

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA

BRUNO DE PAULA CARAÇA SMIRMAUL

PERCEPÇÃO DE ESFORÇO E
DOR DURANTE O EXERCÍCIO:
Mecanismos e limitação do
desempenho

Campinas
2010

BRUNO DE PAULA CARAÇA SMIRMAUL

**PERCEPÇÃO DE ESFORÇO E
DOR DURANTE O EXERCÍCIO:
Mecanismos e limitação do
desempenho**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Graduação) apresentado à Faculdade de
Educação Física da Universidade
Estadual de Campinas para obtenção do
título de Bacharel em Educação Física.

Orientador: Antonio Carlos de Moraes

Campinas
2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA FEF – UNICAMP

Sm48p

Smirmaul, Bruno de Paula Caraça.

Percepção de esforço e dor durante o exercício: mecanismos e limitação do desempenho / Bruno de Paula Caraça Smirmaul. - Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Antonio Carlos de Moraes.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.

1. Exercício físico. 2. Desempenho. 3. Percepção. 4. Dor. 5. Esforço.
I. Moraes, Antonio Carlos de. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

asm/fef

Título em inglês: Perception of effort and pain during exercise: mechanisms and limitations to performance.

Palavras-chaves em inglês (Keywords): Physical exercise. Performance. Perception of effort. Pain. Aerobic exercise

Data da defesa: 16/11/2010.

BRUNO DE PAULA CARAÇA SMIRMAUL

**PERCEPÇÃO DE ESFORÇO E DOR DURANTE O
EXERCÍCIO:
Mecanismos e limitação do desempenho**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) defendido por Bruno de Paula Caraça Smirmaul e aprovado pela Comissão julgadora em: 16/11/2010.

Antonio Carlos de Moraes
Orientador

Cláudio Alexandre Gobatto

Paulo Ferreira de Araújo

Campinas
2010

Agradecimentos

À minha família e a todos que contribuíram na minha formação.

SMIRMAUL, Bruno de Paula Caraça. **Percepção de esforço e dor durante o exercício: Mecanismos e limitação do desempenho.** 2010. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

RESUMO

Atualmente, os processos sensoriais do corpo humano se tornaram atributo crucial para entender a limitação do desempenho. Sugere-se que as percepções de esforço e dor são provavelmente determinantes para o desempenho em exercícios aeróbios. Mesmo sendo estudada há mais de 100 anos, a percepção de esforço ainda gera controvérsia sobre seu mecanismo gerador. Esta revisão, além de apresentar as discussões de pesquisadores do século passado sobre a percepção de esforço, apresenta também os mecanismos atuais mais aceitos para ambas as percepções: esforço e dor. Enquanto a percepção de esforço parece ser gerada centralmente, a dor é advinda dos processos de feedback aferente. Estudos até a presente data nos sugerem que a percepção de esforço parece ser mais importante do que a percepção de dor em termos de limitação do desempenho. Porém, a influência que a dor tem sobre o esforço ainda é pouco entendida e requer maiores investigações.

Palavras-Chaves: exercício físico; desempenho; percepção de esforço; dor; exercício aeróbico.

SMIRMAUL, Bruno de Paula Caraça. **Perception of effort and pain during exercise: Mechanisms and limitations to performance.** 2010. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ABSTRACT

Currently, the sensory processes of the human body have become crucial attribute to understanding the limitation of performance. It is suggested that the perceptions of effort and pain are likely determinants to performance in aerobic exercises. Despite being studied for over 100 years, the perception of effort is still controversial on its generating mechanism. This review, besides presenting the researchers' discussions of the past century about the perception of effort, also presents the current more accepted mechanisms for both perceptions: effort and pain. While the perception of effort appears to be centrally generated, the pain is arising from afferent feedback processes. Studies to date suggest us that the perception of effort seems to be more important than the perception of pain in terms of limiting the performance. However, the influence that pain has on effort is still poorly understood and requires further investigation.

Keywords: physical exercise; performance; perception of effort; pain; aerobic exercise.

SUMÁRIO

1 Introdução	09
2 Identificação do problema	11
3 Percepção de esforço: uma “nova velha” discussão	13
4 Percepção de esforço: mecanismos	17
5 Percepção de dor: mecanismos	19
6 Percepção de esforço e dor: limitantes do desempenho?	21
Considerações Finais	25
Referências	27

1 Introdução

Há mais de 100 anos pesquisadores se interessam e estudam os mecanismos que levam à fadiga durante o exercício físico. Dois famosos pesquisadores desta área do século XIX podem ser destacados: Archibald Vivian Hill e Angelo Mosso. Hill e seus colaboradores realizavam principalmente experimentos em músculos isolados, e viam nas substâncias “venenosas” (certos metabólitos) produzidas pelos músculos frente ao exercício, o principal fator que levaria este à fadiga (HILL et al., 1924). Mosso, por sua vez, desenvolveu trabalhos que envolviam o corpo humano intacto, ou seja, com a presença do sistema nervoso central. Apesar de Mosso compartilhar idéias semelhantes às de Hill referente à presença de substâncias “venenosas” como causadoras da fadiga e conseqüentemente da interrupção do exercício, ele deu um passo importante nesse estudo, demonstrando que o cérebro possui grande influência no processo de fadiga (MOSSO, 1915).

