



Revista Brasileira de CIÊNCIAS DO ESPORTE

www.rbceonline.org.br



ARTIGO DE REVISÃO

Fatores determinantes da estratégia de ritmo em esportes de endurance



Paulo Estevão Franco-Alvarenga^a, Cayque Brietzke^a, Felipe de Russi de Lima^a,
Fabiano Aparecido Pinheiro^{a,b}, Tony Meirelles Santos^{a,c}, Ricardo Yukio Asano^{a,d}
e Flávio Oliveira Pires^{a,e,*}

^a Universidade de São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH-USP), Grupo de Estudos em Psicofisiologia do Exercício (GEPsE), São Paulo, SP, Brasil

^b Universidade de São Paulo, Escola de Educação Física e Esportes (EEFE-USP), São Paulo, SP, Brasil

^c Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Educação Física, Núcleo de Investigação em Performance e Saúde, Recife, PE, Brasil

^d Universidade Ibirapuera, Departamento de Educação Física, São Paulo, SP, Brasil

^e Universidade Federal de São Paulo, Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano e Reabilitação (PPGCMHR), São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 24 de outubro de 2016; aceito em 16 de abril de 2018

Disponível na Internet em 9 de junho de 2018

PALAVRAS-CHAVE

Desempenho;
Percepção de
esforço;
Tomada de decisão;
Regulação do
exercício

KEYWORDS

Performance;
Perception of effort;
Make decision;
Exercise regulation

Resumo Provas cíclicas de longa duração exigem que atletas tomem decisões acerca do uso de energia durante a prova. Visto isso, diferentes estratégias de ritmo (*pace strategy*) foram diagnosticadas a fim de promover uma economia de energia durante o esforço. Portanto, o objetivo desta revisão é apresentar os principais mecanismos da estratégia de ritmo, baseados nos modelos de tomada de decisão sustentados por informações aferentes ou contextuais/intuitivas, que são usadas para calcular e reduzir um possível risco de fadiga prematura durante uma tarefa de endurance.

© 2018 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Determinants factors of pacing strategy on endurance sports

Abstract Long cyclic exercises require that athletes make decisions about the use of energy during the trial, as this, different pacing strategies were diagnosed in order to promote an economy of energy during exercise. Therefore the aim of this review was to present the major exercise strategy mechanisms, based on the decision-making models supported by accurate

* Autor para correspondência.

E-mail: piresfo@usp.br (F.O. Pires).

PALABRAS CLAVE

Rendimiento;
Percepción del
esfuerzo;
Toma de decisión;
Regulación del
ejercicio

afferent information, or contextual / intuitive, which are used to calculate the risk of the exercise/test, and decide to reduce/maintain/increase the pace of exercise/test.

© 2018 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Determinantes de la estrategia de ritmo en los deportes de resistencia

Resumen Las pruebas cíclicas a largo plazo requieren que los atletas tomen decisiones sobre el uso de la energía durante la carrera. De esta manera, se diagnosticaron diferentes estrategias de ritmos (*spacing strategy*) con el fin de promover una economía de energía durante el esfuerzo. Por tanto, el objetivo de esta revisión es presentar los principales mecanismos de la estrategia de ritmo, basados en los modelos de toma de decisiones con el apoyo de la información aferente exacta, o contextual/intuitiva, que se utiliza para calcular el posible riesgo de cansancio prematuro durante la prueba de resistencia.

© 2018 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introdução

Com objetivo de finalizar uma prova de endurance no menor tempo possível, seja ela de curta, média ou longa distância, indivíduos adotam diferentes estratégias de ritmo (*spacing strategy*) (Hettinga et al., 2006). Durante as provas cíclicas de longa distância atletas necessitam tomar decisões de como usar a energia armazenada para concluir a prova da maneira mais eficiente possível (Foster et al., 2004). Inicialmente Ulmer (1996) sugeriu que a estratégia de ritmo seja determinada por mecanismo antecipatório e de ajustes que são contínuos ao longo de uma tarefa.

