



## O IMPACTO DA ALTITUDE E DO CALOR NA PERFORMANCE NO FUTEBOL



Publicado: Junho 2014/Autores: **Lee Taylor** e **Ian Rollo**/Tópicos: Hidratação e Termorregulação, Treino e Performance

Lee Taylor | Palestrante Sênior sobre Fisiologia do Exercício | Departamento de Ciências do Esporte e Atividade Física | Universidade de Bedfordshire | Bedfordshire | Reino Unido

Ian Rollo | Cientista Sênior | Instituto Gatorade de Ciências do Esporte | Leicester | Reino Unido

- O futebol é jogado em diversas condições ambientais, incluindo condições extremas de calor e hipóxia.
- As condições de hipóxia e calor ambiental estão associadas com reduções em corridas de alta velocidade e especificamente distâncias percorridas de sprints, ambas situações que provavelmente irão influenciar diretamente o resultado do jogo.
- Os efeitos negativos da hipóxia podem ser compensados, em parte, por um período de aclimatização à altura, que depende da altitude em que o jogo será realizado. O preparo nutricional pode incluir nitratos na dieta, assim como o ferro.
- Estratégias específicas podem aliviar alguns dos decréscimos induzidos pelo calor na performance do futebol, com as recomendações incluindo protocolos de aclimatação específicos ao calor, métodos mistos de resfriamento (antes do jogo e nos intervalos) e a manutenção do bom estado de hidratação anteriormente e durante a partida.
- Mais pesquisas são necessárias para modificar e otimizar as intervenções para atingir as demandas específicas ao futebol em condições ambientais extremas de calor e altitude.

### LEITURA RECOMENDADA

**Maio de 2018 SSE #180:** Água Fria e Gelo na Redução da Temperatura Corporal durante Exercícios no Calor

**Junho de 2018 SSE #181:** O Conceito “Potência Crítica” e a Performance nos Exercícios de Alta Intensidade

**Agosto de 2018 SSE #182:** Estratégia de Ingestão de Líquidos para Hidratação Ideal e Performance: Planejamento de Ingestão de Líquidos vs. Ingestão na Sede

### INTRODUÇÃO

O futebol é um esporte com participação universal, nos países ao redor do mundo. É um esporte intermitente, de alta intensidade, normalmente jogado em 90 minutos, consistindo de 2 tempos de 45 minutos cada, com um intervalo de 15 minutos entre eles. Durante a partida, a performance do jogador é normalmente caracterizada pela distância total percorrida em um jogo, distância total em sprints (arrancadas) e a execução de habilidades técnicas (sucesso de passes, chutes ou cruzamentos). As demandas físicas do futebol são, por sua vez, dependentes da interação complexa dos sistemas cardiovascular e muscular, como suporte para as provisões de energia aeróbica e anaeróbica para estas atividades específicas do futebol (Bangsbo, 2014; Mohr et al., 2005). Eventos que definem o jogo são frequentemente relacionados à integração de sucesso das corridas de alta intensidade com as capacidades técnicas. Por exemplo, uma arrancada (sprint em linha reta) é observada com frequência antes da marcação de um gol. Logo, a arrancada é dependente da habilidade momentânea de realizar sprints repetitivos e a finalização de sucesso em um chute, é considerada a habilidade técnica (Mohr et al., 2012; Faude et al., 2012).

Nos jogos de futebol, profissional ou amador, as pesquisas mostram uma redução na distância total alcançada pelos jogadores em altas intensidades (2,6-57%) em ambientes quentes (Mohr et al., 2003; Mohr et al., 2004; Grantham et al., 2010; Mohr et al., 2012; Mohr & Krstrup, 2013) e em hipóxia (3,1-20%) (McSharry, 2007; Garvican et al., 2013; Nassis, 2013). A frequência cardíaca média e o acúmulo de lactato sanguíneo foram relatados estarem inalterados em ambientes quentes, apesar das alterações mencionadas no total de distância percorrida e nas corridas de alta intensidade (Mohr et al., 2012). Durante os exercícios em ambientes hipóxicos,

maiores transtornos nos processos metabólicos são observados (Billaut & Aughey, 2013) em conjunto com a capacidade de corrida reduzida (McSharry, 2007; Garvican et al., 2013; Nassis, 2013).

A quantificação dos decréscimos mediados pelas condições ambientais na performance no futebol é importante para direcionar os órgãos reguladores, médicos e técnicos (Mohr et al., 2012; Nassis, 2013). Os clubes de elite que jogam na Liga dos Campeões e na Liga Europeia (Champions e Europa League) da União das Associações Europeias de Futebol (UEFA) poderiam jogar em altitudes tão altas quanto 1.000 m acima do nível do mar. Contudo, as “baixas altitudes” classificadas entre 500-2.000 m são suficientes para produzir pequenos danos na performance aeróbica, devido a uma redução da pressão parcial de oxigênio (Gore et al., 2013; Bartsch et al., 2008). A redução na captação máxima de oxigênio vai inibir a recuperação da atividade repetitiva de sprints e interferir de maneira negativa na distância total percorrida em um jogo. Além da hipóxia, os mesmos clubes de futebol jogam em temperaturas > 30°C durante os estágios iniciais e finais da temporada. Além disso, 2 das 3 próximas Copas do Mundo de Futebol da Federação Internacional de Futebol (FIFA) (Brasil: 2014; Catar: 2022) serão jogadas no calor extremo de cerca de 30°C e podem possivelmente exceder > 40°C, respectivamente. O estresse induzido pelo calor e esforço físico (EHS - Exertional heat stress) provoca reduções substanciais na performance específica ao futebol, devido ao aumento da temperatura corporal, entre outros mecanismos multifatoriais que aceleram a fadiga (Mohr et al., 2010; Mohr et al., 2012; Mohr & Krstrup, 2013).

Logo, as altas temperaturas ambientais e as reduções na pressão parcial de oxigênio (como vistas em altas altitudes; condições de hipóxia) podem influenciar na realização de atividades específicas

do futebol (Garvican et al., 2013; Mohr & Krstrup, 2013), na recuperação dos esforços de alta intensidade (Mohr et al., 2003; Garvican et al., 2013) assim como na execução de habilidades técnicas (Banderet & Lieberman, 1989; Mohr et al., 2012; Nassis, 2013). Portanto, as possíveis intervenções para neutralizar as influências negativas dos ambientes extremos são de muito interesse, e podem ter um impacto significativo no resultado da partida. Com esta finalidade, é importante que os técnicos, analistas de performance e cientistas do esporte quantifiquem com precisão e entendam as diferenças e complexidades no perfil de atividades de um jogador, em condições ambientais extremas e fora delas, para otimizar e racionalizar as intervenções e recomendações práticas (Di Salvo et al., 2006; Di Salvo et al., 2007).