Contudo, a maioria dos fisiologistas do exercício passou grande parte do século XX se concentrando em estudos sobre a fadiga em que não viam o cérebro como protagonista. Deste modo, a idéia que mais se desenvolveu foi a de que o principal fator limitante para o exercício físico era a incapacidade do sistema cardiovascular de prover quantidades suficientes de oxigênio aos músculos ativos (NOAKES, 1997). Entretanto, estudos como os de Noakes (1988, 1997, 2000), Kayser (2003) e Noakes e St Clair Gibson (2004) desafiaram este modelo, apresentando evidências para suportar a teoria de que o cérebro é o responsável pela limitação do exercício, e não um nível crítico do sistema cardiovascular ou qualquer outro sistema corporal periférico. Assim, novas idéias quanto à limitação do exercício físico surgiram, em que a fadiga passou a ser vista como um evento não apenas físico, mas também sensorial, e maior atenção começou a ser dada para as sensações durante o exercício físico (JONES e KILLIAN, 2000; NOAKES et al., 2004).

Atualmente, os processos sensoriais do corpo humano se tornaram atributo crucial para entender a limitação do exercício. Estudos como os de Cook et al. (1997), Marcora et al. (2009), Marcora e Staiano (2010) e Mauger et al. (2010) nos mostram que as sensações de esforço e de dor são provavelmente determinantes para o desempenho em exercícios aeróbios.

Um recente *Point:Counterpoint* foi publicado com a intenção de discutir a importância do feedback aferente dos músculos para a determinação do desempenho em exercícios aeróbios (AMANN e SECHER, 2010; MARCORA, 2010). Em um dos comentários à discussão, Smirmaul et al. (2010) sugeriram que uma combinação dos fatores propostos por Marcora (2010), dentre eles a percepção de esforço, assim como informações aferentes dos músculos, seria crucial para a determinação do desempenho. Vale ressaltar que essas idéias não são novas. Como resumido por Ikai e Steinhaus (1961, p. 161), Lehmann et al., em 1939, ao verificarem elevado desempenho de seus voluntários devido a uma substância estimulante, porém sem alterações metabólicas, sugeriram a seguinte idéia: “... o ponto final de qualquer desempenho nunca é um ponto absoluto fixo, mas sim é quando a soma de todos os fatores negativos como fadiga e dor muscular são sentidas mais fortemente do que os fatores positivos da motivação e força de vontade”. Assim, para avançar os conhecimentos científicos sobre os fatores que limitam o desempenho e direcionar futuras investigações sobre o tema, vê-se necessário um maior entendimento das sensações de esforço e dor durante o exercício físico.

2 Identificação do problema

É comum entre alguns fisiologistas do exercício a opinião de que o *feedback* aferente é a principal informação utilizada para a geração da percepção de esforço (TUCKER, 2009; HAMPSON et al., 2001). Entretanto, em 2009, Marcora publicou um ponto de vista em que revisou estudos publicados para sugerir que a percepção de esforço durante o exercício físico é independente de *feedback* aferente dos músculos, coração e pulmão. Marcora propõe que a percepção de esforço é gerada por uma cópia do comando motor enviada às áreas sensoriais (MARCORA, 2009). Esse ponto de vista gerou comentários de outros pesquisadores, em que alguns deles não suportaram a mesma idéia (MEEUSEN et al., 2009).

Essa incerteza vista na literatura, além de existir há mais de 100 anos (ver *Percepção de esforço: uma “nova velha” discussão*), pode ter ganhado força devido à popular interpretação sobre o conceito por trás da sensação medida pela mundialmente utilizada escala de percepção subjetiva de esforço de Borg. Esta escala, criada em 1970 (BORG, 1970) e atualizada em 1985 (BORG, 1998), tem por objetivo quantificar a sensação subjetiva que representaria a sensação originada da soma de todos os sistemas corporais durante o exercício (BORG, 1970, 1892). O termo “*perceived exertion*” passou a ser interpretado por vários fisiologistas do exercício de acordo com a definição de Borg: “...*integra diversas informações, incluindo os vários sinais gerados dos músculos e articulações periféricos ativos, das funções cardiovasculares e respiratórias centrais, e do sistema nervoso central*” (BORG, 1982, p. 377). Assim, a percepção de esforço passou a ser interpretada como a soma de diversas informações aferentes, contrariamente ao seu real mecanismo gerador, verificado pela maioria das evidências (ver *Percepção de esforço: Mecanismos*). Esse fato fez com que o mecanismo da percepção de esforço se confundisse com o de outras sensações, como a dor, gerado através do *feedback* aferente. A seguir, os mecanismos da percepção de esforço e da percepção de dor propriamente ditos são discutidos.

3 Percepção de esforço: uma “nova velha” discussão

Curiosamente, o que poucos sabem é que discussão similar à atual sobre a percepção de esforço já foi foco de intensos debates científicos por pesquisadores do século XIX. No início do século XIX, o filósofo francês Maine de Biran foi talvez um dos primeiros a direcionar seus estudos à percepção de esforço. Porém, suas discussões eram mais filosóficas, em que Maine de Biran via a percepção de esforço como sendo o componente fundamental da nossa experiência como ser (TRUMAN, 1904). O estudo da fisiologia e da psicologia neste tema, entretanto, começou a ser mais sistematizado a partir de meados do século XIX, em que cientistas, principalmente alemães, viam no estudo das sensações e percepções questões básicas a serem respondidas (COREN, 2003). Em 1868, Alexander Bain escreveu o primeiro livro de psicologia na língua inglesa, dedicando considerável atenção às questões sobre as sensações musculares e suas origens (BAIN, 1868). Em seu livro, Bain apresenta suas idéias, assim como a opinião de diversos pesquisadores contemporâneos a ele sobre um assunto de interesse na época: a percepção de esforço (BAIN, 1868, p. 76-79). Interessantemente, a maior discussão dentro desse assunto era a mesma da recentemente levantada por Marcora (MARCORA, 2009), em que se tentava concluir se a percepção de esforço é gerada pelas vias aferentes ou eferentes do corpo humano.

Primeiramente, Bain apresenta sua opinião quanto ao assunto:

[...] nossa hipótese mais segura é, que a sensibilidade acompanhando o movimento muscular coincide com fluxo de saída de energia nervosa, e não, como no caso da sensação pura, resultante de alguma influência passando para o interior, por nervos aferentes ou sensitivos.”(BAIN, 1868, p. 76).

Bain continua:

[...] é razoável supor que por meio deles [nervos sensitivos] os estados orgânicos do músculo afetam a mente. Isso não significa que o sentimento característico de força exercida deve surgir por uma transmissão aferente através dos filamentos sensitivos; ao contrário, somos levados a presumir que esse [sentimento de força exercida] é o concomitante da corrente de saída através da qual os músculos são estimulados a agir. Nenhuma outra hipótese tão bem representa a total oposição de natureza entre os estados de energia exercida, e os estados de estimulação passiva.” (BAIN, 1868, p. 77).

Logo após, Bain apresenta as idéias de alguns dos pesquisadores que estudavam o assunto na época: Dr. Brown-Séguard; J. W. Arnold; E. H. Weber; Ludwig; e Wundt.

Bain cita Brown-Séguard, em que este discute os experimentos realizados por Arnold. Arnold, após seccionar as vias aferentes das extremidades posteriores de um sapo e observar que o animal era capaz de utilizar suas patas traseiras praticamente como se nada tivesse acontecido, concluiu que os nervos eferentes possuíam fibras nervosas que transmitiam ao cérebro informações do estado do músculo. Contudo, um experimento realizado por Brown-Séguard, em que este seccionou as vias aferentes de um membro de um sapo e após isso aplicou uma corrente galvânica no mesmo, mostrou que o sapo não sentia sinais de dor, nem por outras tentativas de provocá-la. Brown-Séguard, adicionalmente à conclusão de Arnold, sugeriu que não deveria ser apenas pelas vias eferentes que as informações seriam transmitidas do músculo para o cérebro. Já Bain, em conclusão às observações advindas dos experimentos citados, concluiu: *“Isto está em perfeita conformidade com a visão de que atribuiria os sentidos de resistência e movimento à corrente de saída dos nervos motores, e a sensibilidade às câimbras e outras dores, à corrente de entrada dos nervos sensitivos.”* (BAIN, 1868, p. 78).

Weber e Ludwig também são citados por Bain (1868). O primeiro diz que em casos de completa anestesia, a força do movimento voluntário nas partes insensíveis é preservada. Já o segundo, dá exemplos para suportar o fato de que apenas as vias aferentes são responsáveis pela percepção de dor, explicando que: músculos involuntários também são passíveis de dores agudas; que a estimulação das vias eferentes não produz dor; e que a dor nos músculos originada de um esforço prolongado pode durar dias, mesmo após o exercício ser encerrado. Finalmente, Bain (1868) cita Wundt, que explica seu ponto de vista da seguinte maneira: se a percepção de esforço é advinda de informações aferentes, a intensidade da percepção deveria ser de acordo com as mudanças ocorridas no músculo, conforme o maior ou menor trabalho produzido. Porém, Wundt diz que esse não é o caso, já que a percepção depende apenas da força do impulso que motiva o movimento, ou seja, do comando motor. Bain suporta esta idéia, exemplificando que pacientes com distúrbios patológicos podem tentar mover seus membros com grande força e sentir o correspondente esforço, apesar de que, na realidade, seus membros mal se moveram.

Dez anos após o livro de Alexander Bain (1868), George Henry Lewes publicou um artigo inteiramente dedicado às sensações motoras e musculares (LEWES, 1878). Lewes diz:

Os nervos eferentes que movem os músculos são apropriadamente chamados de motores; os nervos aferentes que transmitem estímulos da superfície são também apropriadamente chamados de sensoriais. Mas aqui, novamente, nomeando as coisas de forma diferente, nossos termos acabam carregando conclusões: aos nervos eferentes é

negada qualquer participação na produção de uma mudança sensorial porque ele não é chamado sensorial. Por razões similares, podemos negar que o nervo aferente tem alguma participação nas mudanças motoras porque ele não é chamado motor.” (LEWES, 1878, p. 17).