O mecanismo antecipatório pode ser caracterizado pelo planejamento prévio do ritmo ao longo de uma prova. Entretanto, tal planejamento é dependente de alguns fatores, tais como nível de treinamento e conhecimento prévio das características e tipo de prova (i.e. distância ou duração) (Tucker e Noakes, 2009). Em contrapartida, ajustes contínuos ao longo da tarefa baseiam-se no mecanismo de *feedback* aferente, a partir da integração entre sistema nervoso central (SNC) e periferia (i.e. músculos) (Ulmer, 1996; Tucker e Noakes, 2009; St Clair Gibson et al., 2017). Por meio desse conjunto de informações, surge de maneira consciente no SNC a percepção subjetiva do esforço (PSE), na qual as respostas fisiológicas periféricas auxiliam o cérebro a calcular o nível de PSE ao longo do exercício, indicam as condições fisiológicas do organismo durante o exercício. Dessa maneira, previnem o risco de fadiga prévia (Baldwin et al., 2003; St Clair Gibson et al., 2003; Noakes et al., 2005; Pires, Lima-Silva et al., 2011). Dessa maneira, a PSE pode ser considerada um importante fator na formulação de estratégias durante as provas, pois seria a representação consciente da integração entre mecanismo antecipatório e *feedback* aferente (St Clair Gibson et al., 2003; Pageaux, 2016). Assim, supõe-se que a periferia enviaria através de nervos aferentes (III e IV) as condições das alterações periféricas, tais como gasto energético, tem-

peratura, reserva de glicogênio, entre outros durante o exercício ao SNC, permitiriam assim que o SNC execute ajustes contínuos no ritmo (produção de potência mecânica [PP] ou velocidade) para que a tarefa seja terminada no menor tempo sem que haja fadiga prematura (Tucker e Noakes, 2009; St Clair Gibson et al., 2017), sustentariam a hipótese de que o SNC regulasse o nível de recrutamento muscular a partir das informações derivadas do metabolismo periférico, adequariam a taxa de uso de reservas metabólicas em função da proximidade do fim da prova (Tucker, 2009).

Devido a diferentes possíveis mecanismos, e a diversas teorias, torna-se necessária uma revisão de literatura que torne o entendimento sobre o mecanismo do *spacing* mais claro aos leitores. Portanto o presente estudo apresentará uma descrição sobre como a integração entre mecanismos de antecipação e *feedback* contínuo possibilita a regulação do ritmo de exercício/prova, dentro do contexto do original modelo de algoritmo de ritmo. Consequentemente, a evolução desse modelo inicial com a inclusão do modelo de *template* de PSE, ou com a inclusão do conceito de tomada de decisão, será apresentada. Para tal, buscaram-se intencionalmente, na base de dados Pubmed, estudos clássicos e atuais, relevantes à temática, e as palavras-chave usadas foram: *spacing strategy*, *perception of effort*, *exercise regulation*.

Mecanismo antecipatório do ritmo de exercício

O modelo teórico usado para explicar a estratégia de ritmo assume que um algoritmo de ritmo é estabelecido no SNC, com o uso de um mecanismo antecipatório e um mecanismo de ajuste contínuo (St Clair Gibson et al., 2006). Esse modelo sugere que a tomada de decisão sobre a regulação do ritmo de exercício ocorra de acordo com um algoritmo de ritmo estabelecido antecipadamente, base-

ado em aspectos como a experiência prévia do sujeito, seu nível de treinamento e conhecimento prévio sobre o exercício/prova a ser feito (contexto e ponto final) (St Clair Gibson et al., 2006). Entretanto, o ritmo inicial adotado seria constantemente refinado de acordo com o estado fisiológico atual (Abbiss e Laursen, 2008). Nesse caso, vale a pena realçar que tal mecanismo antecipatório ocorre não somente antes do início do exercício, mas também ao longo da sua execução.

Sugere-se que o algoritmo de ritmo possa ser definido antes do exercício. Nesse caso, a experiência prévia, o nível de condicionamento físico e informações como clima e trajeto do exercício a ser feito parecem ser fatores decisivos para a escolha do ritmo (Tucker, 2009). Por exemplo, estudo de Lima-Silva et al. (2010) observou que corredores com melhores resultados em provas de fundo e meio-fundo oficiais apresentavam também uma saída mais agressiva num teste contrarrelógio (TT) de 10 km. Além disso, maiores velocidades médias em cada trecho da prova (inicial, intermediário e final) e o *sprint* final mais marcante foram observados entre os corredores com melhor condicionamento. Esse estudo foi um dos primeiros a identificar que o nível de treinamento era fator determinante da estratégia de ritmo adotada, principalmente com relação ao ritmo adotado nos primeiros instantes do exercício. Em contrapartida, Viana et al. (2017) encontraram estratégias de prova semelhantes em ciclistas de *mountain bike* de alta e baixa performance durante uma corrida de 10 km simulada. Apesar do *pacing* semelhante, os sujeitos de alta performance obtiveram melhores tempos de prova e maior intensidade durante o trajeto.

