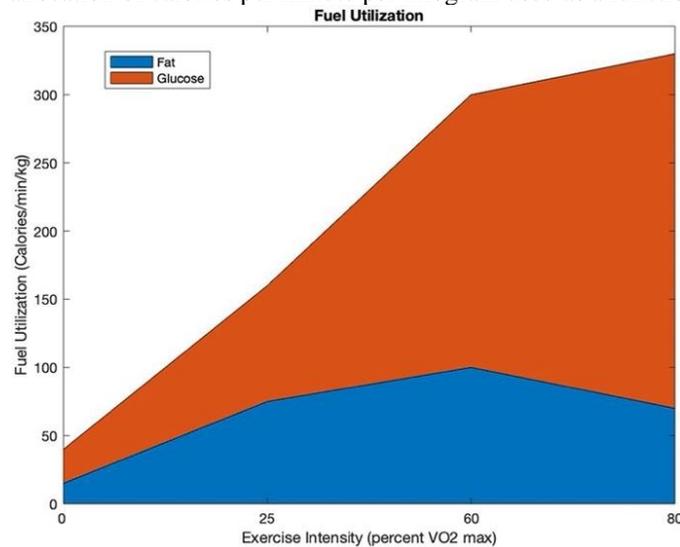
Quando alimentos ricos em carboidratos são consumidos, eles chegam ao estômago, onde são decompostos e um produto chamado glicose é liberado por meio de um processo denominado gliconeogênese^{81,82}. No metabolismo anaeróbico, o corpo utiliza apenas glicogênio como energia através da criação de glicose^{81,82}. Esse processo, denominado glicólise, produz energia rapidamente, mas apenas duas moléculas de ATP (energia) são obtidas^{81,82}. Por outro lado, o metabolismo aeróbico utiliza gordura e glicogênio como energia e cria 38 moléculas de ATP através de um processo mais demorado^{81,82}. Os sistemas aeróbico e anaeróbico ocorrem em compartimentos celulares separados (mitocôndrias e citoplasma, respectivamente) e muitas vezes em taxas diferentes, envolvem diferentes reagentes e produtos^{81,82}. Não é apenas de interesse a alocação dos dois processos energéticos



separados, mas também qual combustível está sendo utilizado^{81,82}. A glicose e os ácidos graxos fornecem a maior parte do combustível necessário para a produção de energia nos músculos esqueléticos durante o exercício aeróbico, enquanto a glicose é a principal fonte de energia no exercício anaeróbico^{81,82}.

O corpo tem significativamente mais energia disponível na forma de gordura, mas a taxa de utilização desta forma de energia não pode ser aumentada em altas intensidades de exercício quando o metabolismo anaeróbico é o mecanismo principal^{81,82}. Assim, o corpo consegue utilizar principalmente os ácidos graxos como fonte de energia em baixos níveis de intensidade^{81,82}. Quando não se exercita, 30% da energia do corpo vem do glicogênio e 70% das reservas de gordura^{81,82}. Essas percentagens mudam quando a intensidade aumenta, assim como o número de calorias queimadas. A glicose é preferida porque está prontamente disponível e é rapidamente metabolizada, mas é limitada^{81,82}.

FIG. 2 - Fuel Utilization: allocation of calories per minute per kilogram used as a function of percent VO₂max^{81,82}



Também está bem estabelecido que um aumento na intensidade do exercício medeia um aumento na glicogenólise e na oxidação de carboidratos e uma diminuição na oxidação de gordura. Esta mudança progressiva na mobilização e utilização do substrato energético durante o exercício em condições ambientais quentes pode representar a manutenção de uma intensidade relativa de exercício gradualmente crescente, mediada por uma diminuição induzida pela hipertermia na capacidade aeróbica máxima¹⁶.



7.1 ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS CONTEMPORÂNEAS PARA OTIMIZAR O DESEMPENHO EM CORREDORES DE LONGA DISTÂNCIA E CAMINHANTES⁸³

As provas de distância no atletismo incluem cross country, corrida de pista de 10.000 m, meia maratona e maratona de estrada e corridas de 20 e eventos de caminhada atlética de 50 km em diferentes terrenos e condições ambientais.

Os tempos de corrida para atletas de elite variam de 26 minutos a >4 horas, sendo os fatores-chave para o sucesso uma alta potência aeróbica, a capacidade de se exercitar com uma grande fração dessa potência e alta economia de corrida/caminhada. Os contribuintes relacionados com a nutrição incluem massa corporal e antropometria, capacidade de utilização de combustíveis, particularmente carboidratos (CHO) para produzir trifosfato de adenosina economicamente ao longo da duração do evento, e manutenção de

estado de hidratação razoável diante das perdas pelo suor induzidas pela intensidade do exercício e pelo ambiente. Estratégias de nutrição de corrida incluir alimentação rica em CHO nas horas dos dias anteriores ao evento para armazenar glicogênio em quantidades suficientes para as necessidades de combustível do evento, e em alguns casos, consumo de CHO e fluido durante a corrida para compensar perdas em eventos.

A ingestão benéfica de CHO varia de pequenas quantidades, incluindo enxaguatório bucal, no caso de provas mais curtas, até altas taxas de ingestão (75–90 g/h) nas corridas mais longas. Um personalizado e o plano de nutrição praticado deve equilibrar os benefícios dos líquidos e do CHO consumidos dentro das oportunidades práticas, em relação aos tempo, custo e risco de desconforto intestinal. Em ambientes quentes, estratégias de hiperhidratação ou resfriamento pré-corrida podem fornecer um pequeno, mas compensação útil para o desafio térmico acumulado e o deficit de fluidos. Alimentos esportivos (bebidas, géis, etc.) podem ajudar nas reuniões de treinamento/corrída planos de nutrição, com cafeína e, talvez, nitrato sendo usados como suplementos de desempenho baseados em evidências⁸³.

7.2 AJUSTES NA FUNÇÃO TERMORREGULADORA¹⁶

A taxa de suor corporal total durante a atividade física é determinada pela intensidade do exercício e pelas condições climáticas, mas normalmente varia entre 0,5 e 2,0 L·h⁻¹, com alguns atletas (~2%) suando >3,0 L·h⁻¹. Reduções graduais na massa corporal (por exemplo, 2 a 5%) devido ao deficit hídrico resultam em reduções acentuadas no volume de plasma (≥10%) e sangue (≥6%). A perda de volume plasmático com exercício leva a um estado de hipovolemia hiperosmótica que é proporcional à diminuição da água corporal total. Embora a composição do fluido secretor precursor contido nas glândulas sudoríparas écrinas seja semelhante à do plasma, uma quantidade considerável de íons (por exemplo, sódio e cloreto) dentro do fluido é reabsorvida à medida que atravessa o ducto



da glândula, levando a um a osmolalidade do suor é aproximadamente metade da do plasma. O aumento da pressão osmótica intravascular resultante da hiperosmolalidade plasmática causa uma mudança no líquido do compartimento intracelular para o extracelular, o que ajuda a defender o volume plasmático. Entretanto, em taxas elevadas de suor corporal total, o volume de líquido mobilizado do compartimento intracelular para a vasculatura é insuficiente para restaurar o volume plasmático e leva à desidratação intracelular¹⁶.

O aumento da temperatura central durante o exercício no calor com hipohidratação (2 a 7% de perda de massa corporal). Vários estudos demonstraram que a hipovolemia hiperosmótica induzida pela hipohidratação atrasa a sudorese termorreguladora e a vasodilatação cutânea em repouso e durante o exercício e reduz a sensibilidade da relação entre as respostas termofetoras e a temperatura central. Embora tanto a hipovolemia como a hiperosmolalidade influenciem estas respostas, o aumento na osmolalidade plasmática parece estar mais fortemente correlacionado com a redução da transpiração durante o exercício-estresse térmico do que a diminuição do volume sanguíneo^{A.17}.