## HIPÓXIA E O FUTEBOL

A concepção equivocada em relação à prática de exercício em altitudes é de que a composição atmosférica esteja alterada. No entanto, isto é falso, já que a porcentagem de oxigênio atmosférico continua em 20,93% no nível do mar ou em altitudes moderadas (2.000 m - 3.000 m), até altas altitudes (3.000 - 5.000 m) (Bartsch et al., 2008, tabela 1). Na verdade, é a redução na pressão parcial de oxigênio (e outros gases ambientais que têm a pressão reduzida à medida que a altitude aumente) que se altera, reduzindo a quantidade total de moléculas inspiradas de oxigênio, a cada respiração. Apesar da existência de ajustes metabólicos e fisiológicos na prática de exercícios de alta intensidade em ambientes com baixa captação de oxigênio, comparado ao nível do mar, eles não são suficientes para compensar a pressão parcial reduzida de oxigênio. A oferta de oxigênio comprometida, especificamente o número total de moléculas de oxigênio captados por respiração, reduz a distribuição máxima de oxigênio para a musculatura esquelética, comprometendo a capacidade aeróbica (Billaut & Aughey, 2013) e prolongando o tempo de recuperação da atividade intermitente de alta intensidade (Garvican et al., 2013). Especificamente, esta hipoxemia arterial (definida como uma redução de 3% na saturação arterial de oxigênio comparada com a condição pré-exercício, ou neste caso, aos valores do nível do mar) atrapalha a habilidade de praticar exercício com altas intensidade e de realizar movimentos de aceleração consecutivos (Billaut & Aughey, 2013). Estes movimentos são essenciais nos momentos que definem o jogo de futebol (Gregson et al., 2010; Faude et al., 2012).

Jogadores de elite nativos ao nível do mar sofrem reduções na performance (habilidade de realizar e de se recuperar de corridas de alta intensidade) quando jogam futebol em locais com mais de 1.200 m de altitude (Nassis, 2013). Durante a Copa do Mundo da FIFA de 2010 (África do Sul), os jogos foram realizados em uma variedade de "baixas altitudes" (0 m - 1.400 m e 1.401 m - 1.753 m) (Bartsch et al., 2008). Ficou evidente que durante os campeonatos onde a altitude excedeu 1.200 m, houve a redução da distância total percorrida pelos jogadores em ~3,1% ( $p < 0,05$ ) em comparação com o nível do mar (0 m) (Nassis, 2013). Curiosamente, a habilidade de corrida com uma alta intensidade - exemplo, arrancadas - é reduzida em aproximadamente 150 vezes em 1.600 m de altitude em comparação com controles próximos ao nível do mar, nos jogadores jovens do futebol de elite (Garvican et al., 2013). De maneira interessante, apesar da redução na habilidade de correr em altas velocidades entre os jogadores de elite em altitudes entre 1.200 m - 1.750 m, ela não é acompanhada por uma redução na execução de habilidades técnicas de sucesso (Nassis, 2013). Nos jogos realizados em altas altitudes de 3.600 m (Tabela 1) também houve a redução da distância percorrida pelos jogadores juvenis do futebol de elite durante um jogo (Aughey et al., 2013). Neste estudo, os jogadores

nativos ao nível do mar (Austrália) e à altitude (Bolívia) jogaram duas partidas amistosas em local com 430 m de altitude e três amistosas em locais com 3.600 m. A distância total percorrida por minuto e a alta velocidade da corrida por minuto foram reduzidas na altitude nas duas equipes, em comparação com os jogos realizados no nível do mar. Adicionalmente, os jogos em altitude foram realizados ao longo de 13 dias, por exemplo, nos dias 1, 6 e 13. Desta forma, encontrou-se que nos 13 dias de altitude a aclimatização não foi suficiente para restaurar as performances em relação àquelas comparadas ao nível do mar (Aughey et al., 2013).

Anteriormente a maio de 2007, a FIFA proibiu partidas internacionais de futebol em altitude maior que 2.500 m em três ocasiões diferentes (Gore et al., 2013). O último destes vetos (maio de 2007) foi revertido logo após o seu anúncio (Gore et al., 2013). Uma série de pronunciamentos e retrações foram realizados, apesar da pesquisa específica em relação ao futebol detalhar o declínio na performance física durante jogos realizados em altitudes baixas, moderadas e altas (Gore et al., 2013). Tentativas foram realizadas para fornecer dados empíricos retirados dos dados de jogos em relação ao paradigma da performance no futebol em altitudes, com um Estudo Internacional sobre Futebol em Altitudes de 3.600 m finalizado em 2012 (ISA3600 [Gore et al., 2013]). No entanto, apesar das inovações e abordagens bem-organizadas do ISA 3600, a baixa confiabilidade e a alta variabilidade foram relatadas em medidas de resultados essenciais (exemplo, a distância total percorrida e a distância de corrida em alta velocidade) durante os jogos de futebol devido a fatores específicos relacionados (tática, oposição) e às condições ambientais (Bangsbo, 2014; Bloomfield et al., 2005; Gregson et al., 2010). Portanto, interferências em relação às reduções mediadas pelas condições ambientais mencionadas anteriormente na performance no futebol, derivadas dos jogos de futebol, são problemáticas. Por exemplo, foi relatado que um indicador chave de performance, como arrancadas, tiveram pouca confiabilidade jogo a jogo (coeficiente de variação ~36%) (Gregson et al., 2010), apresentando interferências nestas reduções de performance mediadas pelo ambiente (calor, frio, hipóxia, etc.), e possíveis intervenções/recomendações práticas para minimizar tais reduções, difíceis de serem averiguadas a partir dos dados de jogos.

Para se ter um melhor entendimento dos efeitos das diferentes condições ambientais na performance no futebol, condições mais controladas são necessárias. Simulações de atividades do futebol baseadas em laboratório, ou em campo, que repliquem as demandas dos jogos aos jogadores de futebol, sem os fatores de confusão dos jogos mencionados acima (tática, oposição, condições ambientais) podem fornecer estes insights. Protocolos com distâncias determinadas, velocidades constantes e realizadas em esteiras motorizadas limitaram a validade ecológica para o futebol e, portanto, protocolos em campo e com distâncias variadas foram desenvolvidos para aumentar a validação das medidas. O teste intermitente de performance no futebol (iSPT) é um protocolo individualizado que foi utilizado para investigar o impacto da hipóxia (1.000 m; 18,4% de oxigênio) na performance de corridas dos jogadores (Taylor et al., 2014a; Aldous et al., 2013). Os dados-piloto mostraram que a distância total percorrida (Figura 1b) e a distância percorrida em alta velocidade (Figura 2b) foram consideravelmente maiores no controle, comparado às condições hipóxicas. Além disso, maior redução na corrida em alta velocidade foi observada nos 15 minutos finais do iSPT em comparação com todos os outros blocos de 15 minutos do protocolo. É razoável sugerir que as diferenças dependentes do tempo de corrida em altas velocidades em altitude devem ser fundamentais para o resultado do jogo. Por exemplo, nas Copas do Mundo de 1998 e 2002 da FIFA, a maioria dos gols foi marcada na segunda metade da partida. ( $p < 0,05$ ) (Armatas et al., 2007). Adicionalmente, mais gols foram marcados/realizados nos 15 minutos finais de jogo (76-

90min) em comparação com todas as outras fases de 15 minutos. Este fenômeno na marcação de gols é devido provavelmente à incapacidade em manter a habilidade da realização de sprints repetitivos, ou discretos episódios de capacidade máxima de performance em sprints no estado de não-fadiga, nos 15 minutos finais de jogo (Rollo, 2014; Aldous et al., 2013). Estas reduções na performance parecem ser exacerbadas em ambientes hipóxicos (Garvican et al., 2013; Taylor et al., 2014a).