Um fator que parece potencializar o efeito do nível de condicionamento físico na escolha do ritmo de exercício é a experiência anterior que o indivíduo tem numa dada tarefa. Por exemplo, Micklewright et al. (2010) observaram que ciclistas alteravam seu ritmo de pedalada durante o teste TT de 20 km conforme o seu conhecimento prévio da prova, apesar de tal alteração não ter causado diferença no desempenho final medido pelo tempo gasto para completar um TT20 km. Isso ocorreria devido a uma maior experiência dos ciclistas na tarefa, o que proporcionaria uma maior capacidade de interpretar a PSE em relação às condições do organismo em meio à prova. A experiência prévia permitiria que os mecanismos interoceptivos (resultantes da interpretação de sinais integrativos entre as condições de órgãos e músculos periféricos) se tornem mais precisos em decodificar tais sinais, quando do processamento de emoções relevantes para a tomada de decisão e controle do exercício (Craig, 2003; St Clair Gibson et al., 2017). Um exemplo dessa decodificação seria a geração da sensação de esforço da tarefa (Smits et al., 2014).

Outro ponto fundamental na determinação do algoritmo de ritmo é o conhecimento do ponto final de exercício. Baseado no modelo de Ulmer (1996), acredita-se que o recrutamento muscular periférico seja regulado, inicialmente, a partir do conhecimento prévio sobre o ponto final do exercício. Nesse caso, o SNC regularia a taxa metabólica por meio de variações no recrutamento de unidades motoras, com o objetivo de evitar a fadiga prévia (Noakes et al., 2005). Nesse sentido, Albertus et al. (2005) manipularam as informações sobre a distância percorrida durante um TT20 km. Os ciclistas completaram cinco testes

de 20 km, porém com diferentes informações sobre a distância percorrida, as quais eram corretas e incorretas. Na sessão controle o sujeito era informado corretamente a cada 1 km percorrido; nas sessões seguintes usaram o método de *deception* positivo (percorreu menos do que o informado, 775m para o primeiro 1 km e incremento de 25m nas informações seguintes) e negativo (percorreu mais do que o informado, 1.250m para o primeiro 1 km e redução de 25m nas informações seguintes), além de uma sessão randomizada com erros entre 25 a 250m. Como principal resultado, observou-se que nem o desempenho nem o ritmo de prova foram alterados por meio da manipulação das informações, sugeriu-se que um possível algoritmo de ritmo, substancial, foi criado para o TT20 km, o qual foi inalterado pela alteração de informações contextuais como o *feedback* da distância. Corroborar a ideia o estudo de Pinheiro et al. (2016), que ao submeter ciclistas treinados a testes contrarrelógio com privação de luz e sem informação sobre a distância percorrida, observaram que eles mantiveram suas estratégias e seu desempenho.

De fato, outros estudos observaram resultados semelhantes (Foster et al., 1993; Mauger et al., 2009; Tucker, 2009; Tucker e Noakes, 2009), sugeriram que um algoritmo de ritmo seja substancial o bastante para assegurar que o ritmo de exercício estabelecido com base na experiência prévia, no nível de treinamento e conhecimento do ponto final, seja consistente entre sucessivos exercícios feitos sob condições idênticas. Nesse caso, a interpretação consciente de informações aferentes é um ponto fundamental para garantir a substancialidade do algoritmo de ritmo.

Sistemas de informação aferentes para regulação do ritmo de exercício

A proposição original do algoritmo de ritmo sugere que as alterações no ritmo de exercício permitam um melhor ajuste do gasto energético quando considerados o tempo total de exercício, a distância e a quantidade de reserva energética disponível no organismo (Foster et al., 1993; St Clair Gibson et al., 2006; Tucker, 2009; Tucker e Noakes, 2009). De acordo com o algoritmo de ritmo, variações na velocidade de corrida, pedalada etc. ocorrem por meio das alterações no recrutamento muscular acionado pelo SNC, os quais seriam baseados em alterações do metabolismo periférico (i.e. FC, VO₂, temperatura corporal etc.) (Tucker, 2009; Micklewright et al., 2015). Tais alterações ocorrem em nível subconsciente, em regiões subcorticais, resultam em sua projeção a regiões do córtex cerebral, como, por exemplo, a ínsula direita e o córtex somatossensorial como sensação consciente do esforço (Craig, 2003; Noakes et al., 2005).