8 CONCLUSÃO

Para manter a temperatura corporal estável, o corpo utiliza mecanismos de regulação dependentes de parâmetros ambientais, da tarefa e pessoais. Em exercícios intensos e em ambientes quentes, o fluxo sanguíneo na pele pode aumentar significativamente, e a transpiração também é elevada. No entanto, os reflexos não térmicos durante o exercício fazem com que a regulação do fluxo sanguíneo na pele seja diferente daquela em repouso. O corpo ajusta o limiar para a dilatação dos vasos sanguíneos da pele a uma temperatura corporal central mais alta e modifica a sensibilidade a essa mudança de temperatura. O treinamento regular melhora essas adaptações, permitindo que os atletas dissipem o calor de maneira mais eficaz.



REFERÊNCIAS

- Obermeyer Z, Samra JK, Mullainathan S. Individual differences in normal body temperature: longitudinal big data analysis of patient records. *BMJ*359: 359:j5468, 2017. doi:10.1136/bmj.j5468.
- Gilbert M, Busund R, Skagseth A, Nilsen PÅ, Solbø JP. Resuscitation from accidental hypothermia of 13.7C with circulatoryarrest.*Lancet*355: 375–376, 2000. doi:10.1016/S0140-6736(00)01021-7.
- Racinais S, Moussay S, Nichols D, Travers G, Belfekih T, Schumacher YO, Periard JD. Core temperature up to 41.5C during the UCI Road Cycling World Championships in the heat. *Br J Sports Med*53: 426–429, 2019. doi:10.1136/bjsports-2018-099881.
- Benzinger TH. Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. *Physiol Rev*49: 671–759, 1969. doi:10.1152/physrev.1969.49.4.671.
- Krauchi K, Wirz-Justice A. Circadian rhythm of heat production, heart rate, and skin and core temperature under unmasking conditions in men. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*267: R819–829, 1994. doi:10.1152/ajpregu.1994.267.3.R819.
- Fox RH, Woodward PM, Exton-Smith AN, Green MF, Donnison DVMH. Body temperatures in the elderly: a national study of physiological, social, and environmental conditions. *Br Med J*1:200–206, 1973. doi:10.1136/bmj.1.5847.200.
- Gomolin IH, Aung MM, Wolf-Klein G, Auerbach C. Older is colder: temperature range and variation in older people. *J Am Geriatr Soc*53: 2170–2172, 2005. doi:10.1111/j.1532-5415.2005.00500.x.
- Kenney WL. Thermoregulation at rest and during exercise in healthy older adults. *Exerc Sport Sci Rev*25: 41–76, 1997.
- Baker FC, Waner JI, Vieira EF, Taylor SR, Driver HS, Mitchell D. Sleep and 24 hour body temperatures: a comparison in youngmen, naturally cycling women and women taking hormonal contra-ceptives. *J Physiol*530: 565–574, 2001. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.0565k.x.
- Cagnacci A, Arangino S, Tuveri F, Paoletti AM, Volpe A. Regulation of the 24h body temperature rhythm of women in luteal phase: role of gonadal steroids and prostaglandins. *Chronobiol Int*19: 721–730, 2002. doi:10.1081/CBI-120005394.
- Romanovsky AA. Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*292: R37–R46, 2007. doi:10.1152/ajpregu.00668.2006.
- Bierman W. The temperature of the skin. *JAMA*106: 1158–1162, 1936. doi:10.1001/jama.1936.02770140020007.
- Gagge AP, Gonzalez RR. Mechanisms of heat exchange: biophysics and physiology. In: *Handbook of Physiology: Environmental Physiology*. Bethesda, MD: American Physiological Society, 1996, p. 45–84.
- Sawka MN, Chevront SN, Kenefick RW. High skin temperature and hypohydration impair aerobic performance. *Exp Physiol*97:327–332, 2012. doi:10.1113/expphysiol.2011.061002.
- Olesen BW. Thermal comfort. *Bruel and Kjaer Technical Review*2:3–41, 1982.



