

Mayndra Giusti Salvador

**ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA E
ASSIMETRIAS MANUAIS: O EFEITO EM UMA TAREFA DE DESTREZA MANUAL**

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG
2014

Mayndra Giusti Salvador

**ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA E
ASSIMETRIAS MANUAIS: O EFEITO EM UMA TAREFA DE DESTREZA MANUAL**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Educação Física da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciatura em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage.

Co-Orientador: Prof. