1.2 Respostas fisiológicas à prática do futebol

A Unidade 1 esboçou as demandas físicas do futebol. No entanto, é importante descrever as respostas fisiológicas à prática do futebol, pois, tomadas juntas, elas oferecem uma melhor compreensão das respostas do corpo para fazer frente às demandas energéticas, bem como das recomendações nutricionais adequadas para o bom rendimento neste esporte. Também é importante compreender o que causa a fadiga dos jogadores, pois entendê-la permitirá elaborar as dietas e estratégias de nutrição mais adequadas para a conservação do desempenho em corridas e habilidades executadas nas partidas. Conforme demonstrado na unidade anterior, vários estudos analisaram as atividades executadas nas partidas de futebol, porém, as medidas que estimam as demandas fisiológicas são menos recorrentes.

A homeostase é a habilidade do corpo de manter sua estabilidade interna. Variáveis fisiológicas, tais como temperatura corporal e equilíbrio de fluídos, são mantidos dentre margens estreitas. Dessa forma, a fim de conservar um ambiente interno estável, o corpo deve se ajustar constantemente às mudanças geradas por fatores internos e/ou externos. A prática do futebol impõe desafios consideráveis ao ambiente interno corporal, mas, felizmente, os seres humanos contam com milhões de anos de evolução para lidar com as demandas de exercícios físicos. Mais especificamente, a evolução permitiu que os humanos possam percorrer grandes distâncias a pé, mantendo a capacidade para "explosões", ou seja, movimentos rápidos e curtos. Assim, pode-se argumentar que os seres humanos realmente evoluíram para praticar o futebol.

Figura 8: Os seres humanos evoluíram para praticar o futebol

Fonte: Elaborado pelo autor.

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS

Quando um atleta inicia a prática do futebol, há um aumento imediato na demanda energética dos músculos em contração para executar os movimentos classificados na Unidade 1. O fornecimento de energia por meio do sistema aeróbico depende da disponibilidade de gordura, carboidrato e oxigênio no músculo que está sendo trabalhado e, simultaneamente a isso, o subproduto do metabolismo anaeróbico, o dióxido de carbono, deve ser eliminado. Os processos centrais de fornecimento de oxigênio e eliminação de dióxido de carbono durante a prática do futebol são realizados pelos sistemas respiratório e cardiovascular.

VOCÊ SABIA?

O ar atmosférico é composto aproximadamente por 21% de oxigênio, 78% de nitrogênio e 0,04% de dióxido de carbono.

O papel do sistema respiratório

A troca gasosa ocorre nos pulmões, onde os gases (oxigênio e dióxido de carbono) movem-se por difusão de áreas de alta concentração para as de baixa concentração. Assim, o oxigênio se difunde do ar atmosférico

no pulmão (alvéolos) para o sangue, e o dióxido de carbono se difunde do sangue para o pulmão e é posteriormente expelido do corpo.

O oxigênio liga-se ao sangue através de uma proteína chamada hemoglobina (encontrada nos glóbulos vermelhos do sangue, dando a este sua cor), formando a oxi-hemoglobina. O sangue oxigenado nos pulmões retorna ao coração a fim de ser então bombeado para os músculos por meio do sistema circulatório. Um jogador de futebol adulto pesando 75 kg tem cerca de 5 litros de sangue. Quase metade da composição do sangue é composta por glóbulos vermelhos. O restante do volume sanguíneo (~55%) é composto pelo plasma, uma solução aquosa que mantém as células sanguíneas em suspensão e que serve como solvente essencial para o transporte de nutrientes, eletrólitos, proteínas e gases.

Em resposta à intensidade incrementada do futebol, o atleta aumenta a profundidade (volume corrente) e frequência da respiração para atender à maior demanda por oxigênio. Os mecanismos exatos do aumento da ventilação durante o exercício físico ainda estão sendo pesquisados (Ursino e Magosso,2004). No entanto, sugere-se que a mudança na respiração é uma resposta ao estímulo dos centros respiratórios cerebrais, a qual ocorre, provavelmente, em resposta à detecção por receptores especializados (quimiorreceptores) de alterações na química do sangue, como, por exemplo, o aumento de dióxido de carbono gerado pela maior produção energética muscular.

O papel do sistema cardiovascular

A prática do futebol também causa um aumento rápido no fluxo sanguíneo para os músculos, provavelmente decorrente das contrações musculares repetidas. A redistribuição do sangue, dos órgãos centrais para os músculos em contração, oferece oxigênio e nutrientes necessários para a produção energética e, ao mesmo tempo, facilita a eliminação de calor e dióxido de carbono. O cérebro registra essa alteração e tenta compensá-la aumentando a frequência cardíaca (número de batidas por minuto) e o volume sistólico (volume de sangue bombeado para fora do coração em cada batida). Ambos os fatores combinados aumentam o volume total de sangue bombeado pelo coração por minuto (débito cardíaco) e a pressão sanguínea no início do exercício físico. A frequência cardíaca dos atletas durante a prática do futebol é, em grande medida, definida pela intensidade do treino ou partida. A intensidade relativa ao exercício costuma ser expressa como porcentagem da frequência cardíaca máxima do jogador. Preferencialmente, a frequência cardíaca máxima deve ser determinada por meio de um teste de exercício físico gradual. Pode ainda ser estimada subtraindo-se a idade do jogador de 220, embora haja variações significativas.

VOCÊ SABIA?

O coração dos atletas trabalha constantemente, sem tempo para descanso. É composto por músculo cardíaco, que nunca se cansa, e tem função dupla: bombear sangue rico em oxigênio para o corpo e sangue pobre em oxigênio para os pulmões do jogador.

