

## A ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA COMO RECURSO ERGOGÊNICO: UMA NOVA PERSPECTIVA NO MEIO ESPORTIVO

### TRANSCRANIAL DIRECT CURRENT STIMULATION AS AN ERGOGENIC AID: A NEW PERSPECTIVE IN SPORT

Marcelo Vitor-Costa\*  
Lucas Adriano Pereira\*\*  
Rafael Ayres Montenegro\*\*  
Alexandre Hideki Okano\*  
Leandro Ricardo Altimari\*

#### RESUMO

Nas duas últimas décadas tem-se verificado um considerável aumento no interesse de um grande número de pesquisadores em investigar o potencial de diferentes recursos ergogênicos que possam contribuir na melhoria do desempenho físico de atletas de diferentes modalidades. Grande parte dos estudos tem focado os mecanismos subjacentes ao desenvolvimento da fadiga, pelo fato de que este fenômeno complexo é considerado um fator limitante do desempenho esportivo. Sendo assim, recursos ergogênicos que são eficientes em protelar o desenvolvimento da fadiga podem melhorar o desempenho esportivo. Apesar de haver muitas discussões sobre a fadiga, sua causa exata ainda é um assunto controverso. Apesar disso, tem sido sugerido que mecanismos corticais podem estar envolvidos e que estudos sobre a modulação de regiões cerebrais específicas podem trazer respostas valiosas para entender melhor este fenômeno. Atualmente, a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) vem sendo utilizada como uma ferramenta não invasiva capaz de modular a excitabilidade de regiões específicas do córtex cerebral. Dados preliminares têm demonstrado que a ETCC anódica é capaz de aumentar a excitabilidade do córtex motor por até uma hora após sua aplicação, e também aumentar o tempo até em exercício isométrico até à exaustão. Estes dados sugerem ser provável que a ETCC possa ser utilizada como uma ferramenta em pesquisas sobre mecanismos envolvidos no desenvolvimento da fadiga e, talvez, como um possível recurso ergogênico para atletas.

**Palavras-chave:** Estimulação transcraniana. Recurso ergogênico. Fadiga.

#### INTRODUÇÃO

O desenvolvimento científico e tecnológico que se tem verificado no esporte, sobretudo ao longo das duas últimas décadas, atrai inúmeros pesquisadores para investigar o potencial de diferentes recursos ergogênicos capazes de contribuir para a melhoria do desempenho físico de atletas em diferentes modalidades (TOKISH et al., 2004; LIPPI et al., 2008).

O termo "ergogênico" deriva das palavras gregas "Ergon" e "genes", que significam "trabalho" e "produção/criação de", respectivamente (BERNSTEIN et al., 2003).

Qualquer forma de otimização da produção ou utilização de energia pode ser considerado como um recurso ergogênico (WILLIAMS, 1992). Os recursos ergogênicos são classicamente classificados em cinco categorias: recursos mecânicos, psicológicos, fisiológicos, farmacológicos e nutricionais.

THEIN et al., (1995) e SILVER (2001) incluem entre esses recursos desde procedimentos legais e comprovadamente seguros, como a suplementação de carboidratos, até meios ilegais e aparentemente inseguros, como o uso de esteroides anabólicos e infusão sanguínea (THEIN et al., 1995; MAUGHAN, 2009).

\* Professor do Departamento de Educação Física da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, Brasil.

\*\* Professor do Departamento de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil

A possível eficiência ergogênica de inúmeros recursos com propósito de otimizar o desempenho físico, atenuar os mecanismos geradores de fadiga e facilitar a recuperação pós-esforço físico tem sido amplamente estudada (SILVER, 2001; BERNSTEIN, et al. 2003; MAUGHAN, 2009). Estes estudos geralmente têm utilizado o processo de instalação da fadiga e a tolerância ao exercício como parâmetros de avaliação da eficiência dos recursos ergogênicos.

A fadiga é apontada como fator limitante do desempenho atlético e constitui fenômeno complexo, ou mesmo, um conjunto de fenômenos de interação simultânea, com diferentes graus de influência, a depender da natureza do exercício físico (DAVIS, 1997; ABBISS; LAURSEN, 2005). Além disso, tem sido proposto que a tolerância ao exercício seja também um fenômeno determinante do desempenho esportivo, podendo ser definida como a capacidade de sustentação em exercício aeróbico (MARCORA; STAIANO, 2010). Por sua vez, a fadiga muscular pode ser definida como o decréscimo na força e potência muscular induzida pelo exercício acompanhado por aumento da percepção subjetiva de esforço (PSE) (ENOKA; STUART, 1992). Apesar de serem bem documentados na literatura, os mecanismos envolvidos tanto na instalação da fadiga muscular quanto na tolerância ao exercício ainda são bastante discutidos. Além disso, Gandevia (2001) sugeriu que a fadiga também pode ocorrer em níveis espinhais e supraespinhais no sistema nervoso central, e que é mais claramente pronunciada em situações de exercícios máximos. A fadiga central pode ser demonstrada quando há incremento de força evocada, mesmo quando o sujeito está fatigado, aplicando-se estimulação elétrica no nervo durante uma contração voluntária máxima (BELANGER; MCCOMAS, 1981). Esta produção extra de força evocada por meio da estimulação do motoneurônio durante uma contração voluntária máxima pode ser explicada pelo fato de algumas unidades motoras não terem sido recrutadas ou não terem sido rapidamente ativadas em velocidade suficiente para produzir contração muscular.

Existe uma grande discussão acerca das regiões cerebrais que modulam a sensação da

fadiga induzida pelo exercício (ST CLAIR GIBSON et al., 2003). Não se sabe a área exata do cérebro responsável pela sensação de fadiga, porém suspeita-se que esta esteja relacionada com estruturas como o córtex insular, o córtex cingulado anterior e o tálamo, que estão ativos em resposta ao aumento da PSE e da sensação de fadiga durante exercício (ST CLAIR GIBSON et al., 2003). Estas áreas cerebrais parecem estar relacionadas com a motivação.

Recentemente foi demonstrado que o exercício de ciclismo é capaz de causar reduções na capacidade do córtex motor em dirigir os músculos extensores de joelho, o que sugere que a diminuição da excitabilidade do córtex motor pode ser um dos fatores responsáveis pela diminuição da tolerância ao exercício (SIDHU et al., 2009).

Marcora et al. (2009) mostraram que o desempenho em exercício foi diminuído por fadiga mental induzida por uma tarefa cognitiva sem alterações significantes no metabolismo energético. Os autores especularam que este tipo de tarefa pode fadigar o córtex cingulado anterior (CCA) e, como consequência, influenciar o desempenho do exercício subsequente. Afirmam ainda que futuros estudos que tenham como objetivo modular a função desta região cortical podem fornecer valiosos *insights* dentro do entendimento da fadiga (MARCORA et al., 2009).

Novas técnicas não invasivas emergiram nas últimas décadas, na tentativa de modular a função cerebral, entre as quais se destaca a técnica de estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) (PRIORI et al., 1998; ROSENKRANZ et al., 2000; PRIORI, 2003; FREGNI et al., 2005; FREGNI; PASCUAL-LEONE, 2007). A ETCC se caracteriza, basicamente, como uma fraca corrente elétrica aplicada sobre o couro cabeludo, e tem mostrado induzir mudanças prolongadas na excitabilidade cerebral, permanecendo por um longo período de tempo mesmo após o término do estímulo (NITSCHKE; PAULUS, 2001). O estímulo de corrente anódica tem a função de aumentar a excitabilidade cortical, favorecendo a despolarização da membrana neuronal, ao passo que o estímulo de corrente catódica surte efeito inibitório causando hiperpolarização da membrana neuronal (ROSENKRANZ et al.,

2000; NITSCHKE; PAULUS, 2002; NITSCHKE et al., 2003b). Estes efeitos, a depender da intensidade e duração da corrente elétrica imposta por meio da ETCC, podem perdurar por mais de uma hora (NITSCHKE; PAULUS, 2000).

Recentemente foi demonstrada a eficácia da ETCC anódica aplicada sobre o córtex motor em aumentar a excitabilidade cortical e o desempenho físico até à exaustão, em exercício isométrico para os músculos flexores do cotovelo, bem como a força de extensão do joelho e a força de preensão dos pés (COGIAMANIAN et al., 2007; TANAKA et al., 2009). Além disso, foi constatado que a ETCC anódica consegue alterar a atividade do sistema nervoso autônomo de atletas, como reflexo do aumento da modulação parassimpática em repouso (MONTENEGRO et al., 2011). A modulação parassimpática em repouso, analisada por meio do componente de alta frequência da variabilidade da frequência cardíaca parece ter relação positiva com o desempenho de atletas (ATLALOUI et al., 2007)

Considerando as informações já descritas, podemos sugerir que fatores corticais parecem estar envolvidos na tolerância ao exercício. Isto indica que a utilização da ETCC pode atuar no aumento da excitabilidade de regiões específicas do córtex cerebral e, consequentemente, aumentar a tolerância ao exercício, tornando-se um potencial recurso ergogênico fisiológico para melhorar o desempenho físico.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi analisar evidências e possíveis mecanismos de ação, sugerindo que a ETCC se constitua numa nova técnica capaz de influenciar o desempenho em tarefa motora subsequente à aplicação da estimulação.

#### **ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA (ETCC)**

ETCC é uma técnica de estimulação cerebral não invasiva que utiliza corrente contínua de baixa intensidade aplicada com eletrodos no couro cabeludo, sendo capaz de modular a excitabilidade cerebral (LANG et al., 2004).

A ETCC tem a vantagem de ser barata, fácil de administrar, não invasiva e indolor

(BOGGIO, 2006), diferentemente da estimulação transcraniana magnética (ETM), que possui uma aparelhagem muito mais dispendiosa e necessita de um sistema de refrigeração para as bobinas que são responsáveis por transmitir o pulso elétrico, formando um campo magnético sobre o crânio do indivíduo. Estudos recentes suportam o potencial terapêutico da ETCC na depressão (MURPHY et al., 2009), Doença de Parkinson (BOGGIO et al., 2006), recuperação de acidente vascular encefálico (AVC) (JO et al., 2009) e dor neuropática crônica (FREGNI et al., 2007). Apesar de a corrente ser aplicada sobre o couro cabeludo, já foi demonstrado em humanos (DYMOND et al., 1975) e por modelamento matemático (MIRANDA; LOMAREV; HALLETT, 2006) que a estimulação é capaz de atravessar o crânio e atingir o córtex cerebral

A modulação cortical é dependente da polaridade da corrente aplicada. A ETCC permite dois tipos de estimulação: (I) a estimulação anódica, que se caracteriza pelo posicionamento do eletrodo anódico sobre o córtex que se deseja excitar, ao passo que o eletrodo catódico exerce função de aterramento do circuito elétrico, sendo posicionado, em geral, sobre a região supraorbital contralateral ou no músculo deltóide; e (II) a estimulação catódica, que se caracteriza pela inversão do posicionamento dos eletrodos; assim, o eletrodo catódico será posicionado sobre o córtex que se deseja inibir (NITSCHKE; PAULUS, 2000; LANG et al., 2004, 2005).

Os efeitos condicionantes do ETCC sobre a taxa de disparo neuronal têm sido atribuídos a alterações no potencial de membrana dos neurônios da região estimulada (PURPURA; MCMURTRY, 1965). Alterações causadas pela ETCC podem perdurar além do tempo de estimulação, desde que aplicada por no mínimo três minutos (NITSCHKE; PAULUS, 2000), e permanecer estáveis por pelo menos uma hora se a ETCC for aplicada por um tempo  $\geq 10$  minutos empregando-se corrente com intensidades entre 1-2mA (NITSCHKE; PAULUS, 2001).

No que diz respeito à segurança a ETCC tem sido considerada uma técnica segura, porém alguns efeitos podem ser observados, como formigamento na pele sob os eletrodos, fadiga moderada e coceira. Além disso, mais

raramente, foram reportadas náusea, insônia e cefaleia (POREISZ et al., 2007). Desse modo, antes de qualquer estudo ou prática clínica envolvendo a técnica, é extremamente importante que os indivíduos sejam informados sobre esses possíveis efeitos.

Outro cuidado que deve ser tomado para tornar a técnica mais segura é a utilização de eletrodos protegidos por esponjas embebidas em solução salina composta por concentração entre 40 a 150nM de NaCl diluídos em água deionizada ou Mili-Q, para eliminar o contato direto do eletrodo com a pele e assim minimizar possíveis reações desagradáveis (NITSCHKE et al., 2008, DUNDAS et al., 2007)

### MECANISMO DE AÇÃO DA ETCC

Estudos demonstram que as alterações corticais causadas pela ETCC durante e após a aplicação ocorrem por mecanismos diferentes. Parece que os efeitos durante a aplicação da ETCC têm mecanismos de ação baseados em alterações na função da membrana do neurônio e no funcionamento das proteínas de membrana (ARDOLINO et al., 2005).

Liebetanz et al. (2002) realizaram um estudo para verificar os possíveis canais iônicos transmembrana envolvidos nas alterações corticais causadas pela ETCC. Para isso foi utilizada a administração de carbamazepina, um bloqueador de canais de sódio voltagem-dependente, ou de dextrometorfana, um antagonista do receptor NMDA (N-metil D-Aspartato). Na condição livre das drogas as alterações na excitabilidade cortical foram atingidas normalmente, como descritas em outros estudos, porém, na condição em que foi utilizada a dextrometorfana, estas alterações foram suprimidas, sugerindo que o receptor NMDA está envolvido no efeito tanto de aumento na excitabilidade (ETCC anódica) quanto de diminuição (ETCC catódica) visto após a aplicação da ETCC; no entanto, quando foi utilizada carbamazepina, apenas os efeitos da ETCC anódica foram suprimidos, sugerindo que o efeito pós-estimulação anódica requer uma despolarização do potencial de membrana.

Dando continuidade a investigação dos receptores de membrana envolvidos nas alterações causadas pela ETCC, Nitsche et al.

(2003a) verificaram o impacto do bloqueador do canal de sódio carbamazepina, do bloqueador de canal de cálcio flunarizina e do antagonista de receptor NMDA dextrometorfana, sobre as mudanças de excitabilidade cortical causadas pela ETCC. Foram testados dois protocolos de estimulação após a administração das drogas: em curto prazo (aplicação de ETCC de quatro segundos) para testar os efeitos durante a aplicação; e em longo prazo (após a aplicação da ETCC entre nove e treze minutos), para verificar os efeitos pós-aplicação. A carbamazepina eliminou de forma seletiva o efeito excitatório da estimulação anódica, tanto durante quanto após sua aplicação. A flunarizina gerou mudanças similares às aquelas observadas com a aplicação da carbamazepina. O antagonista de receptor NMDA não resultou em nenhuma alteração dos efeitos durante a aplicação, mostrando que na aplicação de curto prazo os efeitos não se encontram relacionados com esses receptores. Não obstante, no caso dos efeitos após a estimulação, os resultados em relação ao bloqueio de receptores NMDA interferiram tanto no aumento da excitabilidade cortical promovida pela ETCC anódica quanto na redução promovida pela ETCC catódica.

De forma resumida, os efeitos de longa duração após a aplicação da ETCC, independentemente da corrente aplicada, são abolidos por administração de antagonistas de receptor NMDA e também podem envolver mudanças na eficácia sináptica de projeções excitatórias. Antagonistas de canais de sódio bloqueiam os efeitos excitatórios da ETCC anódica tanto durante quanto após a ETCC, o que é compatível com a ideia de que a estimulação anódica despolariza a membrana neuronal, aumentando o influxo de sódio para os neurônios. Por outro lado, o antagonista de canal de sódio não influencia as alterações causadas pela ETCC catódica, indicando que talvez o seu efeito se deva a uma hiperpolarização dependente de potássio (REIS et al., 2008).

### IMPLICAÇÕES DA ETCC SOBRE A FUNÇÃO MOTORA E DESEMPENHO MOTOR

A influência da ETCC sobre a excitabilidade do córtex cerebral tem sido estudada em várias regiões corticais, porém foge

ao escopo deste trabalho fazer uma revisão detalhada de cada região, por isso será abordada apenas a influência da ETCC sobre o córtex motor.

Apesar da estimulação por corrente contínua não ser uma técnica nova, sua aplicação sobre o córtex motor de humanos avançou bastante nas duas últimas décadas. Talvez o trabalho responsável pelo aumento do interesse por esta técnica de estudo seja o artigo de Nitsche e Paulus (2000).

Nitsche e Paulus (2000) investigaram os efeitos da ETCC na modulação da excitabilidade cortical. Para isso, além da ETCC, utilizaram outro tipo de estimulação, a estimulação magnética transcraniana – EMT, a qual possibilita a geração de potenciais evocados motores (PME). A amplitude dos PMEs representa a excitabilidade do sistema motor. Os autores verificaram aumento seletivo na excitabilidade pós-ETCC anódica e diminuição pós-ETCC catódica utilizando intensidades diferentes em protocolos experimentais diferentes, que variaram entre 0,2-1mA com duração de 0,4 e 1-5min.

Além disso, os autores também verificaram que os efeitos permaneciam por vários minutos após a estimulação.

Posteriormente os mesmos autores mostraram que em humanos a ETCC foi capaz de induzir aumentos sustentados na excitabilidade do córtex cerebral. A excitabilidade do córtex motor aumentou aproximadamente 150% acima dos valores pré-estimulação e permaneceu aumentada por até 90 minutos após o final da estimulação. Além disso, os autores defendem que a viabilidade de induzir modulações em longo prazo na excitabilidade de um modo não invasivo, indolor e reversível torna esta técnica um instrumento potencialmente valioso na modulação da neuroplasticidade (NITSCHKE; PAULUS, 2001). Foi demonstrado que a utilização da ETCC anódica em pacientes que sofreram AVE, aplicada ao córtex motor primário do hemisfério afetado, foi eficiente em aumentar o desempenho motor da mão parética avaliada pelo teste de Jebsen-Taylor, o qual mede atividades da vida diária (HUMMEL et al., 2005).

A ETCC tem se mostrado eficiente em aumentar os PMEs não apenas dos músculos da mão, mas também dos músculos da perna.

Jeffery et al. (2007) aplicaram ETCC sobre a área motora da perna e depois analisaram a resposta motora, por meio do registro do PME através da TMS. Os autores encontraram que, assim como para os músculos da mão, a ETCC anódica foi capaz de aumentar a amplitude do PME, indicando maior excitabilidade do córtex motor. Não obstante, a ETCC catódica causou pouco efeito sobre a amplitude dos PMEs. Os autores sugeriram que é mais difícil suprimir a excitabilidade do córtex motor da perna.

Recentemente foi observado que a aplicação de ETCC anódica por dez minutos aumentou a excitabilidade cortical e tempo até à exaustão em exercício isométrico para os músculos flexores do cotovelo. Além do aumento da excitabilidade cortical, evidenciado pelo maior potencial motor evocado, não houve aumento das respostas eletromiográficas, decorrente da ETCC (COGIAMANIAN et al., 2007). Da mesma forma, a aplicação da ETCC anódica sobre a representação cortical motora da perna foi capaz de aumentar a força de contração voluntária máxima de preensão entre o primeiro (Hallux) e o segundo dedo do pé (TANAKA et al., 2009).

Assim como a ETCC, o exercício físico também é capaz de modular a excitabilidade do córtex motor. Estudos têm demonstrado que o exercício fatigante altera a excitabilidade do córtex motor durante e após o exercício (GIESEBRECHT et al., 2010; TAYLOR et al., 1996; SIDHU et al., 2009). Os mecanismos pelos quais ambas as intervenções provocam mudanças na excitabilidade do córtex motor podem ser os mesmos (EDGLEY; WINTER, 2004). Além das modificações nas funções neurais, recentemente Mergazora et al. (2009) demonstraram que a ETCC promove aumento da oxigenação cerebral. Desse modo, podemos assumir que a ETCC constitui-se numa técnica alternativa e interessante para promover o aumento da oxigenação cerebral e, talvez, do desempenho físico, em decorrência, talvez, de uma diminuição da PSE para um dado esforço físico.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Achados preliminares têm mostrado que a ETCC anódica induz a melhora na tolerância ao