FIGURA 1

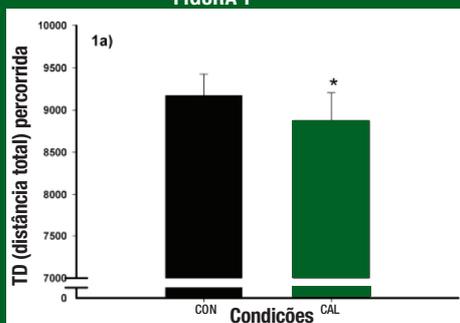


Figura 1a . A distância total (TD) percorrida foi significativamente reduzida ( $P < 0,05$ ;  $\downarrow 3,23\%$ ) em condições de calor (HOT) ( $8876,2 \pm 328,95m$ ) em comparação com temperaturas de controle amenas (CON) ( $9172,67 \pm 253,91m$ ).

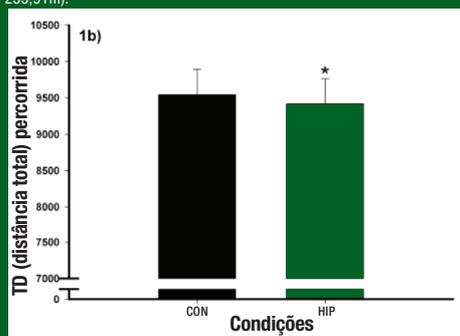


Figura 1b . A distância total (TD) percorrida foi significativamente reduzida ( $P < 0,05$ ;  $\downarrow 1,27\%$ ) em condições de hipóxia (HYP) ( $9420 \pm 543m$ ) em comparação com condições de controle (CON) ( $9542 \pm 353m$ ).

FIGURA 2

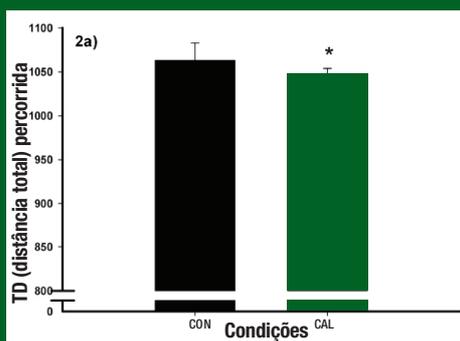


Figura 2a . A distância em sprints (SD) percorrida foi significativamente reduzida ( $P < 0,05$ ;  $\downarrow 1,51\%$ ) em condições de calor (HOT) ( $1041 \pm 11m$ ) em comparação com temperaturas de controle amenas (CON) ( $1063 \pm 19,94m$ ).

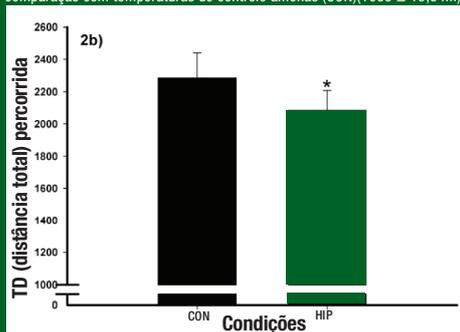


Figura 2b . A distância em alta velocidade (HSD) percorrida foi significativamente reduzida ( $P < 0,05$ ;  $\downarrow 12,65\%$ ) em condições de hipóxia (HYP) ( $2084 \pm 124m$ ) em comparação com as condições de controle (CON) ( $2386 \pm 154m$ ).

## HIPÓXIA: RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

As recomendações específicas para se preparar para exercícios em altitude dependem do grau da altitude. Bartsch et al. (2008) forneceu um consenso recomendando um período de aclimatização de 3-5 dias quando os jogadores sobem do nível do mar para uma altitude considerada baixa (1.500 m). No entanto, o período de aclimatização de uma a duas semanas é recomendado quando eles jogam em altitudes moderadas. Finalmente, um mínimo de 2 semanas de aclimatização no local da partida é aconselhado quando se joga em altas altitudes (Tabela 1). Pesquisas sugerem que um jogador aclimatizado a altitudes (ou nativo de altitudes) terá maior capacidade de resistência (maior distância percorrida em corridas de altas velocidades, se for uma necessidade para aquele jogo), ritmo de jogo mais efetivo, melhor recuperação entre múltiplos jogos e possivelmente melhor controle de bola na baixa densidade do ar (Aughey et al., 2013).

Altitude	Classificação	Implicação
0 – 500 m	Próximo do nível do mar	
>500 – 2,000 m	Altitudes baixas	Menor dano na performance aeróbica. 3-5 dias de aclimatização
>2,000 – 3,000 m	Altitudes moderadas	Mal-estar da altitude começa a ocorrer e aclimatização se torna extremamente importante. 1-2 semanas de aclimatização
>3000 – 5,500 m	Altitudes altas	Performance consideravelmente prejudicada, aclimatização se torna fundamentalmente relevante. > 2 semanas de aclimatização
>5,500 m	Altitudes extremas	Exposição prolongada resulta em deterioração progressiva

Tabela 1 . Definição de altitude: o impacto da altitude na performance e na saúde é altamente individualizada. Portanto, deve-se notar que as definições acima de zonas de altitude podem variar significativamente entre os jogadores e em algumas centenas de metros (Tabela modificada de: Bartsch et al., 2008).

É importante notar que a maioria dos trabalhos que informou um consenso por Bartsch et al. (2008) em relação à altitude e a performance foram relatados para atletas individualmente e em esportes específicos, significando que não são imediatamente aplicáveis a esportes coletivos como o futebol. Logo, as diretrizes não são exclusivamente baseadas em pesquisas sistemáticas e investigações para os jogadores de futebol. Adicionalmente, a alta variabilidade individual no processo de adaptação para as diferentes altitudes adiciona desafios extras, quando as recomendações para um time inteiro de futebol são generalizadas (Bartsch et al., 2008). Na verdade, quando se prepara para um período de aclimatização à altitude ou tenta se ganhar vantagem ergogênica através do treino em altitudes, nem todos os jogadores de um time deveriam ser expostos às mesmas condições de hipóxia. Ao invés disso, um tipo, tempo e dose ideal de aclimatização deveriam ser estabelecidos para cada jogador individualmente (Girard et al., 2013).