A combinação capacidade do sistema cardiovascular para oferecer oxigênio ao músculo e a habilidade deste em usar o oxigênio definem a taxa máxima de geração energética por meio do metabolismo aeróbico. A absorção máxima do oxigênio (VO_{2max}) é uma medida comum do condicionamento aeróbico e a intensidade relativa do exercício pode ser expressa como uma porcentagem deste valor. O VO_{2max} varia de acordo com a posição de jogo, composição corporal e situação de treino. Foi observado que jogadores com valores de VO_{2max} mais altos têm melhor desempenho em tarefas específicas do futebol (como o teste Yo-Yo) e percorrem maiores distâncias durante partidas (Krustrup, Bradley et al., 2015).

Demandas fisiológicas do futebol

Pesquisas demonstraram que o futebol é um esporte intermitente, tornando-se bastante exigente para o sistema aeróbico. Durante uma partida, a absorção de oxigênio é, em média, 70% VO_{2max}, com frequências cardíacas medianas e de pico de, aproximadamente, 85% e 98% dos valores totais, respectivamente (Reilly e Thomas, 1979; Bangsbo, 1994; Bangsbo, 1994). Tais valores foram determinados por medidas indiretas. As frequências cardíacas foram registradas em uma partida de futebol e extrapoladas às informações coletadas durante um teste incremental de esteira que media tanto a frequência cardíaca quanto a absorção de oxigênio (Bangsbo,1994). Estudos posteriores validaram tais observações com medições diretas da frequência cardíaca e absorção de oxigênio (usando dispositivos móveis com atualizações sobre o oxigênio) durante treinos de futebol. É interessante notar que tais estudos relataram frequências cardíacas similares para uma determinada absorção de oxigênio durante treinos de futebol, em comparação aos valores observados nas corridas em esteira (Reilly, 1997; Wong del, Carling et al., 2011). É importante ressaltar que os valores de frequência cardíaca registrados durante partidas podem sobrestimar a absorção de oxigênio dos jogadores. Isso se dá porque vários fatores, tais como hipohidratação, estresse psicológico e temperatura interna elevada podem aumentar a frequência cardíaca sem afetar a absorção de oxigênio pelo músculo.

Raramente a frequência cardíaca de um jogador fica abaixo de 65% do máximo, o que sugere que o fluxo sanguíneo para os músculos trabalhados é continuamente mais elevado do que durante o descanso. Isso significa também um alto fornecimento de oxigênio (Bangsbo, 2014).

Tal fato é visível durante as partidas, pois a frequência respiratória dos jogadores aumenta notoriamente para atender à demanda por oxigênio. A rápida mudança na cinética da absorção de oxigênio, necessária para ir de baixa para alta intensidade nas corridas do futebol, parece depender, dentre outros fatores, da capacidade de oxidação dos músculos em contração (Nyberg, Mortensen et al., 2010). É possível incrementar a capacidade de oxidação dos músculos de jogadores por meio de treino intervalado intenso e/ou aeróbico (Iaia, Rampinini et al., 2009).

A produção metabólica de calor é uma consequência do metabolismo muscular: o calor é dissipado pelo corpo por meio de um processo de termorregulação (parte dele é armazenado), causando um aumento gradual na temperatura interna. Dessa forma, a temperatura interna pode ser usada como medida indireta da produção energética durante exercícios. Tem sido observada uma relação linear entre a temperatura retal (método para medir a temperatura interna) e a intensidade relativa do trabalho durante exercícios contínuos de ciclismo (Saltin e Hermansen, 1966). Curiosamente, há relatos de que a temperatura interna chega a ser 0,3% maior durante exercícios intermitentes em comparação com exercícios contínuos com o mesmo nível de intensidade relativa (Ekblom, Greenleaf et al., 1971). No futebol, foram registradas temperaturas internas de 39-40 °C, o que significa uma carga aeróbica média de aproximadamente 70% VO_{2max} (Smodlaka, 1978; Mohr e Krustrup, 2012).

VOCÊ SABIA?

Os músculos revestem o esqueleto dos jogadores, dando o formato ao corpo. Os músculos são ligados ao esqueleto através dos tendões. Cada movimento dos atletas é consequência de contrações dos músculos esqueléticos executadas pelo controle voluntário dos jogadores.

FADIGA EM PARTIDAS DE FUTEBOL

A meta dos jogadores é manter o nível de corrida e desempenho técnico ao longo da partida. No entanto, pesquisas demonstram que a habilidade de executar exercícios de alta intensidade diminui por volta do final das partidas, tanto para jogadores de elite quanto de sub-elite (Mohr, Krustrup et al., 2005). Nos casos em que não há estratégias nutricionais adequadas, o volume de sprints, corridas de alta intensidade e longas distâncias percorridas costuma ser inferior no segundo tempo da partida (Bangsbo, Norregaard et al., 1991; Reilly, 1997).