Lewes propõe uma situação ao leitor para ilustrar a importância das vias eferentes para a percepção de esforço, em que primeiramente, ele mexe seu próprio dedo e, logo após, alguém mexe seu dedo por ele (movimento passivo). Ele explica que nos dois casos, as conseqüências periféricas são as mesmas, porém, o primeiro movimento (ativo) teve um elemento que foi ausente no segundo movimento (passivo), o elemento de esforço. Lewes ainda sugere, baseado em experimentos com perda de sensibilidade periférica em que sujeitos eram capazes de sentir o esforço, mas não o movimento realizado, que as vias eferentes são as principais responsáveis pela percepção de esforço. Entretanto, as informações aferentes seriam importantes a cada momento durante um movimento para que a inervação do próximo movimento ocorra de forma acurada (LEWES, 1878).

Em 1880, William James apresenta idéias contraditórias às até agora vistas pela maioria dos pesquisadores referente à percepção de esforço (JAMES, 1880). Ele diz: “*Em oposição à opinião popular, eu sustento que a sensação de energia muscular aplicada é uma sensação aferente complexa proveniente dos músculos tensos, ligamentos tensos, articulações comprimidas, tórax fixo, glote fechada, testa contraída, maxilares cerrados, etc., etc.*” (JAMES, 1880, p. 4). James apresenta suas razões para tal, explicando que o aparato motor é totalmente insensível na direção aferente, e que cada músculo não poderia ter sua distinta percepção de esforço. Ele conclui: “*Enquanto isso uma conclusão lógica segue-se: a saber, não existem coisas como as sensações eferentes, ou sensações de inervação. Estas são inteiramente entidades mitológicas.*” (JAMES, 1880, p. 6).

Em adição aos já mencionados, outros autores podem ser destacados: Bastian (BASTIAN, 1887); Baldwin (BALDWIN, 1891); e Waller (WALLER, 1891). Como observado, questões semelhantes às que hoje são foco de debates científicos sobre os mecanismos da percepção de esforço, eram estudadas por diversos pesquisadores do século XIX.

4 Percepção de esforço: mecanismos

Há mais de 150 anos, ao contrário do que alguns suportam atualmente, pesquisadores acreditavam que áreas motoras no cérebro influenciariam diretamente áreas sensoriais, produzindo sensações independentemente de *feedback* aferente (ROSS & BISCHOF, 1981). Um mecanismo similar, pelo qual comandos motores proveriam informação às áreas sensoriais a respeito das conseqüências de um movimento foi também proposto para explicar os experimentos desenvolvidos por Sperry (SPERRY, 1950) e von Holst e Mittelstaedt (ver em FEINBERG, 1978) em 1950. Os termos propostos por esses autores (descarga corolária e cópia eferente, respectivamente) têm sido usado para descrever este comando motor durante movimentos voluntários (MILES e EVARTS, 1979), e a interação entre comandos motores e sinais sensoriais têm sido especificamente estudado em animais e humanos (TAUB et al., 1973; WOLPERT e GHARAMANI, 2000; HAGGARD, 2005; BLAKEMORE et al., 1998).

Além das evidências apresentadas por Marcora (2009), outros estudos suportam a teoria de que o *feedback* aferente não é importante para o mecanismo da percepção de esforço. O bloqueio da atividade do *feedback* aferente dos membros inferiores durante um exercício de ciclismo produziu maior, em vez de menor, percepção de esforço média durante uma tomada de tempo de 5km quando comparado ao grupo controle. Isso ocorreu mesmo com a potência média produzida sendo igual para ambos os grupos (AMANN et al., 2009). Estudos adicionais mostram que a percepção de esforço pode ser alterada mesmo sem mudanças no stress metabólico (MARCORA et al., 2008; MARCORA et al., 2009). Entretanto, a discussão se a percepção de esforço é gerada apenas baseada no comando motor central merece maior investigação. Atividade nas vias corticofugais (GANDEVIA, 1982) e influência dos centros neurais superiores ao córtex motor (CARSON et al., 2002) podem também ter alguma influência em seu mecanismo.

Investigações recentes têm ampliado ainda mais nosso conhecimento sobre os mecanismos que podem envolver a percepção de esforço durante movimentos voluntários. Christensen e colaboradores (2007) concluíram que o córtex pré-motor modula o córtex somatosensorial primário através de uma cópia eferente, independentemente de *feedback* aferente. Usando estimulação elétrica direta no cérebro, Desmurget et al. (2009) (ver também HAGGARD, 2009) acharam que a área motora suplementar é relacionada aos comandos motores,

enquanto o córtex parietal é envolvido nas predições sensoriais dos movimentos. Os achados de Wolpert et al. (1998), que mostraram que lesões parietais prejudicaram os sistemas sensoriais e motores, suportam a hipótese de que o córtex parietal é importante para o modelo de envio do comando motor às áreas sensoriais.

Assim, as informações apresentadas aqui, juntamente com os estudos revisados por Marcora (2009) e os respectivos comentários (MEEUSEN et al., 2009), constituem um corpo de evidências favorável ao modelo de geração central da percepção de esforço.