Intervenções específicas de nutrição podem ser significativas em ambientes hipóxicos. O nitrato da dieta foi mostrado melhorando a oxigenação muscular durante exercícios máximos e submáximos na hipóxia severa aguda (Masschelein et al., 2012), reduzindo as interferências negativas no metabolismo muscular durante exercícios de alta intensidade na hipóxia (Vanhatalo et al., 2011) e melhorando a performance em exercícios intermitentes no nível do mar (Wylie et al., 2013). Recomendações práticas para otimizar a suplementação com nitrato (dosagem, fonte de nitrato, suplementação aguda ou crônica) específica ao futebol na hipóxia são difíceis. Isto devido a grande variabilidade nas estratégias de suplementação encontrada entre os diversos estudos que demonstraram efeitos valiosos para o exercício, assim como a falta de estudos baseados em nitrato e exercício com hipoxia (Vanhatalo et al., 2011; Masschelein et al., 2012; Hoon et al., 2013). No entanto, uma dose aguda de nitrato inorgânico (300 mg a 600 mg), ofertados 75-150 minutos antes do exercício através da ingestão de produtos vegetais ricos em nitrato (como o suco de beterraba parece melhorar a performance do exercício e/ou eficiência (mesmo antes da ocorrência, ou não, da suplementação crônica). A suplementação crônica ou ao menos alguns dias, aumenta a probabilidade de que se apresente os benefícios observados no rendimento. (Hoon et al., 2013; Jones, 2013).

Recentemente tem sido publicada mais recomendações práticas para melhorar o rendimento em altitude (Armstrong, 2006; Gore et al., 2008), que incluem o incremento na ingestão de ferro através da suplementação oral de 100-300 mg/dia de ferro inorgânico em conjunto com aproximadamente 1000 mg/dia de vitamina C, por várias semanas antes da estadia em altitudes. É recomendado que esta estratégia de dosagem seja iniciada e supervisionada por um médico, devendo os próprios médicos serem guiados pelos Níveis Séricos de Ferritina (Armstrong, 2006; Gore et al., 2008). É necessário cautela com a dosagem de ferro descrita acima, devido a possivelmente causar constipação e desconforto gastrointestinal leve (Gore et al., 2008). Adicionalmente, a ingestão adequada de carboidratos na dieta e a ingestão de carboidratos durante o jogo parecem ser uma estratégia prudente em altitudes (Gore et al., 2008).

Finalmente, a função cognitiva é de extrema importância durante uma partida, já que ela influencia a tomada de decisão do jogador, a antecipação de um passe, o tempo de corrida e monitoramento da bola ou defesa. Pesquisas preliminares sugerem que a suplementação com tirosina pode oferecer alguns benefícios para a função cognitiva em ambientes hipóxicos (Banderet & Lieberman, 1989). Dosagens agudas de tirosina em 150 mg/kg de MC foram relatadas ser bem toleradas quando ingeridas 5 horas a 1 hora antes da realização do iSPT, com efeitos positivos (Taylor et al., 2014 b), apesar de mais pesquisas serem necessárias antes da tirosina ser recomendada com confiança em relação ao paradigma da altitude em uma partida de futebol (O'Brien et al., 2007; Baker, 2013).

## O CALOR E O FUTEBOL

O futebol competitivo é jogado mais comumente em ambientes quentes, em comparação com outros ambientes prejudiciais como condições de hipóxia. Duas das próximas 3 Copas do Mundo da FIFA (Brasil 2014 e Catar) serão provavelmente jogadas em temperaturas extremas (30-45°C), que irão apresentar um grande desafio para os melhores jogadores do mundo em relação às

demandas físicas associadas com a performance em jogos de elite. Por exemplo, a distância total percorrida durante um jogo é comprometida quando a temperatura ambiental é aumentada de 20°C a 30°C (Ekblom, 1986), com o maior aumento relativo das temperaturas ambientais (exemplo, ~21°C a ~43°C) se reduz a distância total percorrida em 7% (Mohr et al., 2012).

A capacidade de exercício é reduzida em ambientes quentes, com a temperatura interna corporal sendo aumentada pelas condições ambientais e pela produção metabólica de calor (musculatura esquelética ativa), desestabilizando a equação de ganho (exercício e ambiental) e perda de calor (evaporativa, convectiva e irradiação) em favor do ganho de calor (Nybo et al., 2014). O mecanismo preciso pelo qual o estresse induzido pelo exercício e pelo calor reduz a performance não está claro, com interações complexas entre fatores periféricos (feedback) e centrais (feedforward), conhecidamente ocorrendo de acordo com a modalidade, intensidade e duração do exercício (Nybo et al., 2014). Por exemplo, estudos iniciais sugeriram que existia uma temperatura interna corporal crítica (~38,6°C) que coincidia com a exaustão. Este conceito foi agora abandonado apesar de estar claro que a temperatura interna corporal tem um papel fundamental no desenvolvimento da fadiga, mas a temperatura muscular, temperatura da pele e outros diversos fatores também têm um papel importante. Curiosamente, indivíduos com boa capacidade física parecem tolerar temperaturas internas mais altas (39,2°C a 40,3°C) em comparação com indivíduos com menor preparo físico, e isto coincide com o tempo prolongado até a exaustão durante exercícios de ritmo constante (Cheung, 2010). Temperaturas musculares maiores do quadríceps e temperaturas internas elevadas foram relatadas quando se joga futebol no calor, em comparação com ambientes amenos (Mohr et al., 2012). Está claro que a fadiga no futebol é multifatorial e diversos mecanismos multifatoriais, além das temperaturas da musculatura, interna e da pele (Sawka et al., 2012) deveriam ser considerados quando se explica a fadiga relacionada ao futebol em ambientes quentes (Mohr et al., 2012).

Em um ambiente quente, exercícios com intensidades máximas são reduzidos por limitações cardiovasculares facilitando sinergicamente a entrega de oxigênio para a musculatura esquelética ativa enquanto mantêm resultados adequados de termorregulação (Nybo et al., 2014). Contudo, as intensidades submáximas estabelecidas são limitadas pela fadiga central (habilidade prejudicada em manter a ativação muscular máxima durante contrações constantes), com esta fadiga central sendo mediada pela atividade dos neurotransmissores dopaminérgicos, temperatura corporal elevada (pele, interna e musculatura) e transtornos metabólicos na musculatura esquelética (Nybo et al., 2014). Quando se joga futebol em temperaturas altas, a distância total percorrida e a realização de atividades de alta intensidade pelo jogador vão ter um decréscimo importante, embora elevações na frequência cardíaca média e lactato sanguíneo nem sempre sejam observadas, quando comparadas ao desempenho em ambientes com temperaturas amenas (Mohr et al., 2012).