Devido ao SNC interpretar as alterações metabólicas periféricas, é sugerido que tais alterações possam interferir na estratégia de ritmo, ou seja, baseado na PSE do momento o sujeito teria de tomar decisões acerca de aumentar, reduzir ou manter a intensidade do esforço gerado (Tucker e Noakes, 2009). Nesse mecanismo, regiões como córtex orbitofrontal e pré-frontal, ou subcorticais, como tálamo, amígdala e giro cingulado do SNC, seriam constantemente informadas através de nervos aferentes do grupo III e IV, entre outros, sobre as alterações metabólicas que ocorrem nos órgãos e músculos periféricos (Craig, 2003; Lambert et al., 2005; Meeusen

et al., 2016) e respostas periféricas sinalizadoras ao SNC, a respeito das condições na periferia do corpo. Por exemplo, alterações nas concentrações de lactato e potássio muscular, pH muscular, ou concentrações sanguíneas de glicose, noradrenalina ou dopamina, seriam importantes sinalizadores metabólicos (Hettinga et al., 2007). Juntamente com alterações na temperatura corporal, respostas cardiopulmonares, tais como na FC, frequência respiratória, VO_2 e VCO_2 , também seriam importantes sinalizadores. Entretanto, evidências recentes sugerem que alterações em componentes de ação central e periférica, tais como noradrenalina, dopamina, glicose (Renfree et al., 2014), VO_2 (Bishop et al., 2002) e temperatura central (Roelands et al., 2013), sejam sinalizadores vitais para o estabelecimento de um algoritmo de ritmo. Assim, alcançariam diretamente áreas corticais no lobo frontal, ou áreas subcorticais, as quais têm projeções a estruturas corticais que estão envolvidas com diversas funções neurocognitivas, dentre as quais podem ser destacadas o planejamento motor, emoções e tomada de decisão (Damasio et al., 2000; Ekkekakis, 2009; Meeusen et al., 2016; Venhorst et al., 2017). Essas informações sustentam a hipótese de que o objetivo do SNC é assegurar a homeostase do organismo e a integridade celular durante o exercício, regular o nível de recrutamento muscular, causar variações no ritmo de exercício (velocidade de corrida ou pedalada, ou PP) para que seja finalizado sem ocorrência de falha nesses sistemas periféricos (St Clair Gibson et al., 2006), variar a taxa de elevação da PSE durante o exercício (Noakes et al., 2005; Pires, Lima-Silva et al., 2011).

De fato, ainda não estão bem esclarecidas quais estruturas cerebrais teriam papel de destaque na regulação do ritmo. Se considerarmos o mecanismo interoceptivo seria possível sugerir que áreas cerebrais integrativas, as quais também participam do planejamento motor, sejam áreas vitais para o controle do ritmo de exercício, uma vez que participariam da conscientização da sensação de esforço e do controle do ritmo de exercício (Abbiss e Laursen, 2008). Consequentemente, tais regiões corticais e subcorticais teriam papel importante no processo de tomada de decisão e fariam o atleta gerar variações no recrutamento muscular de acordo com o estado metabólico periférico e a PSE (Roelands et al., 2013; Smits et al., 2014; Pires et al., 2016).

Estratégia de ritmo baseada na PSE

Desde a proposição da escala de Borg, 1982 para a medida do esforço percebido, assume-se que a PSE seja resultante da integração entre respostas fisiológicas periféricas, além das repostas do próprio SNC e de alterações no contexto, ainda que essas duas últimas sejam desconsideradas por boa parte dos estudos (Noakes, 2004). Essa hipótese assume que a PSE seja gerada em estruturas cerebrais e modulada por alterações nos sistemas fisiológicos periféricos e no contexto do exercício (Hampson et al., 2001). O esforço percebido num determinado exercício seria resultante das cópias do comando motor (cópia efetora) executado pelo córtex motor, as quais seriam enviadas a regiões do córtex somatossensorial e córtex do cíngulo anterior (CCA) (Pageaux, 2016). Este último, o CCA, até tem sido interpretado como uma região cortical interoceptiva, associada

à interpretação de *feedback* aferente, a qual pode estar envolvida na integração entre as respostas em órgãos e músculos periféricos e as alterações dentro do próprio SNC.