5 Percepção de dor: mecanismos

A teoria de mecanismo de dor descrita por René Descartes há mais de 300 anos, em que se via o mecanismo de dor como um sistema direto de projeção sensorial, ou seja, dos receptores periféricos de dor para um centro de dor no cérebro, perseverou até a metade do século XX (MELZACK, 1993). Entretanto, a teoria de Descartes, assim como diversas outras até aproximadamente 1950, não considerava possíveis contribuições psicológicas para a dor, e o cérebro era visto apenas como um receptor passivo de informações (MELZACK, 1993; MELZACK, 1999). Em 1965, Melzack e Wall (1965) propuseram uma nova teoria de dor, denominada “*teoria do portão de controle da dor*”, em que maior atenção foi dada ao sistema nervoso central e fatores psicológicos passaram a ser cruciais para os processos da dor. Porém, baseado principalmente em estudos de “*membros fantasmas*” de pessoas amputadas, Melzack evoluiu sua “*teoria do portão de controle da dor*”, e propôs uma teoria em que a dor é vista de forma multidimensional e muito mais complexa, a teoria da “*neuromatrix*” (MELZACK, 1999; MELZACK, 2005). Informações adicionais à essa teoria já tem sido fornecidas (VISSER e DAVIES, 2010).

Dor tem sido definida como “*uma experiência sensorial e emocional desagradável associada a dano tecidual real ou potencial ou descrita em termos que sugerem tal dano*” (MERSKEY e BOGDUK, 1994). Por outro lado, o conceito de homeostase de Cannon foi resumido por Craig (2003a) como: “*um processo dinâmico e contínuo que inclui vários mecanismos integrados que mantêm um equilíbrio ótimo na condição fisiológica do corpo, com o propósito de sobrevivência*” (CRAIG, 2003a, p. 303). Juntando-se esses dois conceitos, podemos inferir que a percepção de dor é parte do sistema de homeostase humano, em que este age de forma a inibir algum dano ao corpo. Essa proposta é discutida na literatura, e a dor é vista não somente como um aspecto da interocepção, ou seja, da percepção da condição fisiológica do corpo, mas também como uma motivação comportamental (CRAIG, 2003a).

Craig (2002; 2003b) definiu o conceito de interocepção como uma nova abordagem para entender a percepção humana dos “sentimentos” do corpo inteiro. Ele propôs uma via aferente que conduz sinais das fibras aferentes primárias do tipo III (A-delta) e tipo IV (fibras C), que inervam todos os tecidos do corpo humano, para o cérebro. Essa via transmite

informações sobre o estado fisiológico do corpo para locais específicos do cérebro, e representa um componente chave para o controle homeostático em humanos. Craig (2009) também revisou evidências sobre a percepção de sentimentos subjetivos e propôs que o córtex insular anterior é o principal local do cérebro responsável por essa percepção, e que esta estrutura é ligada ao córtex cingulado anterior que, por sua vez, é responsável pela iniciação de comportamentos.

Assim, os mecanismos responsáveis pela percepção de dor integram áreas cerebrais ligadas ao comportamento e às emoções. A dor atua não somente como uma resposta a determinado estímulo, mas também como um agente modificador de comportamento. É possível concluir que a percepção de dor é parte do controle homeostático do corpo humano, e pode agir como um meio de melhorar decisões comportamentais durante o exercício físico, baseado no *feedback* aferente sensorial.

6 Percepção de esforço e dor: limitantes do desempenho?

A sugestão dada por Lehmann et al. em 1939 de que o desempenho é limitado por sensações negativas (ver *Introdução*) tem sido alvo de debate na literatura nos dias atuais. Dentre essas sensações, pesquisadores têm como hipótese que a percepção de esforço e a percepção de dor seriam as mais importantes para a limitação do desempenho.

Marcora et al. (2009), em um estudo semelhante ao conduzido por Angelo Mosso há aproximadamente 100 anos atrás, verificou que a fadiga mental exerceu um efeito deletério sobre o desempenho durante um exercício físico subsequente. Como os fatores cardiorespiratórios e músculo-energéticos não se alteraram com a fadiga mental, os autores concluíram que a queda de desempenho ocorreu devido à maior percepção de esforço reportada pelos voluntários (MARCORA et al., 2009). Outro estudo que suporta a mesma idéia é o de Marcora e Staiano (2010), em que, ao contrário do que se achava, os autores mostraram que em exercícios aeróbios de alta intensidade, a limitação humana não se dá pela incapacidade de gerar força, mas sim pelo desengajamento da atividade devido à intolerância aos altos níveis de percepção de esforço.

A percepção de dor também tem sido vista como uma possível limitante do desempenho físico não somente por pesquisadores, mas também atletas e treinadores (O'CONNOR e COOK, 1999; COOK, 2006). Diversos estudos farmacológicos foram realizados para tentar compreender melhor a relação entre dor e desempenho. Estudos utilizaram a aspirina, a fim de bloquear as prostaglandinas, que são conhecidas por sensibilizar os nociceptores. Cook et al. (2007) administraram aspirina aos sujeitos antes destes realizarem um teste incremental máximo em cicloergômetro, porém, não acharam diferenças para a percepção de dor muscular, para a percepção de esforço e nem para o desempenho. Outros dois estudos que também utilizaram a aspirina e não tiveram influência no desempenho são citados por Cook et al. (2007). Antagonista dos receptores de opióides, a naloxona também foi utilizada por diversos pesquisadores, e resultados controversos têm sido reportados. Surbey et al. (1984 citado por O'CONNOR e COOK, 1999) encontraram aumento da percepção de dor e redução do

desempenho. Paulev et al. (1989 citado por O'CONNOR e COOK, 1999) encontraram aumento da percepção de dor, porém, sem alterações no desempenho. Já Sgherza et al. (2002) reportou redução do desempenho e aumento da percepção de esforço. Finalmente, Gullestad et al. (1989 citado por SGHERZA et al., 2002) não verificou mudança no desempenho ou na percepção de esforço.