Considerando as demandas fisiológicas da performance no futebol (Bangsbo, 2014) é racional assumir que uma combinação de fatores associados com a fadiga nos exercícios máximos e submáximos interferem na redução das distâncias percorridas e no aumento dos transtornos cardiovasculares/metabólicos. Estes efeitos seriam evidentes durante um jogo inteiro, transitoriamente ao longo de um jogo e em condições de calor em comparação com ambientes com condições amenas (Mohr et al., 2003; Mohr et al., 2004; Mohr et al., 2005; Mohr et al., 2010; Mohr et al., 2012; Mohr & Krstrup, 2013).

A magnitude da fadiga/resposta relacionada ao estresse induzido pelo esforço físico e calor tem alta variação interindividual (Nybo et al., 2014), devido ao treinamento e estado de aclimação do jogador, que são influenciados pela variabilidade genética/fenotípica de características favoráveis associadas com a tolerância térmica inata e sua aquisição (Horowitz, 2014; Taylor, 2014b[F1]). Os leitores podem ser direcionados a revisões recentes sobre fadiga induzida por hipertermia em exercícios (Nybo et al., 2014) e adaptações dos seres humanos ao calor (Horowitz, 2014; Taylor, 2014).

Embora as reduções na distância total afetem as características da partida, elas nem sempre influenciam os resultados do jogo conforme discutido anteriormente. Em particular, para recordar, a atividade de arrancada é mais fundamental ao resultado do jogo do que a distância total percorrida na partida (Gregson et al., 2010; Bradley et al., 2011; Faude et al., 2012; Bradley & Noakes, 2013). Em condições muito quentes (~43°C), jogadores profissionais de futebol do sexo masculino demonstraram uma redução de 26% na distância percorrida em alta velocidade em comparação com um jogo em condições amenas (~21°C) (Mohr et al., 2012). Portanto, parece que um jogo no calor tem maior impacto nestas variáveis da performance, especificamente relacionadas ao resultado da partida.

As reduções causadas pelo calor na distância percorrida em alta velocidade, e a distância total percorrida nos jogos, impactam diretamente nas características, posse de bola, rotatividade, execução de habilidades técnicas etc., quando comparadas ao jogo em um ambiente ameno (Mohr et al., 2010; Mohr et al., 2012; Mohr & Krstrup, 2013); apesar destas alterações não podem prever o resultado do jogo. Ao contrário da hipóxia, as habilidades técnicas, passes (8%) e cruzamentos (9%) são melhores em ambientes quentes em comparação com condições ambientais mais amenas de jogo (Mohr et al., 2012). Este aumento na habilidade técnica provavelmente é um artefato das alterações inerentes nas características de jogo. Por exemplo, as condições quentes em comparação com condições amenas estão associadas com uma redução dos confrontos entre jogadores e da rotatividade da posse de bola, com um aumento concomitante da posse de bola de um time (Mohr et al., 2012). Portanto, anteriormente à tentativa de habilidades tecnicamente desafiadoras em ambientes quentes em comparação com condições mais amenas, a pressão nos jogadores em relação à posse de bola é menor, por exemplo, a finalização é menos agressiva e a proximidade é maior, permitindo maior foco de atenção na realização da habilidade técnica. Esta provavelmente é a explicação para um aumento na execução de habilidades técnicas com sucesso.

Como discutido na seção sobre a hipóxia, há vantagens em estudar os parâmetros relacionados à performance em condições mais controladas (Gregson et al., 2010). A variação destes parâmetros pode ser ainda maior em jogos no calor (~43°C) porque pode haver uma estratégia alterada de ritmo e distribuição da intensidade absoluta do exercício ao longo do jogo (Mohr et al., 2012). Morris et al. (2005) anteriormente relatou que corridas intermitentes de "vai e vem" prolongadas, com alta intensidade no calor (33°C, 20% umidade relativa do ar) resultaram em um início antecipado da exaustão em comparação ao exercício em um ambiente moderado (17°C, 63% umidade relativa do ar). Curiosamente, enquanto a utilização do glicogênio muscular foi elevada pelo estresse térmico, baixas concentrações de glicogênio muscular não foram

relatadas serem a causa da exaustão precoce. Ao contrário, o início da exaustão foi associado com a hipertermia. Um estudo recente utilizando a iSPT em 18°C e 30°C revelou que a distância total percorrida e distâncias de sprints foram significativamente reduzidas quando o exercício foi realizado em ambientes quentes (Aldous et al., 2014). Especificamente, a redução na distância dos sprints em condições quentes foi acompanhada por uma frequência cardíaca e concentrações de lactato sanguíneo maiores e uma elevada temperatura interna (~0,4°C) (Aldous et al., 2014).

Apesar do mecanismo preciso específico ao futebol para o decréscimo na atividade de sprints devido ao estresse pelo calor e esforço físico não ser claro, é provável que ele seja sustentado pelas interações discutidas previamente entre fatores secundários e fundamentais (incluindo o aumento observado nas temperaturas internas, da musculatura e da pele) que levam a fadiga induzida pela hipertermia durante exercícios intermitentes por mais de 90 minutos (Mohr et al., 2012; Nybo et al., 2014).

### CALOR: RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

A performance no futebol em ambientes quentes de ~30°C (Ekblom, 1986) a 41°C (Mohr et al., 2012) e dados de laboratório em 30 °C (Aldous et al., 2014) reduzem a realização de corridas de alta intensidade e a distância total percorrida, que podem influenciar o resultado (Faude et al., 2012) e as características do jogo (Mohr et al., 2012), respectivamente. Alterações coincidentes na temperatura corporal contribuem (mas não exclusivamente) para um modelo multifatorial de fadiga induzida por hipertermia específica do futebol (Nybo et al., 2014).

Ao contrário da hipóxia, há muitas intervenções praticamente válidas e ergogênicas comumente empregadas a serem consideradas na tentativa de compensar algumas das reduções induzidas pelo exercício no desempenho do futebol. A estratégia mais prevalente é o protocolo de aclimação ao calor (Taylor, 2014). Protocolos de aclimação ao calor tradicionalmente levam entre 4-14 dias para desencadear um fenótipo parcial (4 dias) ou total da aclimação ao calor (14 dias ou mais) (Gibson et al., 2014; Taylor, 2014), apesar de ser difícil de um ponto de vista prático implementar tais períodos de aclimatização com o calendário normalmente desafiador no futebol nacional e internacional. A aclimação ao calor, naturalmente induzida em seis dias, pode ser atingida por regimes normais de treino em um ambiente quente. Em um estudo, jogadores de futebol semiprofissionais tiveram efeitos positivos específicos individualmente na habilidade em manter a performance em corridas nos jogos realizados no calor em comparação com ambientes mais frescos (Racinais et al., 2012). No entanto, não houve uma variação notável interindividual nesta resposta relacionada a adaptação hematológica (expansão do volume do plasma), por exemplo, aqueles jogadores que exibiram maior expansão no volume do plasma, adaptaram-se mais às intervenções de aclimação ao calor e foram mais capazes de manter temperaturas semelhantes no perfil de atividades de corrida em jogos no calor, em comparação com ambientes frios (Racinais et al., 2012). Os médicos devem explorar o uso da aclimação artificial ao calor (com alguns hábitos fixados ao longo de um período de tempo), especificamente a hipertermia controlada que induz a aclimação ao calor (também conhecida como aclimação isotérmica ao calor). Os protocolos de

aclimação ao calor com hipertermia controlada evitam a redução do estímulo adaptativo (exercício ou estresse térmico), devido à aclimação ao calor ao longo do tempo em relação ao valor de pré-aclimação anterior (geralmente temperatura corporal), ao mesmo tempo também reduzem o trabalho total necessário (Gibson et al., 2014; Taylor, 2014). Desta forma, a eficácia da aclimação ao calor varia e a praticidade em relação a um time inteiro de futebol dentro do calendário normalmente estabelecido é desafiadora. Recomendações específicas são provavelmente influenciadas por fatores externos, como o calendário estabelecido de jogos, e é um desafio criar diretrizes generalizadas. Primeiro, precisa ser definido a utilização da aclimação ao calor “natural”, como utilizada por Racinais et al., 2012, ou a utilização da aclimação ao calor artificial (Taylor, 2014; Sunderland et al., 2008). Isto deve ser discutido entre os treinadores técnicos/táticos e os cientistas esportivos para se encontrar a melhor opção para atingir as respostas fisiológicas no contexto das prioridades do treino. Segundo, deve também ser levado em consideração o número de sessões de aclimação ao calor (normalmente dias) necessário se o protocolo for implementado. Em geral, uma maior frequência de sessões de aclimação ao calor equivale a maior adaptação (Taylor, 2014). Terceiro, a temperatura que os jogadores estão expostos deveria ser pelo menos equivalente à temperatura provável no local proposto de competição, apesar das temperaturas mais altas fornecerem um maior estímulo adaptativo (Taylor, 2014). Finalmente, a utilização do modelo de aclimação ao calor por hipertermia progressiva com estímulo do exercício com validade ecológica como a simulação de atividades do futebol pode aumentar a eficácia e a validade ecológica, respectivamente (Sunderland et al., 2008).

Outra estratégia é o resfriamento antes e durante o jogo (comumente chamado de pré-resfriamento) que foi mostrado ter efeitos ergogênicos durante o estresse induzido por calor e esforço físico, apesar de haver variação considerável no tamanho do efeito e na praticidade destas abordagens (Tyler et al., 2013). Os métodos mais comumente utilizados de resfriamento incluem a imersão em água fria, a ingestão de gelo picado ou líquido gelado, a aplicação de bolsas de gelo na pele, a utilização de roupas especiais com gelo/geladas para resfriamento, ou uma combinação (métodos mistos) destas abordagens (Tyler et al., 2013). Independentemente do método, o objetivo do pré-resfriamento é reduzir as temperaturas da pele, interna e da musculatura, aumentando a capacidade de armazenamento de calor com a maior capacidade ergogênica para taxas de atividade e tempos de exercício até a exaustão (Bongers et al., 2014). A eficácia destes métodos mencionados acima é variável com as vestimentas de resfriamento tendo efeitos insignificantes a pequenos na performance, enquanto a imersão em água gelada teve efeitos positivos moderados, mas falta praticidade. Métodos mistos e a ingestão de gelo picado ou líquido gelado foram mostrados práticos e ergogênicos para a capacidade de exercício durante o estresse relacionado ao esforço físico e calor (Bongers et al., 2014). A literatura pré-resfriamento específica ao futebol é limitada a dois estudos (Durst et al., 2000; Clarke et al., 2011). Atividade com sprints repetitivos em ambientes quentes foi melhor com o pré-resfriamento com bolsas de gelo no quadríceps (Castle et al., 2006) e com a abordagem de métodos mistos (envolvendo aplicação de bolsas/coletes gelados em diversos locais do corpo (Minett et

al., 2011; Minett et al., 2012a). Para influenciar positivamente o estresse induzido pelo calor e exercício, especificamente as respostas fisiológicas e perceptivas, o pré-resfriamento deve ter duração (Minett et al., 2012a) e volume suficientes (Minett et al., 2011). Especificamente em relação ao futebol, a adoção de abordagens de pré-resfriamento com métodos mistos (Minett et al., 2011; Minett et al., 2012a; Minett et al., 2012b) que maximiza os efeitos ergogênicos, tanto antes quanto durante (intervalos de jogo) o jogo de futebol pode ser benéfica. Contudo, o maior entrave para a implementação do pré-resfriamento (de qualquer tipo) no futebol profissional é o tempo limitado disponível nos procedimentos de aquecimento (~30 minutos), após o aquecimento e anteriormente ao início do jogo (~12 minutos), e disponível em termos práticos durante os intervalos de jogo (2 a 6 minutos) (Towlson et al., 2013). Pesquisas adicionais sobre o pré-resfriamento específico ao futebol devem ser desenvolvidas, para se encontrar uma solução prática e efetiva (Minett et al., 2011; Minett et al., 2012a; Tyler et al., 2013), especificamente em relação ao tempo limitado para a implementação destas intervenções (Towlson et al., 2013). Recomendações práticas deveriam incluir a utilização de métodos mistos de pré-resfriamento (com foco em maximizar o volume da área resfriada sem dificultar a praticidade) quando possível, no dia de preparação para o jogo e nos intervalos de jogo. Atualmente não há regras desenvolvidas por um corpo administrativo ditando restrições sobre a utilização de resfriamento anterior ao jogo e nos intervalos.

A euhidratação habitual e manutenção deste estado anterior e durante o jogo seria vantajosa quando se preparando para a realização de exercícios no calor (Laitano et al., 2014; Sawka et al., 2007). A desidratação maior que 2% da MC pré-exercício foi relatada reduzir a força aeróbica máxima em ambientes quentes (Craig & Cummings, 1966) e prejudicar a performance aeróbica submáxima em ambientes frios, quentes e muito quentes (Sawka et al., 2012). A desidratação durante exercícios no calor aumenta a hipertermia na pele, interna e muscular em relação ao estado de euhidratação (Sawka et al., 2012). Apesar de tais temperaturas não serem as únicas responsáveis pela fadiga induzida pelo estresse térmico e exercícios (Nybo et al., 2014) é prudente prevenir estes aumentos na temperatura corporal e o estresse cardiovascular exacerbado durante jogos de futebol (Sawka et al., 1992; Sawka et al., 2011; Sawka et al., 2012; Nybo et al., 2014). Nota-se que há uma grande variabilidade individual nas respostas à desidratação e sua influência na performance do exercício. Portanto, as recomendações de hidratação devem ser individualizadas para cada jogador - os leitores são encorajados a ler Laitano et al. (2014) para orientação sobre esta questão.