Essa característica integrativa, multifatorial, permitiu a sugestão de um modelo de algoritmo de ritmo baseado num *template* de PSE (St Clair Gibson et al., 2006). Essa sugestão assume que o ritmo seja regulado, momento a momento, através da comparação contínua entre a PSE do momento e a PSE esperada para aquele dado momento, dadas as condições do exercício. Nesse caso, a PSE esperada para um determinado momento do exercício seria armazenada a partir de experiências prévias, fixaria, assim, um *template* de PSE que serviria para tomadas de decisão em relação ao ritmo de prova/exercício (Renfree et al., 2014).

As evidências de que a PSE poderia ser usada para controle do ritmo surgiram, de forma mais marcante, a partir da reanálise dos dados de Baldwin et al. (2003) feita por Noakes (2004). Nesse estudo os autores plotaram os dados de PSE em função do tempo de exaustão relativo, West et al. (2006) demonstraram que a baixa disponibilidade de carboidrato aumenta a taxa de inclinação da PSE durante exercício de carga constante e o oposto ocorria quando da alta disponibilidade de carboidrato. Entretanto, não havia qualquer diferença na taxa de elevação da PSE quando os dados foram normalizados pela duração relativa ou percentual da duração do exercício. Esses resultados corroboram outros estudos em diferentes condições experimentais (Hampson et al., 2001; Noakes, 2004; Pires, Noakes et al., 2011; Micklewright et al., 2015; Pinheiro et al., 2015), indicariam que a taxa de elevação da PSE poderia apontar o ponto de desfecho de um exercício de ritmo controlado e ponto final desconhecido (Pires e Hammond, 2012), assim como aqueles com ritmo livre e ponto final conhecido (Tucker, 2009). Dessa forma, o modelo de *template* de PSE ganhou força como um marcador do ritmo de exercício, pois indicaria o tempo remanescente até o ponto final do exercício/prova (Tucker e Noakes, 2009).

Posteriormente, um modelo que calcula o "risco de fadiga prematura", ou *Hazard Score*, foi sugerido por de Koning et al. (2011). Esse índice é obtido pelo produto da PSE do momento e a fração da distância remanescente até o ponto final e indicaria o risco de fadiga prematura. Por exemplo, valores de risco $< 1,5$ indicariam a possibilidade de elevação do ritmo de exercício (PP ou velocidade), enquanto valores $> 3,0$ sugeririam a necessidade de redução do ritmo, dado o alto risco de fadiga prematura durante exercício de ritmo livre. Valores entre 1,5 e 3,0 indicariam que o ritmo de exercício deve ser mantido (de Koning et al., 2011). De acordo com esse modelo, a capacidade de o indivíduo calcular o risco de falha até o ponto final do exercício permitiria a tomada de decisão de forma precisa. Por exemplo, o cálculo do risco, momento a momento, determinaria dois importantes fenômenos durante exercícios de média e longa duração, tais como: 1) a redução do ritmo de exercício na fase intermediária, após uma saída forte. Tal redução teria como finalidade evitar que a fadiga (i.e., colapso ou falha sistêmica) seja instalada precocemente; 2) a presença de um *sprint* final, permitiria que o indivíduo aumentasse o ritmo de exercício de forma precisa nos momentos finais e completasse o exercício de forma eficiente.

Um exemplo prático que ocorre em provas ou exercícios com desfecho conhecido, com mais de dois minutos de duração: o aumento gradual no recrutamento muscular observado nas fases finais (*sprint* final) de uma corrida de 10 km, ou um TT20 km, entre outros, tem início quando os níveis de PSE ainda são submáximos, mas se aproximam de valores máximos (Mauger et al., 2009). Segundo o modelo de "risco de fadiga prematura", isso indicaria que o SNC seria capaz de calcular o risco de fadiga de acordo com a proximidade do ponto final.

Apesar de atraente, poucos estudos foram desenhados para verificar a praticidade desse modelo até o momento. Alguns estudos sugerem que, por ser apenas baseado num constructo psicológico, os modelos de PSE e de "risco" não têm capacidade de prever a tomada de decisão sobre as alterações de ritmo de exercício, pois outras respostas psicológicas, como as respostas de afeto e motivação, deveriam ser incorporadas (Pageaux et al., 2014).