O'Connor e Cook (1999) e Cook (2006) apresentam diversos estudos com a intervenção farmacológica da naloxona para melhor entender a relação da dor com o desempenho. Porém, o fato de aumentar farmacologicamente a dor durante um exercício físico, e mensurar reduções de desempenho não implica em causa e efeito durante o mesmo exercício realizado naturalmente. A única intervenção efetiva para estudar tal fenômeno seria a utilização de um fármaco a fim de diminuir a percepção de dor. Os estudos com aspirina acima citados não foram efetivos para diminuir a dor ou melhorar o desempenho físico. Porém, Mauger et al. (2010) demonstraram que a ingestão prévia de paracetamol melhorou o desempenho de uma tomada de tempo de ciclismo quando comparado ao grupo placebo. Os autores atribuíram esse efeito às propriedades analgésicas do paracetamol, em que de acordo com os resultados, para um mesmo valor de percepção de dor, voluntários foram capazes de aumentar a intensidade do exercício. Os autores concluíram que o exercício é regulado pela percepção de dor (MAUGER et al., 2010). Apesar da conclusão dos autores do estudo acima citado, os resultados desse estudo devem ser olhados com cuidado. Igualmente à percepção de dor, os valores de percepção de esforço também se mantiveram, mesmo com o aumento da intensidade na condição experimental. Apesar de o paracetamol ser utilizado nesse estudo para diminuir a percepção de dor, ele é conhecido por ter outros efeitos, como a redução da temperatura corporal e possíveis efeitos psicoestimulantes. Assim, adicionalmente à conclusão dos autores, a melhora do desempenho pode também ser atribuída à equivalente diminuição da percepção de esforço.

Dois estudos realizados por Amann et al. (2009; 2010) deixam essa discussão ainda mais interessante. Enquanto um (AMANN et al., 2009) reportou aumento da percepção de esforço comparado ao grupo placebo durante um exercício realizado sob anestesia dos membros inferiores, o outro (AMANN et al., 2010) mostrou que o mesmo procedimento causou diminuição da percepção de esforço. Porém, o resultado do segundo estudo (AMANN et al., 2010) pode ser explicado pelo fato de que apenas a percepção de esforço localizada (membros inferiores) e a respiração foram mensuradas. Sabendo-se dos mecanismos centrais da percepção

de esforço (Ver *Percepção de esforço: mecanismos*), a mensuração da percepção de esforço geral possivelmente seria mais adequada, resultando na não alteração ou até aumento da mesma, como ocorrido no primeiro estudo (AMANN et al., 2009).

Em uma abordagem diferente da até agora apresentada, podemos olhar para os dados reportados por Cook et al. (1997; 2000). Ao perguntarem qual foi o motivo da interrupção de exercício durante um teste até a exaustão em cicloergômetro, todos os 19 sujeitos reportaram que pararam devido à fadiga localizada na perna, e não à dor muscular (COOK et al., 1997). Quanto a um exercício máximo de dinamometria manual, dos 36 sujeitos, apenas 10 reportaram que a interrupção teve como uma das causas a dor muscular, enquanto a fadiga muscular foi reportada por 34 destes (COOK et al., 2000).

Analisando-se as evidências presentes na literatura, podemos sugerir que, até o momento, maior suporte à percepção de esforço como principal limitador do desempenho é observado. Entretanto, sugere-se que o papel que a percepção de dor exerce sobre a percepção de esforço ainda é pouco entendido. A análise dessas duas variáveis independentemente pode nos levar a equívocos, uma vez que a diminuição ou aumento da percepção de dor pode acarretar em uma concomitante alteração da percepção de esforço. Estudos experimentais delineados especificamente tendo em vista essas questões devem ser realizados para um melhor entendimento e avanço dessa área.

Considerações Finais

A análise da literatura sobre percepção de esforço e dor nos permite concluir que os mecanismos dessas sensações são estudados há mais de 150 anos, porém, muitas vezes ainda são confundidos. As evidências até o momento nos sugerem que, enquanto a percepção de esforço é centralmente gerada, a percepção de dor é baseada nas informações de *feedback* aferentes. Essas duas sensações parecem estar intimamente ligadas ao desempenho físico, porém, evidências experimentais tendem a favor da percepção de esforço como principal fator limitante do desempenho. Contudo, entender a relação e a influência que essas duas percepções têm entre si poderá nos ajudar a avançar nessa área.