Périard JD, Eijsvogels TMH, Daanen HAM. Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. *Physiol rev.* vol 101, october 2021, pg 1873-1979

Marconi MA, Lakatos EM. *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo, SP, 8ª ed. Atlas, pg. 200

Flouris AD, Schlader ZJ. Human behavioral thermoregulation during exercise in the heat. *Scand J Med Sci Sports*25: 52–64, 2015. doi:10.1111/sms.12349.

Schlader ZJ, Vargas NT. Regulation of body temperature by auto-nomic and behavioral thermoeffectors. *Exerc Sport Sc Rev*47: 116–126, 2019. doi:10.1249/JES.000000000000180.

Hammel HT, Jackson DC, Stolwijk JA, Hardy JD, Stromme SB. Temperature regulation by hypothalamic proportional control with an adjustable set point. *JApplPhysiol*18: 1146–1154, 1963. doi:10.1152/jappl.1963.18.6.1146.

Hensel H. Neural processes in thermoregulation. *Physiol Rev*53:984–1017, 1973. doi:10.1152/physrev.1973.53.4.948.

Gisolfi CV, Wenger CB. Temperature regulation during exercise: old concepts, new ideas. *Exerc Sport Sci Rev*12: 339–372, 1984.

Boulant JA. Hypothalamic neurons regulating body temperature. In: *Handbook of Physiology: Environmental Physiology*, edited by Fregly MJ, Blatteis CM. New York: Oxford Press, 1996, p.105–125.

Bleichert A, Behling K, Scarperi M, Scarperi S. Thermoregulatory behavior of man during rest and exercise. *Pflugers Arch*338: 303–312, 1973. doi:10.1007/BF00586072.

Wyss CR, Brengelmann GL, Johnson JM, Rowell LB, Niederberger M. Control of skin blood flow, sweating, and heart rate: role of skin vs. core temperature. *J Appl Physiol*36: 726–733, 1974. doi:10.1152/jappl.1974.36.6.726.

Olofsson P. Increasing mean skin temperature linearly reduces the core-temperature thresholds for vasoconstriction and shivering in humans. *Anesthesiology*82: 1160–1168, 1995. doi:10.1097/0000542-199505000-00011.

Frank SM, Raja SN, Bulcao CF, Goldstein DS. Relative contribution of core and cutaneous temperatures to thermal comfort and auto-nomic responses in humans. *J Appl Physiol*86: 1588–1593, 1999. doi:10.1152/jappl.1999.86.5.1588.

Stephenson LA, Kolka MA. Effect of gender, circadian period and sleep loss on thermal responses during exercise. *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*, edited by Pandolf KB, Sawka MN, Gonzalez RR. Indianapolis, IN: Benchmark Press, 1988, p.267–304.

Bazett HC. Theory of reflex controls to explain regulation of body temperature at rest and during exercise. *J Appl Physiol*4: 245–262, 1951. doi:10.1152/jappl.1951.4.4.245

Webb P. The physiology of heat regulation. *Am J Phys Regul Integr Comp Physiol*268: R838–R850, 1995. doi:10.1152/ajpregu.1995.268.4.R838.



Kobayashi S. Temperature-sensitive neurons in the hypothalamus: a new hypothesis that they act as thermostats, not as transducers. *Prog Neurobiol*32: 103–135, 1989. doi:10.1016/0301-0082(89)90012-9.

Loannou LG. Thermal indices and occupational heat stress: a systematic review and meta-analysis. In: *Effects of Heat on Behavioral and Physiological Mechanisms of the Human Thermoregulatory System during Rest, Exercise, and Work (PhD Thesis)*. Thessaly, Greece: University of Greece, chap 6, 2020.

Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M, Moran DS, Pyne SW, Roberts WO. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc*39: 556–572, 2007. doi:10.1249/MSS.0b013e31802fa199.

Casa DJ, DeMartini JK, Bergeron MF, Csillan D, Eichner ER, Lopez RM, Ferrara MS, Miller KC, O'Connor F, Sawka MN, Yeargin SW. National Athletic Trainers' Association position statement: exertional heat illnesses. *J Athl Train*50: 986–1000, 2015. doi:10.4085/1062-6050-50.9.07.

Kristoffersen M, Sandbakk O, Ronnestad BR, Gundersen H. Comparison of short-sprint and heavy strength training on cycling performance. *Front Physiol*10: 1132, 2019. doi:10.3389/fpls.2019.01132, 10.3389/fphys.2019.01132.

Lucía A, Hoyos J, Perez M, Santalla A, Chicharro JL. Inverse relationship between VO₂max and economy/efficiency in world-class cyclists. *Med Sci Sports Exerc*34: 2079–2084, 2002. doi:10.1249/01.MSS.0000039306.92778.DF

Ronnestad BR, Hansen J, Stenslokken L, Joyner MJ, Lundby C. Case Studies in Physiology: Temporal changes in determinants of aerobic performance in individual going from alpine skier to world junior champion time trial cyclist. *J Appl Physiol*127: 306–311, 2019. doi:10.1152/jappphysiol.00798.2018.

Daanen HA. Physiological strain and comfort in sports clothing. In: *Textiles for Sportswear*, edited by Shishoo R. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier/Woodhead Publishing, 2015, p.153–168.

Havenith G. Interaction of clothing and thermoregulation. *Exog Dermatol*1: 221–230, 2002. doi:10.1159/000068802.

Shkolnik A, Taylor CR, Finch V, Borut A. Why do Bedouins wear black robes in hot deserts? *Nature*283: 373–375, 1980. doi:10.1038/283373a0.

Moran-Cortes, J.F.; Gómez-Martín, B.; Escamilla-Martínez, E.; Sánchez-Rodríguez, R.; Gómez-Carrión, Á.; Martínez-Nova, A. Thermoregulation in Two Models of Trail Run Socks with Different Fabric Separation. *Life* 2023, 13, 1768. <https://doi.org/10.3390/life13081768>

Di Domenico I, Hoffmann SM, Collins PK. O papel das roupas esportivas na termorregulação, conforto e desempenho durante exercícios no calor: uma revisão narrativa. *Sports Med - Aberto* 8, 58 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00449-4>

DuBois D, DuBois EF. Clinical calorimetry: Tenth paper a formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med (Chic)*XVII: 863–871, 1916. doi:10.1001/archinte.1916.00080130010002.

Tikuisis P, Meunier P, Jubenville CE. Human body surface area measurement and prediction using three-dimensional body scans. *Eur J Appl Physiol*85: 264–271, 2001. doi:10.1007/s004210100484.



Lee JB, Park TH, Lee HJ, Yun B. Sex-related differences in sudomotor function in healthy early twenties focused on activated sweat gland density. *Chin J Physiol*63: 1, 2020. doi:10.4103/CJP.CJP_46_19.

Notley SR, Park J, Tagami K, Ohnishi N, Taylor NA. Morphological dependency of cutaneous blood flow and sweating during compensable heat stress when heat-loss requirements are matched across participants. *J Appl Physiol*121: 25–35, 2016. doi:10.1152/jappphysiol.00151.2016.

Cramer MN, Jay O. Biophysical aspects of human thermoregulation during heat stress. *Auton Neurosci*196: 3–13, 2016. doi:10.1016/j.autneu.2016.03.001.

Robinette KM, Daanen H, Paquet E. The CAESAR project: A 3-D surface anthropometry survey. In: *Proceedings–2nd International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, 3DIM 1999*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999, p. 380–386.