Modelo de tomada de decisão e o algoritmo de ritmo

Recentemente, modelos de tomada de decisão têm sido usados para entender as variações que ocorrem no ritmo de exercício (Smits et al., 2014). Modelos de tomada de decisão, normalmente usados para compreender comportamentos relativos à tomada de decisão em áreas da política e economia, foram sugeridos como meio de avançar sobre o conhecimento do modelo de algoritmo de ritmo, uma vez que as variações do ritmo de exercício e as estratégias usadas para determinar tais variações são, supostamente, parte de um processo de tomada de decisão (Renfree et al., 2014).

A ideia é que durante um exercício/prova os indivíduos (atletas, praticantes etc.) são submetidos a sucessivas ocasiões em que devem tomar decisões sobre alterações no ritmo de trabalho físico/muscular, com a finalidade de preservar ou elevar o desempenho, sem a ocorrência de fadiga prematura (Micklewright et al., 2015). De forma geral, dois são os modelos de tomada de decisão que poderiam ser empregados na tentativa de explicação do fenômeno: 1) tomada de decisão racional; 2) tomada de decisão heurística (ou intuitiva) (de Koning et al., 2011).

No modelo de tomada de decisão racional, o indivíduo decide, racionalmente, em favor de uma opção, após análise da informação disponível sobre as possíveis opções, calcula o risco de cada escolha e, baseado na relação entre o custo de operacionalizar tal decisão e seus resultados esperados, decide agir ou não (Renfree et al., 2014). Por exemplo, um sujeito que tenta bater seu próprio recorde (tempo) num dado exercício/prova, quando percebe que seu ritmo está subestimado num dado momento da prova (exemplo, primeira metade), é levado a decidir se aumenta o ritmo de exercício ou não (Micklewright et al., 2015). Contudo, essa tomada de decisão necessita do conhecimento completo sobre sua capacidade fisiológica do momento e condições do exercício, para que o risco a ser assumido quando da elevação do ritmo seja eventualmente calculado com precisão (Renfree et al., 2014). Consequentemente, e em conformidade com o modelo original de algoritmo de ritmo, o modelo racional de tomada de decisão implica aceitar que o SNC monitore, de forma contínua, todas as

informações sensoriais (aférentes) que são decodificadas para a geração de emoções, tais como a percepção de esforço. Concluímos que na interpretação objetiva de sinais aferentes, alterações na estratégia de ritmo poderiam ocorrer (St Clair Gibson et al., 2006).

Entretanto, é provável que em situações da prática real de exercício e em ambientes de competição os indivíduos geralmente são expostos a uma grande variedade de circunstâncias, o que torna impossível o cálculo do risco para cada uma, de forma precisa (Micklewright et al., 2015). Nesse caso, é provável que os indivíduos baseiem-se nas variações do ritmo sobre opções mais simples para a tomada de decisão. No modelo heurístico/intuitivo a tomada de decisão é baseada em menos informações contextuais, torna, assim, o processo mais simples e rápido (Renfree et al., 2014). Em vez de basear a tomada de decisão no monitoramento preciso de sinais aferentes/periféricos e detalhes contextuais, o modelo intuitivo assume que as tomadas de decisão são baseadas nas respostas emocionais desencadeadas pela severidade do distúrbio metabólico decorrente do ritmo de exercício adotado (Pinheiro et al., 2016). Portanto, tais respostas seriam analisadas em termos de "certeza/incerteza" e a tomada de decisão consideraria o grau de certeza/incerteza para um dado esforço, em relação ao grau de recompensa que tal ação implica. Por exemplo, um sujeito poderia decidir reduzir seu ritmo de prova numa situação não competitiva, dada a incerteza de conseguir continuar no mesmo ritmo até o desfecho do exercício. De outro lado, no mesmo exercício/prova ele poderia ser induzido a elevar ou manter seu ritmo de exercício/prova, numa situação competitiva (Tucker e Noakes, 2009). Uma consequência natural desse modelo é assumir que a PSE pode não indicar com precisão as respostas fisiológicas aferentes, uma vez que diferentes PSE poderiam ser observadas para exercícios/provas idênticos feitos sob diferentes estados emocionais (exemplo, motivação) (Barwood et al., 2015).