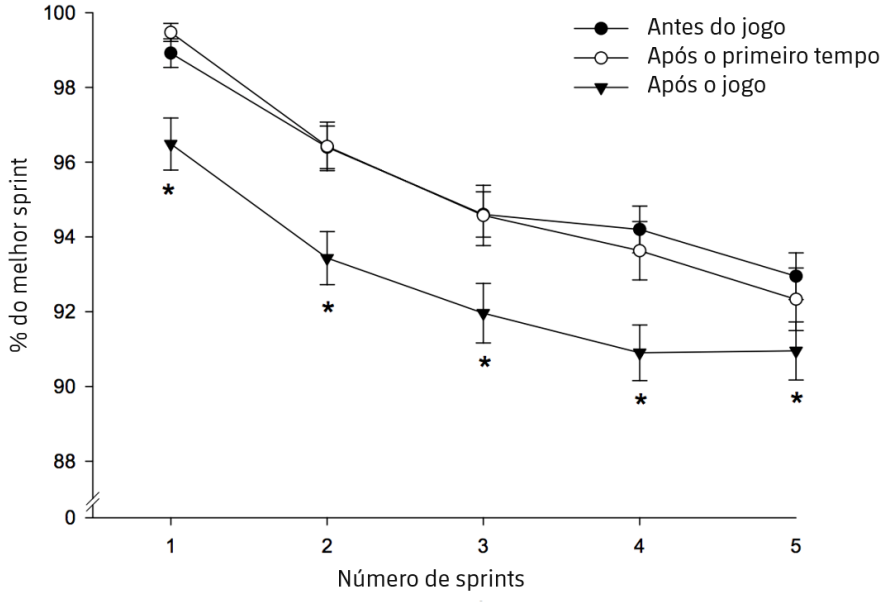
Observa-se claramente uma redução no número de corridas em alta velocidade no segundo tempo e o grau dessa redução é provavelmente influenciado pelas atividades desempenhadas no primeiro tempo. Por exemplo, os atletas que jogam nas posições com maiores demandas físicas (Unidade 1: zagueiros, zagueiros centrais e meio-campistas externos) foram relatados como apresentando as reduções mais significativas nas corridas no segundo tempo. (Bradley, Carling et al., 2013). Em geral, numa partida de mais de 90 minutos, o volume da intensidade das corridas diminui nos últimos 15, mesmo em partidas profissionais (Mohr, Krustrup et al., 2003).

Foi também sugerido que as reduções no desempenho de corridas são resultado de estratégias, conscientes ou não, de um ritmo mais baixo, as quais, teoricamente, ajustam a velocidade das corridas para que os jogadores tenham mais "energia" para concluir a partida. No entanto, é importante notar que as atividades dos jogadores serão amplamente definidas "externamente" pelas ações dos colegas de equipe e dos adversários. Assim, é difícil para os atletas ditarem a intensidade do exercício. A habilidade de executar saltos e sprints repetidos (Figura 9) também diminui significativamente ao final dos 90 minutos se comparada com as pontuações pré-partida (Mohr, Krustrup et al., 2005; Rebelo, Brito et al., 2014). Isso sugere que a fadiga sentida ocorre mais por consequências fisiológicas da prática do futebol do que das estratégias de redução do ritmo.

É importante notar que nem todas as pesquisas observaram reduções no desempenho durante partidas. Um estudo com equipes francesas de elite, por exemplo, observou que os jogadores geralmente conseguiam manter o desempenho das habilidades durante toda a partida (Carling e Dupont, 2011). Contudo, a maioria dos estudos indica que os mecanismos fisiológicos são os responsáveis pela redução no desempenho físico e habilidades técnicas, especialmente nos últimos 15 minutos de uma partida. Como as reduções no desempenho são provavelmente consequência de fadiga, as discrepâncias entre pesquisas e observações em partidas podem refletir o padrão de jogador analisado (profissionais vs. amadores) ou o nível da competição (ligas de nível 1 vs. de nível 2),

pois partidas que não induzem fadiga suficiente provavelmente não influenciam no desempenho físico ou técnico dos jogadores.

Figura 9: Vários desempenhos de sprints durante a partida.



Fonte: Bangsbo et al., 2006. Tempo (% do melhor sprint) de cinco sprints de 30 m separados por um período de recuperação de 25 s. Antes da partida (círculos preenchidos), após o primeiro tempo (círculos vazios) e segundo tempo (triângulos preenchidos). Os dados consistem em médias ± SEM

CAUSAS DA FADIGA

A prática do futebol gera uma "fadiga temporária" durante a partida e uma fadiga mais "permanente" nos últimos estágios da partida. As causas da fadiga no futebol são multifatoriais: Os mecanismos exatos subjacentes e responsáveis pela fadiga induzida pelo futebol e o correspondente desempenho afetado ainda estão sob investigação.

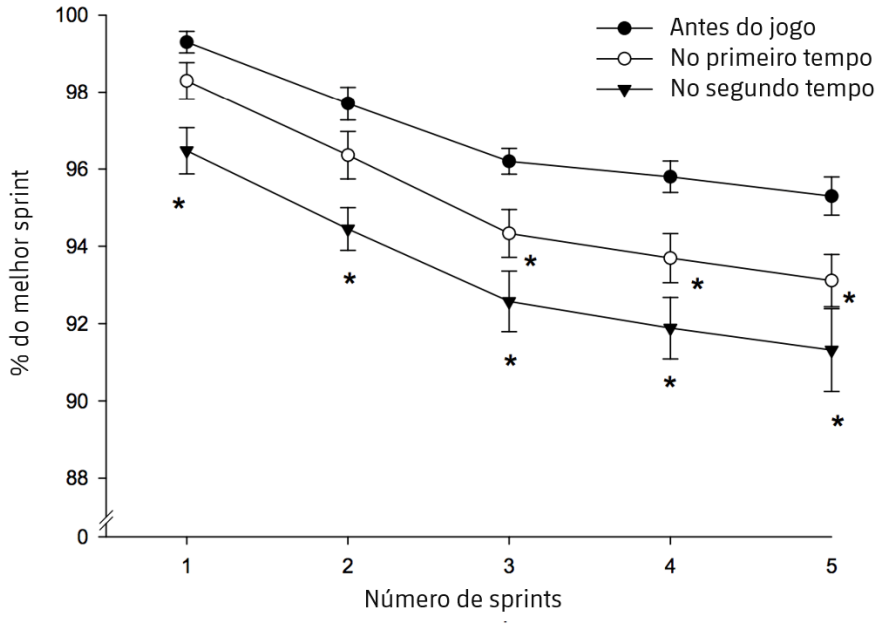
Causas da fadiga temporária

Durante as partidas, os jogadores sentem fadiga temporária, que pode ser identificada pela redução nos exercícios de alta intensidade, inferiores à média da partida, nos cinco minutos posteriores ao período mais intenso do jogo (Mohr, Krustrup et al., 2003). Quando os sprints repetidos são executados imediatamente após um período intenso durante a partida, ao final de cada tempo, o desempenho nos sprints é significativamente reduzido (Figura 10) (Krustrup, Mohr et al., 2006).