Referências

1. Amann, M.; Blain, G. M.; Proctor, L. T.; Sebranek, J. J.; Pegelow, D. F.; Dempsey, J. A. Group III and IV muscle afferents contribute to ventilatory and cardiovascular response to rhythmic exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, In Press, 2010.
2. Amann, M.; Proctor, L. T.; Sebranek, J. J.; Pegelow, D. F.; Dempsey, J. A. Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. *J. Physiol. (Lond.)*, 587:271-83, 2009.
3. Amann, M.; Secher, N. H. Point: Afferent feedback from fatigued locomotor muscles is an important determinant of endurance exercise performance. *J. Appl. Physiol.*, 108:452-4; rebuttal 456-7; last word 469, 2010.
4. Bain, A. *The Sense and the Intellect*. 3rd ed. London: Longmans, 1868.
5. Baldwin, J. M. *Handbook of Psychology: Feeling and Will*. New York: Holt, 1891.
6. Bastian, H. C. The “muscular sense”, its nature and cortical localization. *Brain*, 10:1-89, 1887.
7. Blakemore, S. J.; Wolpert, D. M.; Frith, C. D. Central cancellation of self-produced tickle sensation. *Nat. Neurosci.*, 1:635-40, 1998.
8. Borg, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14:377-81, 1982.
9. Borg, G. *Borg’s perceived exertion and pain scales*. Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics, 1998.
10. Borg, G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J. Rehabil. Med.*, 2:92-8, 1970.
11. Carson, R. G.; Riek, S.; Shahbazzpour, N. Central and peripheral mediation of human force sensation following eccentric or concentric contractions. *J. Physiol. (Lond.)*, 539:913-25, 2002.

12. Christensen, M. S.; Lundbye-Jensen, J.; Geertsen, S. S.; Petersen, T. H.; Paulson, O. B.; Nielsen, J. B. Premotor cortex modulates somatosensory cortex during voluntary movements without proprioceptive feedback. *Nat. Neurosci.*, 10:417-19, 2007.
13. Cook, D. B. Physical activity and pain. In: E. D. Acevedo & P. Ekkekakis (Eds.), *Psychobiology of physical activity* (p. 203-217). Champaign, IL: Human Kinetics, 2006.
14. Cook, D. B.; O'Connor, P. J.; Eubanks, S. A.; Smith, J. C.; Lee, M. Naturally occurring muscle pain during exercise: assessment and experimental evidence. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29:999-1012, 1997.
15. Coren, S. Sensation and Perception. In Freedheim, D.K. (ed.) *Handbook of Psychology, Volume 1, History of Psychology*. Hoboken, NJ: Wiley (p.85-108), 2003.
16. Craig, A. D. A new view of pain as a homeostatic emotion. *Trends Neurosci.*, 26:303-7, 2003a.
17. Craig, A. D. How do you feel – now? The anterior insula and human awareness. *Nat. Rev. Neurosci.*, 10:59-70, 2009.
18. Craig, A. D. How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nat. Rev. Neurosci.*, 3:655-66, 2002.
19. Craig, A. D. Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 13:500-5, 2003b.
20. Desmurget, M.; Reilly, K. T.; Richard, N.; Szathmari, A.; Mottolese, C.; Sirigu, A. Movement intention after parietal cortex stimulation in humans. *Science*, 324:811-13, 2009.
21. Feinberg, I. Efference copy and corollary discharge: implications for thinking and its disorders. *Schizophr. Bull.*, 4:636-40, 1978.
22. Gandevia, S. C. The perception of motor commands or effort during muscular paralysis. *Brain*, 105:151-9, 1982.

23. Gullestad, L.; Dolva, L. O.; Aase, O.; Kjekshus, J. Interaction of naloxone and timolol on maximal exercise capacity and the subjective perception of fatigue. *Int. J. Sports Med.*, 10:259-63, 1989 apud Sgherza, A. L.; Axen, K.; Fain, R.; Hoffman, R. S.; Dunbar, C. C.; Haas, F. Effect of naloxone on perceived exertion and exercise capacity during maximal cycle ergometry. *J. Appl. Physiol.*, 93:2023-8, 2002.
24. Haggard, P. Conscious intention and motor cognition. *Trends Cogn. Sci (Regul. Ed.)*, 9:290-5, 2005.
25. Haggard, P. Neuroscience. The sources of human volition. *Science*, 324:731-3, 2009.
26. Hampson, D. B.; St Clair Gibson, A.; Lambert, M. I.; Noakes, T. D. The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. *Sports Med.*, 31:935-52, 2001.
27. Hill, A. V.; Long, C. N. H.; Lupton, H. Exercise, lactic acid, and the supply and utilisation of oxygen – Parts I-III. *Proc. R. Soc. Lond.*, 96: 438-75, 1924.
28. Ikai, M.; Steinhaus, A. H. Some factors modifying the expression of human strength. *J. Appl. Physiol.*, 16:157-63, 1961.
29. James, W. The feeling of effort. In: *Anniversary Memoirs of the Boston Society of Natural History*. Boston: The Society, 1880.
30. Jones, N. L.; Killian, K. J. Exercise limitation in health and disease. *N. Engl. J. Med.*, 343:632-41, 2000.
31. Kayser, B. Exercise starts and ends in the brain. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 90:411-19, 2003.
32. Lewes, G. H. Motor feelings and the muscular sense. *Brain*, 1:14-28, 1878.
33. Marcora, S. M. Counterpoint: Point: Afferent feedback from fatigued locomotor muscles is not an important determinant of endurance exercise performance. *J. Appl. Physiol.*, 108:454-6; rebuttal 457; last word 470, 2010.
34. Marcora, S. M.; Bosio, A.; de Morree, H. M. Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise

- independently from metabolic stress. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 294:R874-83, 2008.
35. Marcora, S. M.; Staiano, W. The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? *Eur. J. Appl. Physiol.*, 109:763-70, 2010.
36. Marcora, S. M.; Staiano, W.; Manning, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J. Appl. Physiol.*, 106:857-64, 2009.
37. Marcora, S. Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart and lungs. *J. Appl. Physiol.*, 106:2060-2; last word 2067, 2009.
38. Mauger, A. R.; Jones, A. M.; Williams, C. A. Influence of acetaminophen on performance during time trial cycling. *J. Appl. Physiol.*, 108:98-104, 2010.
39. Meeusen, R.; Nakamura, F. Y.; Perandini, L. Z.; Proske, U.; Nybo, L.; Scano, G. L.; Williamsom, J. W.; Pickar, J. G.; Eston, R.; Haas, F.; Smith, S. A. Commentaries on Viewpoint: perception of effort during is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart and lungs. *J. Appl. Physiol.*, 106:2063-66, 2009.
40. Melzack R.; Wall, P. D. Pain mechanisms: a new theory. *Science*, 150:971-9, 1965.
41. Melzack, R. Evolution of the neuromatrix theory of pain. The Prithvi Raj Lecture: presented at the third World Congress of World Institute of Pain, Barcelona 2004. *Pain Pract.*, 5:85-94, 2005.
42. Melzack, R. From the gate to the neuromatrix. *Pain*, Suppl 6:S121-6, 1999.
43. Melzack, R. Pain: past, present and future. *Can. J. Exp. Psychol.*, 47:615-29, 1993.
44. Merskey, H.; Bogduk, N. Part III: Pain Terms, A current list with definitions and notes on usage. In H. Merskey, & N. Bogdu (Eds.), *Classification of chronic pain*, second edition, IASP Task Force on Taxonomy (pp. 209-214). Seattle: IASP Press, 1994.
45. Miles, F. A.; Evans, E. V. Concepts of motor organization. *Annu. Rev. Psychol.*, 30:327-62, 1979.

46. Mosso, A. *Fatigue*. 3rd. Ed. Translated by Drummond, M. & Drummond, W. B. London: George Allen & Unwin Ltd, 1915.
47. Noakes, T. D. Challenging beliefs: ex Africa simper aliquid novi. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 29:571-90, 1997.
48. Noakes, T. D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20:319-330, 1988.
49. Noakes, T. D. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 10:123-45, 2000.
50. Noakes, T. D.; St Clair Gibson, A. Logical limitations to the “catastrophe” models of fatigue during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.*, 38:1-30, 2004.
51. Noakes, T. D.; St Clair Gibson, A.; Lambert, V. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.*, 38:511-14, 2004.
52. O’Connor, P. J.; Cook, D. B. Exercise and pain: the neurobiology, measurement, and laboratory study of pain in relation to exercise in humans. *Exerc. Sci. Sports Rev.*, 27:119-66, 1999.
53. Paulev, P. E.; Thorbøll, J. E.; Nielsen, U.; Kruse, P.; Jordal, R.; Bach, F. W.; Fenger, M.; Pokorski, M. Opioid involvement in the perception of pain due to endurance exercise in trained man. *Jpn. J. Physiol.*, 39:67-74, 1989 apud O’Connor, P. J.; Cook, D. B. Exercise and pain: the neurobiology, measurement, and laboratory study of pain in relation to exercise in humans. *Exerc. Sci. Sports Rev.*, 27:119-66, 1999.
54. Ross, H. E.; Bischof, K. Wundt’s views on sensations of innervations: a reevaluation. *Perception*, 10:319-29, 1981.
55. Sgherza, A. L.; Axen, K.; Fain, R.; Hoffman, R. S.; Dunbar, C. C.; Haas, F. Effect of naloxone on perceived exertion and exercise capacity during maximal cycle ergometry. *J. Appl. Physiol.*, 93:2023-8, 2002.

56. Smirmaul, Bde. P.; Fontes, E. B.; Noakes, T. D. Afferent feedback from fatigued motor muscles is important, but not limiting, for endurance exercise performance. *J. Appl. Physiol.*, 108:458, 2010.
57. Sperry, R. W. Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 43:482-9, 1950.
58. Surbey, G. D.; Andrew, G. M.; Cervenko, F. W.; Hamilton, P. P. Effects of naloxone on exercise performance. *J. Appl. Physiol.*, 57:674-9, 1984 apud O'Connor, P. J.; Cook, D. B. Exercise and pain: the neurobiology, measurement, and laboratory study of pain in relation to exercise in humans. *Exerc. Sci. Sports Rev.*, 27:119-66, 1999.
59. Taub, E.; Perrella, P.; Barro, G. Behavioral development after forelimb deafferentation on day of birth in monkeys with and without blinding. *Science*, 181:959-60, 1973.
60. Truman, N. E. *Cornell Studies in Philosophy No. 5 – Maine de Biran's Philosophy of Will*. London: The Macmillan Company, 1904.
61. 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.*, 43:392-400, 2009.
62. Visser, E. J.; Davies, S. Expanding Melzack's pain neuromatrix. The Threat Matrix: a super-system for managing polymodal threats. *Pain Pract.*, 10:163, 2010.
63. Waller, A. D. The sense of effort: an objective study. *Brain*, 14:179-249, 1891.
64. Wolpert, D. M.; Ghahramani, Z. Computational principles of movement neuroscience. *Nat. Neurosci.*, 3:1212-17, 2000.
65. Wolpert, D. M.; Goodbody, S. J.; Husain, M. Maintaining internal representations: the role of human superior parietal lobe. *Nat. Neurosci.*, 1:529-33, 1998.