exercício e força de contração voluntária máxima em exercício isométrico. Estes achados, junto com dados de outros estudos, mostram que a excitabilidade do córtex motor é alterada com exercício e que os mecanismos envolvidos talvez sejam os mesmos da ETCC. A partir disto, entendemos que esta técnica pode ser de grande valor para estudar os mecanismos envolvidos na tolerância ao exercício e à fadiga neuromuscular, bem como uma nova possibilidade de estratégia ergogênica para otimizar o desempenho físico.

Parece-nos interessante que novas pesquisas com ETCC para investigar sua ação em diferentes modelos de exercício e modalidades esportivas sejam realizadas, na tentativa de desvendar os possíveis mecanismos envolvidos na melhora do desempenho físico induzido por essa possível estratégia ergogênica. Pesquisas futuras devem também verificar os efeitos da ETCC sobre a percepção subjetiva de esforço durante o exercício e sobre a motivação para realização do exercício subsequente à aplicação da estimulação.

---

### TRANSCRANIAL DIRECT CURRENT STIMULATION AS AN ERGOGENIC AID: A NEW PERSPECTIVE IN SPORT

#### ABSTRACT

The last two decades has followed an increase in interest from a large number of researchers interested in investigating the ergogenic potential of different resources that might assist in improving the physical performance of athletes in different sports. Most studies have focused on the mechanisms underlying the development of fatigue as this complex phenomenon is a limiting factor in sports performance. Thus, ergogenic resources that are effective in delaying the development of fatigue may improve athletic performance. Despite many discussions about fatigue, its exact cause is still a controversial subject. However, it has been suggested that cortical mechanisms may be involved and studies that have tried to modulate specific brain regions can provide valuable answers to better understand this phenomenon. Currently, (tDCS) has been used as a noninvasive tool that can modulate the excitability of specific regions of the cerebral cortex. Preliminary data have shown that tDCS anode is able to increase the excitability of motor cortex for up to one hour after its application and also increase the time until exhaustion in isometric exercise. These data suggest that tDCS can probably be used as a tool in research on mechanisms involved in the development of fatigue and perhaps as a potential ergogenic aid for athletes..

**Keywords:** Transcranial stimulation. Ergogenic Aid. Fatigue.

---

#### REFERÊNCIAS

- ABBISS, C. R. P. B.; LAURSEN. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. **Sports Medicine**, Auckland, v. 35, n.10, p. 865-898, 2005.
- ARDOLINO, G. et al. Non-synaptic mechanisms underlie the after-effects of cathodal transcutaneous direct current stimulation of the human brain. **Journal of Physiology**, Paris, v. 568, n. Pt 2, p. 653-663, out. 2005.
- ATLALOUI, D., et al. Heart rate variability, training variation and performance in elite swimmers. **International Journal of Sports Medicine**, v. 28, n. 5, p. 394-400, 2007.
- BELANGER, A. Y., MCCOMAS, A. J. Extent of motor unit activation during effort. **Journal of Applied Physiology**, v.51, p.1131-1135. 1981.
- BERNSTEIN, A. et al. Athletic ergogenic aids. **Bulletin/Hospital for Joint Diseases**, v. 61, n. 3/4, p.164-171, 2003
- BOGGIO, P. S. **Efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua sobre memória operacional e controle motor**. 2006. (Tese)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- BOGGIO, P. S. et al. Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. **Journal of Neurological Science**, v. 249, n.1, p. p. 31-38, Nov. 2006.
- COGIAMANIAN, F. et al. Improved isometric force endurance after transcranial direct current stimulation over the human motor cortical areas. **European Journal of Neuroscience**, v. 26, n. 1, p. 242-249, Jul. 2007.
- DAVIS, J. M. B. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. **Medicine Science Sports Exercise**, Hagerstown, v. 29, n. 1, p. 45-57, 1997.
- DUNDAS, J. E. et al. Perception of comfort during transcranial DC stimulation: Effect of NaCl solution concentration applied to sponge electrodes. **Clinical Neurophysiology**, Amsterdam, v. 118, p. 1166-1170, 2007.
- DYMOND, A. M. et al. Intracerebral current levels in man during electrosleep therapy. **Biological Psychiatry**, New York, v. 10, n.1, p.101-104, Feb. 1975.
- EDGLEY, S. A.; WINTER, A. P. Different effects of fatiguing exercise on corticospinal and transcallosal excitability in human hand area motor cortex. **Experimental Brain Research**, Berlin, v.159, n.4, p. 530-536, Dec. 2004.
- ENOKA, R. M.; STUART, D. G. Neurobiology of muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v. 72, n. 5, p.1631-1648, May 1992.
- FREGNI, F. et al. Recent advances in the treatment of chronic pain with non-invasive brain stimulation techniques. **Lancet Neurological**, v. 6, no. 2, p.188-191, Feb. 2007.
-