Assim, parece que a fadiga temporária sentida pelos jogadores durante treinos e partidas é resultado de mecanismos fisiológicos; já as flutuações no desempenho físico após um período intenso de jogo

podem ser consequência do "fluxo" natural da intensidade da partida, Vejamos o exemplo de dois jogadores correndo em sprint para disputar a bola, resultando na cobrança de um escanteio. Nessa situação, um período de corrida em baixa intensidade costuma ser observado, pois tanto a equipe de ataque quanto a de defesa assumem posições táticas. Contudo, para jogadores bem motivados, a causa da fadiga temporária é associada a alterações periféricas que, em último estágio, resultam na cessação do exercício (Bigland-Ritchie, Furbush et al., 1986).

Figura 10: Vários desempenhos de sprints durante a partida.



Fonte: Bangsbo et al., 2006. Tempo (% do melhor sprint) de cinco sprints de 30 m separados por um período de recuperação de 25 s. Antes da partida (círculos preenchidos), após um período intenso no primeiro (círculos vazios) e segundo tempo (triângulos preenchidos). Os dados consistem em médias ± SEM

Treinadores e jogadores costumam culpar a acumulação de "lactato" ou "ácido lático" como responsável pela fadiga, possivelmente porque as reduções no desempenho durante partidas ou treinos eram associadas anteriormente com o aumento moderado na concentração de lactato no sangue ou no músculo (Figura 4). No entanto, essa terminologia não é necessariamente precisa, pois há poucas evidências que apoiam a ideia de que níveis elevados de lactato causam fadiga temporária em partidas de futebol, ou de que limitam o desempenho intermitente de alta intensidade em si (Bangsbo, Graham et al., 1992). Na verdade, é bastante provável de que o lactato sirva de (i) fonte de energia; (ii) precursor glicogênico; (iii) molécula sinalizadora (Brooks, 2018).

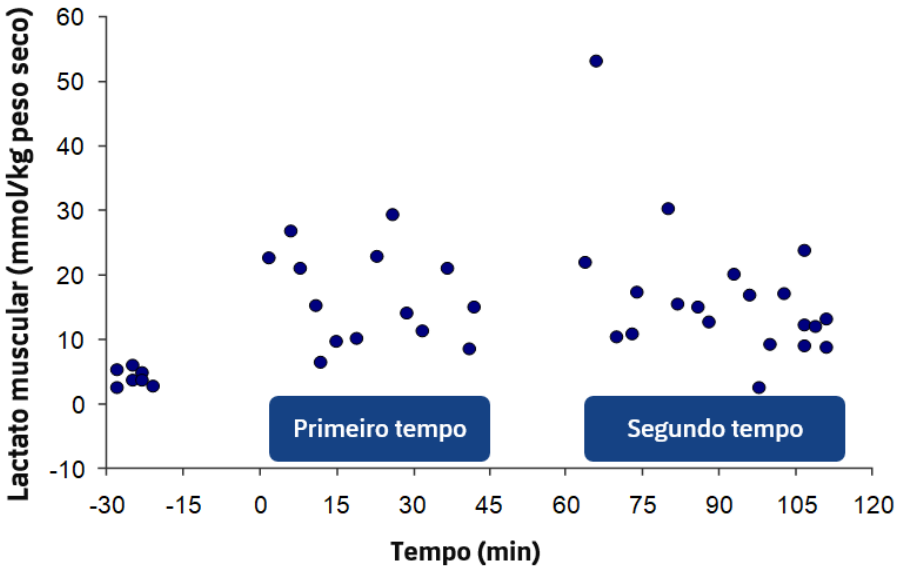
Concentrações elevadas de lactato podem gerar aumento de íons de hidrogênio no músculo. Quando eles se acumulam, o músculo torna-se mais ácido e as propriedades contráteis são prejudicadas (Bangsbo,

Graham et al., 1992). No entanto, o nível de acidez muscular relatado durante partidas de futebol é apenas leve (pH ~6.8) e, até hoje, não é considerado uma causa direta do desempenho reduzido (Krustrup, Mohr et al., 2006).

VOCÊ SABIA?

Glicogênese é uma série de reações que geram glicose a partir de substratos não carboidratos, que ocorrem principalmente no fígado.

Figura 11: Produção de lactato no músculo durante partidas de futebol



Fonte: Retirado de Krustrup (2006)

VOCÊ SABIA?

O pH é a medida que avalia se uma solução é ácida ou alcalina. Quanto mais ácida, maior a concentração de íons de hidrogênio. O pH de 7.0 indica que a solução é neutra; acima disso, indica alcalinidade; abaixo, indica acidez. O pH do sangue de um jogador é de aproximadamente 7.4.

Outras causas possíveis da fadiga podem se dar em decorrência de baixa concentração de fosfocreatina no músculo. Isto é apoiado por estudos que observaram um desempenho aprimorado durante exercícios intermitentes intensos após suplementação com creatina monohidratada (Curso 4). Tem-se relatado que as concentrações de fosfocreatina se esgotam em fibras específicas no ponto de fadiga após exercícios intensos (Soderlund e Hultman, 1991). Entretanto, no futebol, as concentrações de fosfocreatina muscular são apenas 25% mais baixas do que as concentrações em repouso após períodos intensos numa partida (Krustrup, Mohr et al., 2006). Essa redução relativamente pequena observada durante a prática do futebol é, provavelmente, consequência da recuperação rápida da fosfocreatina que pode ter ocorrido no intervalo de 15-30 segundos do preparo e coleta de biópsias musculares. Esse fato também pode ser responsável pela mudança na fosfocreatina muscular nas etapas finais dos testes Yo-Yo IR no momento da exaustão (Krustrup, Mohr et al., 2003).