Yokota M, Berglund LG, Bathalon GP. Female anthropometric variability and their effects on predicted thermoregulatory responses to work in the heat. *Int J Biometeorol*56: 379–385, 2012. doi:10.1007/s00484-011-0441-6.

Zhai Y, Li M, Gao S, Yang L, Zhang H, Arens E, Gao Y. Indirect calorimetry on the metabolic rate of sitting, standing and walking office activities. *Build Environ*145: 77–84, 2018. doi:10.1016/j.buildenv.2018.09.011.

Blatteis CM. Age-dependent changes in temperature regulation—mini review. *Gerontol*58: 289–295, 2012. doi:10.1159/000333148.

Chester JG, Rudolph JL. Vital signs in older patients: age-related changes. *J Am Med Dir Assoc*12: 337–343, 2011. doi:10.1016/j.jamda.2010.04.009.

Guergova S, Dufour A. Thermal sensitivity in the elderly: a review. *Ageing Res Rev*10: 80–92, 2011. doi:10.1016/j.arr.2010.04.009.

Mack GW, Weseman CA, Langhans GW, Scherzer H, Gillen CM, Nadel ER. Body fluid balance in dehydrated healthy older men: thirst and renal osmoregulation. *J Appl Physiol*76:1615–1623, 1994. doi:10.1152/jappl.1994.76.4.1615.

Phillips PA, Rolls BJ, Ledingham JG, Forsling ML, Morton JJ, Crowe MJ, Wollner L. Reduced thirst after water deprivation in healthy elderly men. *N Engl J Med*311: 753–759, 1984. doi:10.1056/NEJM198409203111202.

Davis KK. Disorders of fluid balance: dehydration and hyponatremia. In: *Principles of Geriatric Medicine and Gerontology*, edited by Hazard WB, Blass JP, Ettinger WH, Halter JB. New York: McGrawHill, 1994, p.1182–1190.

Schoeller DA. Changes in total body water with age. *Am J Clin Nutr*50: 1176–1181, 1989. doi:10.1093/ajcn/50.5.1176.

Lindeman RD, Tobin J, Shock NW. Longitudinal studies on the rate of decline in renal function with age. *J Am Geriatr Soc*33: 278–285, 1985. doi:10.1111/j.1532-5415.1985.tb07117.x.

Miller JH, Shock NW. Age differences in the renal tubular response to antidiuretic hormone. *J Gerontol*8: 446–450, 1953. doi:10.1093/geronj/8.4.446.



Sheehy CM, Perry PA, Cromwell SL. Dehydration: biological considerations, age-related changes, and risk factors in older adults. *BiolRes Nurs*1: 30–37, 1999. doi:10.1177/109980049900100105.

Bongers CC, Eijsvogels TM, Nyakayiru J, Veltmeijer MT, ThijssenDH, Hopman MT. Thermoregulation and fluid balance during a 30-km march in 60- versus 80-year-old subjects. *Age (Dordr)*36:9725, 2014. doi:10.1007/s11357-014-9725-1.

Begum MC. A review of the literature on dehydration in the institutionalized elderly. *Eur J Clin*5: 47–53, 2010.

Mentes J. Oral hydration in older adults: greater awareness is needed in preventing, recognizing, and treating dehydration. *Am J Nurs*106: 40–49, 2006. doi:10.1097/00000446-200606000-00023.

Beaudin AE, Clegg ME, Walsh ML, White MD. Adaptation of exercise ventilation during an actively-induced hyperthermia following passive heat acclimation. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*297: R605–R614, 2009. doi:10.1152/ajpregu.90672.2008.

Roberts MF, Wenger CB, Stolwijk JA, Nadel ER. Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*43: 133–137, 1977. doi:10.1152/jappl.1977.43.1.133.