- FREGNI, F. et al. Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. **Experimental Brain Research**, Berlin, v.166, no.1, p. 23-30, Sept. 2005.
- FREGNI, F.; PASCUAL-LEONE, A. Technology Insight: noninvasive brain stimulation in neurology - perspectives on the therapeutic potential of rTMS and tDCS. **Nature Clinical Practice Neurology**, v. 3, no. 7, p.383-393, July 2007.
- GANDEVIA, S. C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiology Review**, v. 81, no. 4, p.1725-1789, 2001.
- GIESEBRECHT, S. et al. Facilitation and inhibition of tibialis anterior responses to corticospinal stimulation after maximal voluntary contractions. **Journal of Neurophysiology**, v. 103, no. 3, p. 1350-1356, Mar. 2010.
- HUMMEL, F. et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. **Brain**, v. 128, Pt 3, p. 490-499, Mar. 2005.
- JEFFERY, D. T. et al. Effects of transcranial direct current stimulation on the excitability of the leg motor cortex. **Experimental Brain Research**, Berlin, v.182, no. 2, p. 281-287, Sept. 2007.
- JO, J. M. et al. Enhancing the working memory of stroke patients using tDCS. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 88, n. 5, p.404-4009, May 2009.
- LANG, N. et al. Effects of transcranial direct current stimulation over the human motor cortex on corticospinal and transcallosal excitability. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 156, n. 4, p. 439-443, June 2004.
- LANG, N. et al. How does transcranial DC stimulation of the primary motor cortex alter regional neuronal activity in the human brain? **European Journal of Neuroscience**, v. 22, n. 2, p. 495-504, July 2005.
- LIEBETANZ, D. et al. Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. **Brain**, v. 125, n. Pt 10, p. 2238-2247, Oct. 2002.
- LIPPI, G. et al. Updates on improvement of human athletic performance: focus on world records in athletics. **British Medical Bulletin**, v.87, p.7-15. 2008.
- MARCORA, S. M. et al. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **Journal of Applied Physiology**, v.106, n.3, Mar, p. 857-864, Mar. 2009.
- MARCORA, S. M.; STAIANO, W. The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? **European Journal of Applied Physiology**, Mar. 2010.
- MAUGHAN, R. J. Legal ergogenic aids? **Current Sports Medicine Reports**, v. 8, n. 4, p. 165-166, July/Aug. 2009.
- MERGAZORA, A. C. et al. Prefrontal hemodynamic changes produced by anodal direct current stimulation. **NeuroImage**, v. 49, n. 3, p. 2304-2310, 2009.
- MIRANDA, P. C.; LOMAREV, M.; HALLETT, M. Modeling the current distribution during transcranial direct current stimulation. **Clinical Neurophysiology**, v. 117, no. 7, p. 1623-1629, July 2006.
- MONTENEGRO, R. A. et al. Transcranial direct current stimulation influences the cardiac autonomic nervous control. **Neuroscience Letters**, v. 497, no.1, p. 32-36, 2011.
- MURPHY, D. N. et al. Transcranial direct current stimulation as a therapeutic tool for the treatment of major depression: insights from past and recent clinical studies. **Current Opinion in Psychiatry**, v. 22, no. 3, p. 306-311, May 2009.
- NITSCHKE, M. A. et al. Modulation of cortical excitability by transcranial direct current stimulation]. **Nervenarzt**, v. 73, no. 4, p. 332-335, Apr. 2002.