VOCÊ SABIA?

A biópsia muscular é um procedimento que extrai uma pequena amostra de tecido muscular, a qual é ressecada a frio e analisada posteriormente em laboratório.

Atualmente, o melhor candidato a responsável pelo desenvolvimento de fadiga temporária durante exercícios de alta intensidade é a acumulação de potássio no interstício muscular e os distúrbios elétricos associados em células musculares (Juel, Bangsbo et al., 1990; Nielsen, Mohr et al., 2004; Street, Nielsen et al., 2005). Antes da contração, o músculo precisa estar inervado pelo respectivo motoneurônio. Os motoneurônios enviam mensagens eletroquímicas (usando sódio e potássio) que geram impulsos elétricos. O acúmulo de potássio no interstício muscular pode prejudicar o impulso e o recrutamento subsequente do músculo. Essa hipótese é apoiada por estudos que relatam concentrações de potássio no interstício muscular superiores a 11 mmol/L durante exercícios exaustivos (Nielsen, Mohr et al., 2004), o que, conforme estudos in vitro, é suficiente para despolarizar a potencial membrana muscular e reduzir o desenvolvimento da força (Cairns e Dulhunty, 1995; Maughan, 2007).

Durante uma partida de futebol, a concentração de potássio no plasma venoso, extraída do braço, era de 5 mmol/L, valor ligeiramente menor do que o observado após exercícios intermitentes incrementais e exaustivos (Krustrup, Mohr et al., 2003). No entanto, os valores plasmáticos não oferecem uma imagem nítida das concentrações nos músculos contraídos das pernas, ativados durante a prática do futebol (Maughan,

2007). Portanto, são necessárias mais pesquisas. Esses estudos continuam a aprimorar nossa compreensão da fadiga temporária durante a prática do futebol (Mohr, Krustrup et al., 2005).

VOCÊ SABIA?

Motoneurônio é uma célula nervosa que transmite impulsos do sistema nervoso central do atleta aos músculos, fenômeno necessário para a contração.

Causas da fadiga permanente

Glicogênio muscular

O desenvolvimento da fadiga durante exercícios intermitentes prolongados tem sido há bastante tempo associado com uma baixa disponibilidade de glicogênio muscular (Bergstrom, Hermansen et al., 1967). Estudos demonstraram que elevar a concentração de glicogênio muscular antes da prática do futebol, por meio de dieta rica em carboidratos, melhora o desempenho em corridas intermitentes de alta intensidade (Bangsbo, Norregaard et al., 1992; Balsom, Wood et al., 1999). Deixar de fazer isso ou não fornecer carboidratos durante o exercício pode gerar níveis de glicogênio muscular abaixo da concentração necessária para manter a taxa glicolítica máxima (~200 mmol/kg de peso seco). (Bangsbo, Graham et al., 1992). A análise de fibras musculares individuais demonstrou que o glicogênio estava quase ou totalmente esgotado em cerca de metade das fibras tipo 1 e tipo 2 ao final de uma partida de 90 minutos (Krustrup, Mohr et al., 2006). A redução foi associada à diminuição da velocidade de sprint em testes executados logo após a partida. Assim, o esgotamento do glicogênio nas fibras musculares pode impossibilitar o esforço máximo em sprints únicos e/ou repetidos, além de ser responsável pela "fadiga permanente" no final da partida (Figura 2).

Hipohidratação e hipertermia

Outros fatores que também contribuem para o início da fadiga no período final da partida (últimos 15 minutos) são a hipohidratação e a hipertermia (Curso 3) (Reilly, 1997). As perdas de fluídos nos jogadores varia bastante de indivíduo para indivíduo, até mesmo em resposta a uma sessão de treino ou partida idêntica (Baker, Barnes et al., 2016). Observou-se que jogadores de futebol perdem de 1 a 3 litros de fluídos durante partidas em ambientes termicamente neutros, e as perdas

podem exceder 3 l em ambientes quentes e úmidos (Laitano, Runco et al., 2014). Altas perdas de fluídos são um fator a ser considerado, pois relata-se que uma hipohidratação equivalente à perda de 2% de massa corporal prejudica o desempenho das habilidades no futebol (McGregor, Nicholas et al., 1999). Em outros esportes com corridas intermitentes, como tênis, observaram-se que déficits ainda maiores de fluídos, equivalentes a 2,7% da massa corporal, reduzem o desempenho de sprints entre cinco e dez metros (Magal, Webster et al., 2003). Já no futebol, até mesmo perdas modestas de fluídos (aproximadamente 1% da massa corporal dos jogadores) geram reduções significativas no desempenho de sprints, embora não causem efeitos na temperatura interna (Mohr, Krustrup et al., 2004; Mohr, Krustrup et al., 2005). Assim, a perda de fluídos pode ser apenas um dos fatores dentre muitos que podem prejudicar o desempenho ao final de uma partida. Isso é de grande relevância para a nutrição esportiva no futebol, pois é possível personalizar estratégias de reposição de fluídos a fim de dar suporte às necessidades de cada jogador em partidas e treinos.

VOCÊ SABIA?

Ambientes termicamente neutros abrangem uma grande variedade de temperaturas que permitem manter a temperatura corporal (~37 °C) sem requerer mudanças reguladoras na produção metabólica de calor ou perda de calor por evaporação. Vários fatores influenciam a variedade de temperaturas termicamente neutras, como a composição corporal dos atletas e a roupa (uniforme) usada em treinos e partidas.