## RESUMO

Condições extremas ambientais de hipóxia e/ou de calor são comumente encontradas durante jogos de futebol patrocinados pela FIFA. As condições de hipóxia e calor ambiental específicas ao futebol estão associadas com reduções na realização de corridas de alta velocidade e especificamente nas distâncias percorridas em sprints, ambas as quais são prováveis de influenciar diretamente o resultado do jogo. Os efeitos negativos da hipóxia podem ser compensados, em parte, por um período de aclimatização em altitudes que é dependente da altitude em que o jogo será

realizado. O preparo nutricional pode incluir nitratos, assim como o ferro na dieta. Estratégias mais específicas podem aliviar alguns dos decréscimos causados pelo calor na performance no futebol, com as recomendações incluindo aclimação específica ao calor e métodos mistos de resfriamento (pré-jogo e nos intervalos), e rotina de euhidratação. Mais pesquisas são necessárias para modificar e otimizar estas intervenções para atender as demandas específicas dos jogos de futebol.

diminuição do desconforto gastrointestinal. A tolerância dos atletas a altas doses de várias bebidas com carboidratos e a probabilidade de um atleta desenvolver desconforto gastrointestinal parecem ser altamente individualizadas. Portanto, as estratégias para a ingestão de carboidratos devem sempre ser desenvolvidas individualmente, principalmente por tentativa e erro.

## REFERÊNCIAS

- Aldous, J. W., Akubat, I., Chrismas, B. C., Watkins, S. L., Mauger, A. R., Midgley, A. W., Abt, G. and L. Taylor (2013). The reliability and validity of a soccer-specific non-motorised treadmill simulation (ispt). *J Strength Cond Res. E-Pub*, ahead of print.
- Aldous, J. W., Chrismas, B. C., Beel, L., Akubat, I., Dascombe, B. and L. Taylor, L. (2014). Hot environment mediated decrements in soccer-specific capacity utilising a non-motorised treadmill soccer-specific simulation (ispt). In: 4th World Conference on Science and Soccer (WCSS), Portland, USA.
- Armatas, V., Yiannakos, A. and P. Sileloglou (2007). Relationship between time and goal scoring in soccer games: Analysis of three world cups. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 7, 48-58.
- Armstrong, L. E. (2006). Nutritional strategies for football: Counteracting heat, cold, high altitude, and jet lag. *Journal of Sports Sciences*, 24, 723-740.
- Aughey, R. J., Hammond, K., Varley, M. C., Schmidt, W. F., Bourdon, P. C., Buchheit, M., Simpson, B., Garvican-Lewis, L. A., Kley, M., Soria, R., Sargent, C., Roach, G. D., Claros, J. C. J., Wachsmuth, N. and C.J. Gore (2013).
- Soccer activity profile of altitude versus sea-level natives during acclimatisation to 3600 m (isa3600). *British Journal of Sports Medicine*, 47, i107-i113.
- Baker, L. (2013). Effects of dietary constituents on cognitive and motor skill performance in sports. *Sports Science Exchange*. Vol. 26, No. 119, 1-6.
- Banderet, L. E. and H.R. Lieberman (1989). Treatment with tyrosine, a neurotransmitter precursor, reduces environmental stress in humans. *Brain Res Bull*, 22, 759-62.
- Bangsbo, J. Physiological Demands of Football. (2014) *Sports Science Exchange*. (2014) Vol. 27, No. 125, 1-6.
- Bartsch, P., Saltin, B. and J. Dvorak (2008). Consensus statement on playing football at different altitude; *Scand J Med Sci Sports*: 18 (Suppl.1): 96–99
- Billaut, F. and R.J. Aughey (2013). Update in the understanding of altitude-induced limitations to performance in team-sport athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 47, i22-i25.
- Bloomfield, J., Polman, R. and P. O'donoghue (2005). Effects of score-line on intensity of play in midfield and forward players in the fa premier league. *Journal of Sports Sciences*, 23, 191-192.
- Bongers, C. C. W. G., Thijssen, D. H. J., Veltmeijer, M. T. W., Hopman, M. T. E. & Eijsvogels, T. M. H. (2014). Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*.
- Bradley, P. S., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Dodds, A., Di Mascio, M., Paul, D., Diaz, A. G., Peart, D. & Krstrup, P. (2011). The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in english fa premier league soccer matches. *J Sports Sci*, 29, 821-30.
- Bradley, P. S. & Noakes, T. D. (2013). Match running performance fluctuations in elite soccer: Indicative of fatigue, pacing or situational influences? *Journal of Sports Sciences*, 1-12.
- Castle, P. C., Macdonald, A. L., Philp, A., Webborn, A., Watt, P. W. & Maxwell, N. S. (2006). Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1377-1384.
- Cheung, S. S. 2010. Advanced environmental exercise physiology, *Human Kinetics*.
- Clarke, N. D., Maclaren, D. P., Reilly, T. & Drust, B. (2011). Carbohydrate ingestion and pre-cooling improves exercise capacity following soccer-specific intermittent exercise performed in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, 20, pp. 1447 - 1455.
- Craig, E. N. & Cummings, E. G. (1966). Dehydration and muscular work. *Journal of Applied Physiology*, 21, 670-4.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon-Montero, F. J., Bachl, N. & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 222-227.
- Di Salvo, V., Collins, A., Mcneil, B. & Cardinale, M. (2006). Validation of prozone: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6, 108-119.
- Drust, B., Cable, N. T. & Reilly, T. (2000). Investigation of the effects of the pre-cooling on the physiological responses to soccer-specific intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 81, 11-17.
- Eklom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Med*, 3, 50-60.
- Faude, O., Koch, T. & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci*, 30, 625-31.
- Garvican, L. A., Hammond, K., Varley, M. C., Gore, C. J., Billaut, F. & Aughey, R. J. (2013). Lower running performance and exacerbated fatigue in soccer played at 1600 m. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.
- Gibson, O. R., Dennis, A., Parfitt, T., Taylor, L., Watt, P.W. & Maxwell, N. S. (2014). Extracellular hsp72 concentration relates to a minimum endogenous criteria during acute exercise-heat exposure. *Cell Stress Chaperones*, 19, 389-400.
- Girard, O., Amann, M., Aughey, R., Billaut, F., Bishop, D.J., Bourdon, P., Buchheit, M., Chapman, R., D'Hooghe, M., Garvican-Lewis, L.A., Gore, C.J., Millet, G.P., Roach, G.D., Sargent, C., Saunders, P.U., Schmidt, W. and Y.O. Schumacher (2013). Position statement--altitude training for improving team-sport players' performance: current knowledge and unresolved issues. *Br J Sports Med*. 47 Suppl 1:i8-16.
- Gore, C. J., Aughey, R. J., Bourdon, P. C., Garvican-Lewis, L. A., Soria, R., Claros, J. C. J., Sargent, C., Roach, G. D., Buchheit, M., Simpson, B. M., Hammond, K., Kley, M., Wachsmuth, N., Pepper, M., Edwards, A., Cuenca, D., Vidmar, T., Spielvogel, H. & Schmidt, W. F. (2013). Methods of the international study on soccer at altitude 3600 m (isa3600). *British Journal of Sports Medicine*, 47, i80-i85.
- Gore, C. J., Mcsharry, P. E., Hewitt, A. J. & Saunders, P. U. (2008). Preparation for football competition at moderate to high altitude. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18, 85-95.
- Grantham, J., Cheung, S. S., Connes, P., Febbraio, M. A., Gaoua, N., González-Alonso, J., Hue, O., Johnson, J. M., Maughan, R. J., Meeusen, R., Nybo, L., Racinais, S., Shirreffs, S. M. & Dvorak, J. (2010). Current knowledge on playing football in hot environments. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 161-167.
- Gregson, W., Drust, B., Atkinson, G. & Di Salvo, V. (2010). Match-to-match variability of high speed activities in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 237-242.
- Hoon, M. W., Johnson, N. A., Chapman, P. G. & Burke, L. M. (2013). The effect of nitrate supplementation on exercise performance in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 23, 522-532.
- Horowitz, M. (2014). Heat acclimation, epigenetics, and cytoprotection memory. *Comprehensive Physiology*, 4, 199-230.
- Jones, A. (2013). Dietary nitrate: the new magic bullet? *Sports Science Exchange*. Vol. 26, No. 110, 1-5.
- Laitano, O., Runco, J.L. and Baker, L. (2014) Hydration Science and Strategies in Football. *Sports Science Exchange*. Vol. 27, No. 128, 1-7