Thomas CM, Pierzga JM, Kenney WL. Aerobic training and cutaneous vasodilation in young and older men. *J Appl Physiol* (1985)86:1676–1686, 1999. doi:10.1152/jappl.1999.86.5.1676.

Simmons GH, Wong BJ, Holowatz LA, Kenney WL. Changes in the control of skin blood flow with exercise training: where do cutaneous vascular adaptations fit in? *Exp Physiol*96: 822–828, 2011. doi:10.1113/expphysiol.2010.056176.

Henane R, Flandrois R, Charbonnier JP. Increase in sweating sensitivity by endurance conditioning in man. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*43: 822–828, 1977. doi:10.1152/jappl.1977.43.5.822.

Havenith G. Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *J Appl Physiol* (1985)90:1943–1954, 2001. doi:10.1152/jappl.2001.90.5.1943.

Ravanelli N, Gagnon D, Imbeault P, Jay O. A retrospective analysis to determine if exercise training-induced thermoregulatory adaptations are mediated by increased fitness or heat acclimation. *Exp Physiol*106: 282–289, 2021. doi:10.1113/EP088385.

Calegari A, Souza RM. Termorregulação e desempenho esportivo em condições de calor extremo. *evinci, unibrasil*, volume 9, número 2, p. 1e2, outubro, 2023.

Veltmeijer MT, Thijssen DH, Hopman MT, Eijsvogels TM. Within subject variation of thermoregulatory responses during repeated exercise bouts. *Int J Sports Med*36: 631–635, 2015. doi:10.1055/s-0034-1398676.

Westwood CS, Fallowfield JL, Delves SK, Nunns M, Ogden HB, Layden JD. Individual risk factors associated with exertional heat illness: a systematic review. *Exp Physiol*106: 191–199, 2021. doi:10.1113/EP088458.

Leon LR, Bouchama A. Heat stroke. *Compr Physiol*5: 611–647, 2015. doi:10.1002/cphy.c140017.



Sawka MN, Leon LR, Montain SJ, Sonna LA. Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Compr Physiol*1: 1883–1928, 2011. doi:10.1002/cphy.c100082.

Sonna LA, Sawka MN, Lilly CM. Exertional heat illness and human gene expression. *Prog Brain Res*162: 321–346, 2007. doi:10.1016/S0079-6123(06)62016-5.

Howe AS, Boden BP. Heat-related illness in athletes. *Am J SportsMed*35: 1384–1395, 2007. doi:10.1177/0363546507305013.

Barrow MW, Clark KA. Heat-related illnesses. *Am Fam Physician*58: 749–756, 759, 1998.

Andrade MT, Nunes-Leite MMS, Bruzzi RS, Souza CH, Uendele-Pinto JP, Prado LS, Soares DD, Gonçalves DAP, Coimbra CC, Wanner SP. Predicting the body core temperature of recreational athletes at the end of a 10 km self-paced run under environmental heat stress. *Experimental Physiology*, 108, 852–864 2023. <https://doi.org/10.1113/EP091017>

Santos,CN, Denadai LKV, Cruz MFA. The importance of carbohydrate for sports performance in running athletes: an integrative literature review. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 6, e19712642260, 2023
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i6.42260>

Cook C, Chen G, Hager WW, Lenhart S. Optimally controlling nutrition and propulsion force in a long-distance running race. *Front. Nutr.* 10:1096194 2023. doi: 10.3389/fnut.2023.1096194

Stipanuk MH, Caudill MA. *Biochemical, Physiological and Molecular Aspects of Human Nutrition*. 3rd ed. St. Louis, MO: Elsevier/Saunders (2013).

Burke LM, Jeukendrup AE, Jones AM, Mooses M. Contemporary Nutrition Strategies to Optimize Performance in Distance Runners and Race Walkers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2019 Mar 1;29(2):117-129. doi: 10.1123/ijsnem.2019-0004. Epub 2019 Apr 4. PMID: 30747558.