ACÚMULO DE PARTIDAS

Uma questão relevante relativa ao futebol profissional é se a fadiga "crônica" pode vir a se manifestar em decorrência de várias partidas disputadas em um curto período de tempo. Por exemplo, é comum exigir que os atletas joguem 2-3 partidas por semana em etapas específicas da temporada. Até hoje, nenhuma diferença no desempenho físico ou habilidades foi observada no caso em que três partidas foram jogadas em um período de sete dias (Carling e Dupont, 2011). No entanto, a capacidade dos jogadores de executar sprints, saltos e exercícios intensos repetitivos foi prejudicada ao participarem de duas partidas competitivas por semana durante seis semanas (Rollo, Impellizzeri et al., 2014). Para tanto, o nutricionista precisa alterar o plano nutricional da equipe e de jogadores específicos com base nas demandas de partidas individuais e no contexto "global" do cronograma de jogos. O foco durante as etapas movimentadas da temporada deve ser o abastecimento adequado e as estratégias de recuperação entre partidas.

Unidade 2 - Resumo

- O corpo dos jogadores responde com rapidez às demandas energéticas da prática do futebol.

- Exige-se muito do sistema aeróbico durante partidas de futebol, com taxas medianas e de pico em cerca de 85% e 98% dos valores máximos, respectivamente, o que corresponde a uma média de absorção de oxigênio de 70%.

- A prática do futebol leva à sensação de fadiga "temporária" por parte dos atletas durante uma partida, muito provavelmente em decorrência do acúmulo de potássio no interstício muscular.

- A "fadiga permanente" que ocorre próxima às etapas finais da partida está associada à redução no glicogênio muscular e a uma hipohidratação significativa.

Aviso: Ian Rollo trabalha no Gatorade Sports Science Institute, uma divisão da PepsiCo, Inc. As opiniões expressas neste curso são exclusivamente dos autores e não refletem necessariamente a posição ou as políticas da PepsiCo, Inc.

REFERÊNCIAS

Baker, L. B., K. A. Barnes, M. L. Anderson, D. H. Passe e J. R. Stofan (2016). "Normative data for regional sweat sodium concentration and whole-body sweating rate in athletes." J Sports Sci **34**(4): 358-368.

Balsom, P. D., K. Wood, P. Olsson e B. Ekblom (1999). "Carbohydrate intake and multiple sprint sports: with special reference to football (soccer)." Int J Sports Med **20**(1): 48-52.

Bangsbo, J. (1994). "Energy demands in competitive soccer." J Sports Sci **12 Spec No**: S5-12.

Bangsbo, J. (1994). "The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise." Acta Physiol Scand Suppl **619**: 1-155.

Bangsbo, J. (2014). "Physiological Demands of Football." Sports Science Exchange **27**(125): 1-6.

Bangsbo, J., T. Graham, L. Johansen, S. Strange, C. Christensen e B. Saltin (1992). "Elevated muscle acidity and energy production during exhaustive exercise in humans." Am J Physiol **263**(4 Pt 2): R891-899.

Bangsbo, J., T. E. Graham, B. Kiens e B. Saltin (1992). "Elevated muscle glycogen and anaerobic energy production during exhaustive exercise in man." J Physiol **451**: 205-227.

Bangsbo, J., M. Mohr e P. Krustrup (2008). "The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports." Sports Med **38**(1): 37-51.

Bangsbo, J., M. Mohr e P. Krustrup (2006). "Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player." J Sports Sci **24**(7): 665-674.

Bangsbo, J., L. Norregaard e F. Thorso (1991). "Activity profile of competition soccer." Can J Sport Sci **16**(2): 110-116.

Bangsbo, J., L. Norregaard e F. Thorsoe (1992). "The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance." Int J Sports Med **13**(2): 152-157.

Bergstrom, J., L. Hermansen, E. Hultman e B. Saltin (1967). "Diet, muscle glycogen and physical performance." Acta Physiol Scand **71**(2): 140-150.

Bigland-Ritchie, B., F. Furbush e J. J. Woods (1986). "Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors." J Appl Physiol (1985) **61**(2): 421-429.

Bloomfield, J., R. Polman, R. Butterly e P. O'Donoghue (2005). "Analysis of age, stature, body mass, BMI and quality of elite soccer players from 4 European Leagues." J Sports Med Phys Fitness **45**(1): 58-67.

Bloomfield, J., R. Polman e P. O'Donoghue (2007). "Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer." J Sports Sci Med **6**(1): 63-70.

Borg, G. (1982). "Ratings of perceived exertion and heart rates during short-term cycle exercise and their use in a new cycling strength test." Int J Sports Med **3**(3): 153-158.

Bradley, P. S., M. Bendiksen, A. Dellal, M. Mohr, A. Wilkie, N. Datson, C. Orntoft, M. Zebis, A. Gomez-Diaz, J. Bangsbo e P. Krustrup (2014). "The application of the Yo-Yo intermittent endurance level 2 test to elite female soccer populations." Scand J Med Sci Sports **24**(1): 43-54.

Bradley, P. S., C. Carling, D. Archer, J. Roberts, A. Dodds, M. Di Mascio, D. Paul, A. G. Diaz, D. Peart e P. Krustrup (2011). "The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches." J Sports Sci **29**(8): 821-830.

Bradley, P. S., C. Carling, A. Gomez Diaz, P. Hood, C. Barnes, J. Ade, M. Boddy, P. Krustrup e M. Mohr (2013). "Match performance and physical capacity of players in the top three competitive standards of English professional soccer." Hum Mov Sci **32**(4): 808-821.

Bradley, P. S., A. Dellal, M. Mohr, J. Castellano e A. Wilkie (2014). "Gender differences in match performance characteristics of soccer players competing in the UEFA Champions League." Hum Mov Sci **33**: 159-171.