- Masschelein, E., Van Thienen, R., Wang, X., Van Schepdael, A., Thomis, M. & Hespel, P. (2012). Dietary nitrate improves muscle but not cerebral oxygenation status during exercise in hypoxia. *J Appl Physiol* (1985), 113, 736-45.
- McSharry, P. E. (2007). Altitude and athletic performance: Statistical analysis using football results. *British Medical Journal*, 335, 1278-1281.
- Minett, G., Duffield, R., Marino, F. & Portus, M. (2012a). Duration-dependant response of mixed-method pre-cooling for intermittent-sprint exercise in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 3655-3666.
- Minett, G. M., Duffield, R., Kellett, A. & Portus, M. (2012b). Mixed-method pre-cooling reduces physiological demand without improving performance of medium-fast bowling in the heat. *Journal of Sports Sciences*, 30, 907-915.
- Minett, G. M., Duffield, R., Marino, F. E. & Portus, M. (2011). Volume-dependent response of precooling for intermittent-sprint exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 43, 1760-9.
- Mohr, M. & Krstrup, P. (2013). Heat stress impairs repeated jump ability after competitive elite soccer games. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 683-689.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21, 519-28.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23, 593-599.
- Mohr, M., Krstrup, P., Nybo, L., Nielsen, J. J. & Bangsbo, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches – beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14, 156-162.
- Mohr, M., Mujika, I., Santisteban, J., Randers, M. B., Bischoff, R., Solano, R., Hewitt, A., Zubillaga, A., Peltola, E. & Krstrup, P. (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: A multi-experimental approach. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 125-132.
- Mohr, M., Nybo, L., Grantham, J. & Racinais, S. (2012). Physiological responses and physical performance during football in the heat. *PLoS One*, 7, e39202.
- Morris, J.G. Nevill, M.E. Boobis, L.H. Macdonald, I.A. and C. Williams. C (2005). Muscle metabolism, temperature, and function during prolonged, intermittent, high-intensity running in air temperatures of 33 degrees and 17 degrees C. *Int J Sports Med*. Dec;26(10):805-14.
- Nassis, G. P. (2013). Effect of altitude on football performance: Analysis of the 2010 fifa world cup data. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 703-707.
- Nybo, L., Rasmussen, P. & Sawka, M. N. (2014). Performance in the heat—physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue. *Comprehensive Physiology*, 4, 657-689.
- O'Brien, C., Mahoney, C., Tharion, W. J., Sils, I. V. & Castellani, J. W. (2007). Dietary tyrosine benefits cognitive and psychomotor performance during body cooling. *Physiol Behav*, 90, 301-7.
- Racinais, S., Mohr, M., Buchheit, M., Voss, S. C., Gaoua, N., Grantham, J. & Nybo, L. (2012). Individual responses to short-term heat acclimatisation as predictors of football performance in a hot, dry environment. *British Journal of Sports Medicine*, 46, 810-815.
- Rollo, I. Carbohydrate: The Football Fuel. (2014) Sports Science Exchange. Vol. 27, No. 127, 1-8.
- Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J. and N.S. Stachenfeld (2007). Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 377-390.
- Sawka, M. N., Cheuvront, S. N. and R.W. Kenefick (2012). High skin temperature and hypohydration impair aerobic performance. *Experimental Physiology*, 97, 327-332.
- Sawka, M. N., Leon, L. R., Montain, S. J. and L.A. Sonna (2011). Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Comprehensive Physiology*, 1, 1883-1928.
- Sawka, M. N., Young, A. J., Lutzka, W. A., Neuffer, P. D., Quigley, M. D. & Pandolf, K. B. (1992). Human tolerance to heat strain during exercise - influence of hydration. *Journal of Applied Physiology*, 73, 368-375.
- Sunderland, C. Morris, J.G., and M.E. Nevill (2008). A heat acclimation protocol for team sports. *Br J Sports Med*. May;42(5):327-33.
- Taylor, L., Chrismas, B. C., Beel, L., Akubat, I., Dascombe, B. and J.W Aldous (2014a). Hypoxia mediated decrements in soccer-specific capacity utilising a non-motorised treadmill soccer-specific simulation (ispt). In: 4th World Conference on Science and Soccer (WCSS), 2014a Portland, USA.
- Taylor, L., Watkins, S. L., Aldous, J. W., Warren, L., Chrismas, B. C., Mauer, A. R., Dascombe, B. And N. Coull (2014b). Effect of tyrosine ingestion on physical and cognitive performance during ispt in a warm environment. In: American College of Sports Medicine (ACSM) Annual Conference, Orlando, FL.
- Taylor, N., A, S (2014). Human heat adaptation. *Comprehensive Physiology*, 4, 325-365.
- Towlson, C., Midgley, A. W. & Lovell, R. (2013). Warm-up strategies of professional soccer players: Practitioners' perspectives. *Journal of Sports Sciences*, 31, 1393-1401.
- Tyler, C. J., Sunderland, C. & Cheung, S. S. (2013). The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*.
- Vanhatalo, A., Fulford, J., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., Winyard, P. G. & Jones, A. M. (2011). Dietary nitrate reduces muscle metabolic perturbation and improves exercise tolerance in hypoxia. *The Journal of Physiology*, 589, 5517-5528.
- Wylie, L. J., Mohr, M., Krstrup, P., Jackman, S. R., Ermidis, G., Kelly, J., Black, M. I., Bailey, S. J., Vanhatalo, A. & Jones, A. M. (2013). Dietary nitrate supplementation improves team sport-specific intense intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 1673-1684.