Considerações finais

O desempenho em exercícios/provas de curta, média e longa duração parece depender, até certo ponto, da estratégia usada para variar o ritmo de exercício. No modelo de algoritmo de ritmo, mecanismos antecipatórios são complementados com as respostas continuadas ao longo do exercício, a partir da interação entre respostas fisiológicas e psicológicas/emocionais. No contexto do modelo de algoritmo de ritmo original, conhecimento/experiência prévio das características do exercício/prova e respostas metabólicas ao longo da sua execução determinariam a regulação do ritmo, em última análise mediada pelas alterações na PSE. Como consequência, modelos baseados na PSE (*template* de PSE e risco de fadiga) foram sugeridos como importantes ferramentas para a compreensão das variações de ritmo de exercício e desempenho. Recentemente, entretanto, modelos de tomada de decisão usualmente aplicados a outras áreas de investigação foram sugeridos; nesses, um sistema de tomada de decisão baseado em informações aferentes precisas, ou contextuais/intuitivas, seria usado para calcular o risco do exercício/prova e decidir reduzir/manter/elevar o ritmo de exercício/prova.

Financiamento

Os autores declaram não haver apoio financeiro.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Agradecimentos

Os autores Paulo Estevão Franco-Alvarenga e Cayque Britzke agradecem à CAPES pela bolsa concedida. Flávio Oliveira Pires é grato ao CNPq-Brasil pela bolsa concedida (Bolsa PQ #307072/2016-9) e à FAPESP-Brasil pelo financiamento de projeto de pesquisa vinculado à presente revisão (#2016/16496-3).

Referências

- Abbiss CR, Laursen PB. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Med* 2008;38:239–52.
- Albertus Y, Tucker R, St Clair Gibson A, Lambert EV, Hampson DB, Noakes TD. Effect of distance feedback on pacing strategy and perceived exertion during cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:461–8.
- Baldwin J, Snow RJ, Gibala MJ, Garnham A, Howarth K, Febbraio MA. Glycogen availability does not affect the TCA cycle or TAN pools during prolonged, fatiguing exercise. *Journal of Applied Physiology* 2003;94:2181–7.
- Barwood MJ, Corbett J, Wagstaff CR, McVeigh D, Thelwell RC. Improvement of 10-km time-trial cycling with motivational self-talk compared with neutral self-talk. *Int J Sports Physiol Perform* 2015;10:166–71.
- Bishop D, Bonetti D, Dawson B. The influence of pacing strategy on VO₂ and supramaximal kayak performance. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1041–7.
- Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14:377–81.
- Craig AD. Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Curr Opin Neurobiol* 2003;13:500–5.
- Damasio AR, Grabowski TJ, Bechara A, Damasio H, Ponto LL, Parvizi J, et al. Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nat Neurosci* 2000;3:1049–56.
- de Koning JJ, Foster C, Bakkum A, Kloppenburg S, Thiel C, Joseph T, et al. Regulation of pacing strategy during athletic competition. *PLoS One* 2011;6:e15863.
- Ekkekakis P. Let them roam free? Physiological and psychological evidence for the potential of self-selected exercise intensity in public health. *Sports Med* 2009;39:857–88.
- Foster C, de Koning JJ, Hettinga F, Lampen J, Dodge C, Bobbert M, et al. Effect of competitive distance on energy expenditure during simulated competition. *Int J Sports Med* 2004;25:198–204.
- Foster C, Snyder AC, Thompson NN, Green MA, Foley M, Schragger M. Effect of pacing strategy on cycle time trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:383–8.
- Hampson DB, St Clair Gibson A, Lambert MI, Noakes TD. The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. *Sports Med* 2001;31:935–52.
- Hettinga FJ, De Koning JJ, Broersen FT, Van Geffen P, Foster C. Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trials. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1484–91.
- Hettinga FJ, De Koning JJ, Meijer E, Teunissen L, Foster C. Biodynamics. Effect of pacing strategy on energy expenditure during a 1500-m cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:2212–8.
- Lambert EV, St Clair Gibson A, Noakes TD. Complex systems model of fatigue: integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. *Br J Sports Med* 2005;39:52–62.
- Lima-Silva AE, Bertuzzi RC, Pires FO, Barros RV, Gagliardi JF, Hammond J, et al. Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. *Eur J Appl Physiol* 2010;108:1045–53.
- Mauger AR, Jones AM, Williams CA. Influence of feedback and prior experience on pacing during a 4-km cycle time trial. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:451–8.
- Meeusen R, Pires FO, Pinheiro FA, Lutz K, Cheung SS, Perrey S, et al. Commentaries on Viewpoint: A role for the prefrontal cortex in exercise tolerance and termination. *J Appl Physiol* (1985) 2016;120(4):467–9.
- Micklewright D, Papadopoulou E, Swart J, Noakes TD. Previous experience influences pacing during 20 km time trial cycling. *Br J Sports Med* 2010;44:952–60.
- Micklewright D, Parry D, Robinson T, Deacon G, Renfree A, St Clair Gibson A, et al. Risk perception influences athletic pacing strategy. *Med Sci Sports Exerc* 2015;47:1026–37.
- Noakes TD. Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. *J Appl Physiol* 2004;96(4):1571–3.
- Noakes TD, St Clair Gibson A, Lambert EV. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. *Br J Sports Med* 2005;39:120–4.
- Pageaux B. Perception of effort in Exercise Science: Definition, measurement and perspectives. *Eur J Sport Sci* 2016;16:885–94.
- Pageaux B, Lepers R, Dietz KC, Marcora SM. Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. *Eur J Appl Physiol* 2014;114:1095–105.
- Pinheiro FA, Santos TM, Pires FO. Conscious distance monitoring and perceived exertion in light-deprived cycling time trial. *Physiol Behav* 2016;165:211–6.
- Pinheiro FA, Santos TM, Ugrinowitsch C, Noakes TD, Pires FO. Effects of light deprivation in physical performance and psychophysiological responses to a time-to-exhaustion exercise test. *Physiol Behav* 2015;151:535–40.
- Pires FO, Anjos CASD, Covolan RJM, Pinheiro FA, St Clair Gibson F, Noakes TD, et al. Cerebral regulation in different maximal aerobic exercise modes. *Frontiers in Physiology* 2016:7.
- Pires FO, Hammond J. Manipulation effects of prior exercise intensity feedback by the Borg scale during open-loop cycling. *Br J Sports Med* 2012;46:18–22.
- Pires FO, Lima-Silva AE, Bertuzzi R, Casarini DH, Kiss MA, Lambert MI, et al. The influence of peripheral afferent signals on the rating of perceived exertion and time to exhaustion during exercise at different intensities. *Psychophysiology* 2011;48:1284–90.
- Renfree A, Martin L, Micklewright D, St Clair Gibson A. Application of decision-making theory to the regulation of muscular work rate during self-paced competitive endurance activity. *Sports Med* 2014;44:147–58.
- Roelands B, de Koning J, Foster C, Hettinga F, Meeusen R. Neurophysiological determinants of theoretical concepts and mechanisms involved in pacing. *Sports Med* 2013;43:301–11.
- Smits BL, Pepping GJ, Hettinga FJ. Pacing and decision making in sport and exercise: the roles of perception and action in the regulation of exercise intensity. *Sports Med* 2014;44:763–75.
- St Clair Gibson A, Baden DA, Lambert MI, Lambert EV, Harley YX, Hampson D, et al. The conscious perception of the sensation of fatigue. *Sports Med* 2003;33:167–76.
- St Clair Gibson A, Lambert EV, Rauch LH, Tucker R, Baden DA, Foster C, et al. The role of information processing between the brain