Brooks, G. A. (2018). "The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory." Cell Metab **27**(4): 757-785.

Buchheit, M., S. C. Voss, L. Nybo, M. Mohr e S. Racinais (2011). "Physiological and performance adaptations to an in-season soccer camp in the heat: associations with heart rate and heart rate variability." Scand J Med Sci Sports **21**(6): e477-485.

Bush, M., C. Barnes, D. T. Archer, B. Hogg e P. S. Bradley (2015). "Evolution of match performance parameters for various playing positions in the English Premier League." Hum Mov Sci **39**: 1-11.

Cairns, S. P. e A. F. Dulhunty (1995). "High-frequency fatigue in rat skeletal muscle: role of extracellular ion concentrations." Muscle Nerve **18**(8): 890-898.

Carling, C., J. Bloomfield, L. Nelsen e T. Reilly (2008). "The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data." Sports Med **38**(10): 839-862.

Carling, C., P. Bradley, A. McCall e G. Dupont (2016). "Match-to-match variability in high-speed running activity in a professional soccer team." J Sports Sci: 1-9.

Carling, C. e G. Dupont (2011). "Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play?" J Sports Sci **29**(1): 63-71.

Castellano, J., A. Blanco-Villasenor e D. Alvarez (2011). "Contextual variables and time-motion analysis in soccer." Int J Sports Med **32**(6): 415-421.

Castellano, J., D. Casamichana e C. Lago (2012). "The Use of Match Statistics that Discriminate Between Successful and Unsuccessful Soccer Teams." J Hum Kinet **31**: 139-147.

Dellal, A., K. Chamari, D. Wong, S. Ahmaidi, D. Keller, R. Barros, G. Bisciotti e C. Carling (2011). "Comparison of physical and technical performance in European soccer match-play: FA Premier League and La Liga. ". European Journal of Sports Science **11**(1): 51-59.

Di Mascio, M. e P. S. Bradley (2013). "Evaluation of the most intense high-intensity running period in English FA premier league soccer matches." J Strength Cond Res **27**(4): 909-915.

Di Salvo, V., W. Gregson, G. Atkinson, P. Tordoff e B. Drust (2009). "Analysis of high intensity activity in Premier League soccer." Int J Sports Med **30**(3): 205-212.

Di Salvo, V., F. Pigozzi, C. Gonzalez-Haro, M. S. Laughlin e J. K. De Witt (2013). "Match performance comparison in top English soccer leagues." Int J Sports Med **34**(6): 526-532.

Ekblom, B., C. J. Greenleaf, J. E. Greenleaf e L. Hermansen (1971). "Temperature regulation during continuous and intermittent exercise in man." Acta Physiol Scand **81**(1): 1-10.

Gaudino, P., F. M. Iaia, A. J. Strudwick, R. D. Hawkins, G. Alberti, G. Atkinson e W. Gregson (2015). "Factors influencing perception of effort

(session rating of perceived exertion) during elite soccer training." Int J Sports Physiol Perform **10**(7): 860-864.

Gore, C. J., R. J. Aughey, P. C. Bourdon, L. A. Garvican-Lewis, R. Soria, J. C. Claros, C. Sargent, G. D. Roach, M. Buchheit, B. M. Simpson, K. Hammond, M. Kley, N. Wachsmuth, M. Pepper, A. Edwards, D. Cuenca, T. Vidmar, H. Spielvogel e W. F. Schmidt (2013). "Methods of the international study on soccer at altitude 3600 m (ISA3600)." Br J Sports Med **47 Suppl 1**: i80-85.

Gregson, W., B. Drust, G. Atkinson e V. D. Salvo (2010). "Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer." Int J Sports Med **31**(4): 237-242.

Iaia, F. M., E. Rampinini e J. Bangsbo (2009). "High-intensity training in football." Int J Sports Physiol Perform **4**(3): 291-306.

Impellizzeri, F. M., E. Rampinini, A. J. Coutts, A. Sassi e S. M. Marcora (2004). "Use of RPE-based training load in soccer." Med Sci Sports Exerc **36**(6): 1042-1047.

Ingebrigtsen, J., M. Bendiksen, M. B. Randers, C. Castagna, P. Krustrup e A. Holtermann (2012). "Yo-Yo IR2 testing of elite and sub-elite soccer players: performance, heart rate response and correlations to other interval tests." J Sports Sci **30**(13): 1337-1345.

Juel, C., J. Bangsbo, T. Graham e B. Saltin (1990). "Lactate and potassium fluxes from human skeletal muscle during and after intense, dynamic, knee extensor exercise." Acta Physiol Scand **140**(2): 147-159.

Krustrup, P., P. S. Bradley, J. F. Christensen, C. Castagna, S. Jackman, L. Connolly, M. B. Randers, M. Mohr e J. Bangsbo (2015). "The Yo-Yo IE2 Test: Physiological Response for Untrained Men versus Trained Soccer Players." Med Sci Sports Exerc **47**(1): 100-108.

Krustrup, P., M. Mohr, T. Amstrup, T. Rysgaard, J. Johansen, A. Steensberg, P. K. Pedersen e J. Bangsbo (2003). "The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity." Med Sci Sports Exerc **35**(4): 697-705.

Krustrup, P., M. Mohr, H. Ellingsgaard e J. Bangsbo (2005). "Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status." Med Sci Sports Exerc **37**(7): 1242-1248.

Krustrup, P., M. Mohr, L. Nybo, J. M. Jensen, J. J. Nielsen e J. Bangsbo (2006). "The Yo-Yo IR2 test: physiological response, reliability, and application to elite soccer." Med Sci Sports Exerc **38**(9): 1666-1673.