- NITSCHKE, M. A. et al. Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation- technical, safety and functional aspects. **Supplements to Clinical Neurophysiology**, v. 56, p. 255-276, 2003b.
- NITSCHKE, M. A. et al. Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans. **Journal of Physiology**, Paris, v. 553, n. Pt 1, p. 293-301, Nov. 2003a.
- NITSCHKE, M. A. et al. Transcranial direct current stimulation: state of the art 2008. **Journal of Physiology**, v.1, no. 3, p. 206-223, 2008.
- NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. **Journal of Physiology**, Paris, v. 527, Pt 3, p.633-639, Sept. 2000.
- NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. **Neurology**, v. 57, n.10, p.1899-1901, Nov. 2001.
- POREISZ, C. et al. Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients. **Brain Research Bulletin**, v. 72, no. 4/6, p. 208-214, May 2007.
- PRIORI, A. Brain polarization in humans: a reappraisal of an old tool for prolonged non-invasive modulation of brain excitability. **Clinical Neurophysiology**, v. 114, no. 4, p. 589-595, Apr. 2003.
- PRIORI, A. et al. Polarization of the human motor cortex through the scalp. **Neuroreport**, v.9, n.10, p. 2257-2260, July 1998.
- PURPURA, D. P.; MCMURTRY, J. G. Intracellular Activities and Evoked Potential Changes during Polarization of Motor Cortex. **Journal of Neurophysiology**, v. 28, p.166-185. Jan. 1965.
- REIS, J. et al. Consensus: "Can tDCS and TMS enhance motor learning and memory formation?". **Brain Stimulation**, v. 1, no. 4, p. 363-369, Oct. 2008.
- ROSENKRANZ, K. et al. Diminution of training-induced transient motor cortex plasticity by weak transcranial direct current stimulation in the human. **Neuroscience Letters**, v. 296, n. 1, p. 61-63, Dec. 2000.
- SIDHU, S. K. et al. Locomotor exercise induces long-lasting impairments in the capacity of the human motor cortex to voluntarily activate knee extensor muscles. **Journal of Applied Physiology**, v. 106, no. 2, p. 556-565, Feb. 2009.
- SILVER, M. D. Use of ergogenic aids by athletes. **Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons**, v. 9, no.1, p. 61-70, 2001.
- ST CLAIR GIBSON, A. et al. The conscious perception of the sensation of fatigue. **Sports Medicine**, Auckland, v. 33, no. 3, p. 167-176, 2003.

TANAKA, S. et al. Enhancement of pinch force in the lower leg by anodal transcranial direct current stimulation. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 196, no. 3, p. 459-465, July 2009.

TAYLOR, J. L. et al. Changes in motor cortical excitability during human muscle fatigue. **Journal of Physiology**, Paris, v.490 (Pt 2), p. 519-528, Jan. 1996.

THEIN, L. A. et al. Ergogenic aids. **Physical Therapy**, Alexandria, v. 75, no. 5, p. 426-439, May 1995.

TOKISH, J. M. et al. Ergogenic aids: a review of basic science, performance, side effects, and status in sports. **The American Journal of Sports Medicine**, Baltimore, v. 32, no. 6, p.1543-1553, Sept. 2004.

WILLIAMS, M. H. Ergogenic and ergolytic substances. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 24, no. 9, p. S344-348, Sept. 1992. Suppl.

Recebido em 15/12/2010

Revisado em 09/10/2011

Aceito em 11/11/2011

---

**Endereço para correspondência:** Leandro Ricardo Altimari, Departamento de Educação Física – Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 Km 380 - Campus Universitário, Cx. Postal 6001, CEP 86051-990, Londrina, PR, Brasil. E-mail: altimari@uel.br