- and peripheral physiological systems in pacing and perception of effort. *Sports Med* 2006;36:705–22.
- St Clair Gibson A, Swart J, Tucker R. The interaction of psychological and physiological homeostatic drives and role of general control principles in the regulation of physiological systems, exercise and the fatigue process - The Integrative Governor theory. *Eur J Sport Sci* 2017;1–12.
- Tucker R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. *Br J Sports Med* 2009;43:392–400.
- Tucker R, Noakes TD. The physiological regulation of pacing strategy during exercise: a critical review. *Br J Sports Med* 2009;43:e1.
- Ulmer HV. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Experientia* 1996;52:416–20.
- Venhorst A, Micklewright D, Noakes TD. Towards a three-dimensional framework of centrally regulated and goal-directed exercise behaviour: a narrative review. *Br J Sports Med* 2017, 0306-3674.
- Viana BF, Pires FO, Inoue A, Santos TM. Pacing Strategy During Simulated Mountain Bike Racing *Int J. Sports Physiol Perform* 2017;1–20, 1555-0265.
- West SJ, Goedecke JH, van Niekerk L, Collins M, St Clair Gibson A, Macdonald IA, et al. Effects of elevated plasma adrenaline levels on substrate metabolism, effort perception and muscle activation during low-to-moderate intensity exercise. *Pflugers Arch* 2006;451:727–37.