Krustrup, P., M. Mohr, A. Steensberg, J. Bencke, M. Kjaer e J. Bangsbo (2006). "Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance." Med Sci Sports Exerc **38**(6): 1165-1174.

Krustrup, P., M. Zebis, J. M. Jensen e M. Mohr (2010). "Game-induced fatigue patterns in elite female soccer." J Strength Cond Res **24**(2): 437-441.

Laitano, O., J. L. Runco e L. Baker (2014). "HYDRATION SCIENCE AND STRATEGIES IN FOOTBALL." Sports Science Exchange **27**(128): 1-7.

Magal, M., M. J. Webster, L. E. Sistrunk, M. T. Whitehead, R. K. Evans e J. C. Boyd (2003). "Comparison of glycerol and water hydration regimens on tennis-related performance." Med Sci Sports Exerc **35**(1): 150-156.

Maughan, R. J. (2007). "Nutrition for Football " The FIFA/FMARC Concensus on Nutrition for football.

McGregor, S. J., C. Nicholas, W., H. W. Lakomy e C. Williams (1999). "The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a football skill. ". Journal of Sports Sciences **17**(11): 895-903.

McSharry, P. E. (2007). "Effect of altitude on physiological performance: a statistical analysis using results of international football games." BMJ **335**(7633): 1278-1281.

Mohr, M. e P. Krustrup (2012). "Heat Stress Impairs Repeated Jump Ability after Competitive Elite Soccer Games." J Strength Cond Res.

Mohr, M. e P. Krustrup (2013). "Heat stress impairs repeated jump ability after competitive elite soccer games." J Strength Cond Res **27**(3): 683-689.

Mohr, M. e P. Krustrup (2014). "Yo-Yo intermittent recovery test performances within an entire football league during a full season." J Sports Sci **32**(4): 315-327.

Mohr, M., P. Krustrup e J. Bangsbo (2003). "Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue." J Sports Sci **21**(7): 519-528.

Mohr, M., P. Krustrup e J. Bangsbo (2005). "Fatigue in soccer: a brief review." J Sports Sci **23**(6): 593-599.

Mohr, M., P. Krustrup, L. Nybo, J. J. Nielsen e J. Bangsbo (2004). "Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time." Scand J Med Sci Sports **14**(3): 156-162.

Mohr, M., I. Mujika, J. Santisteban, M. B. Randers, R. Bischoff, R. Solano, A. Hewitt, A. Zubillaga, E. Peltola e P. Krustrup (2010). "Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach." Scand J Med Sci Sports **20 Suppl 3**: 125-132.

Nielsen, J. J., M. Mohr, C. Klarskov, M. Kristensen, P. Krustrup, C. Juel e J. Bangsbo (2004). "Effects of high-intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle." J Physiol **554**(Pt 3): 857-870.

Nyberg, M., S. P. Mortensen, B. Saltin, Y. Hellsten e J. Bangsbo (2010). "Low blood flow at onset of moderate-intensity exercise does not limit muscle oxygen uptake." Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol **298**(3): R843-848.

Nybo, L., P. Rasmussen e M. N. Sawka (2014). "Performance in the heat-physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue." Compr Physiol **4**(2): 657-689.

Osgnach, C., S. Poser, R. Bernardini, R. Rinaldo e P. E. di Prampero (2010). "Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach." Med Sci Sports Exerc **42**(1): 170-178.

Rampinini, E., F. M. Impellizzeri, C. Castagna, G. Abt, K. Chamari, A. Sassi e S. M. Marcora (2007). "Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games." J Sports Sci **25**(6): 659-666.

Rampinini, E., F. M. Impellizzeri, C. Castagna, A. J. Coutts e U. Wisloff (2009). "Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level." J Sci Med Sport **12**(1): 227-233.

Rebelo, A., J. Brito, A. Seabra, J. Oliveira e P. Krustrup (2014). "Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity." Eur J Sport Sci **14 Suppl 1**: S148-156.

Reilly, T. (1997). "Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue." J Sports Sci **15**(3): 257-263.

Reilly, T. e V. Thomas (1979). "Estimated daily energy expenditures of professional association footballers." Ergonomics **22**(5): 541-548.

Rollo, I., F. M. Impellizzeri, M. Zago e F. M. Iaia (2014). "Effects of 1 versus 2 games a week on physical and subjective scores of subelite soccer players." Int J Sports Physiol Perform **9**(3): 425-431.

Saltin, B. e L. Hermansen (1966). "Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise." J Appl Physiol **21**(6): 1757-1762.

Smodlaka, V. N. (1978). "Cardiovascular Aspects of Soccer." Phys Sportsmed **6**(7): 66-70.

Soderlund, K. e E. Hultman (1991). "ATP and phosphocreatine changes in single human muscle fibers after intense electrical stimulation." Am J Physiol **261**(6 Pt 1): E737-741.

Street, D., J. J. Nielsen, J. Bangsbo e C. Juel (2005). "Metabolic alkalosis reduces exercise-induced acidosis and potassium accumulation in human skeletal muscle interstitium." J Physiol **566**(Pt 2): 481-489.

Taylor, L. e I. Rollo (2014). "Impact of Altitude and Heat on Football Performance." Sports Science Exchange **27**(131): 1-9.

Ursino, M. e E. Magosso (2004). "Interaction among humoral and neurogenic mechanisms in ventilation control during exercise." Ann Biomed Eng **32**(9): 1286-1299.

Williams, C. e I. Rollo (2015). "Carbohydrate Nutrition and Team Sport Performance." Sports Med **45 Suppl 1**: S13-22.

Wong del, P., C. Carling, A. Chaouachi, A. Dellal, C. Castagna, K. Chamari e D. G. Behm (2011). "Estimation of oxygen uptake from heart rate and ratings of perceived exertion in young soccer players." J Strength Cond Res **25**(7): 1983-1988.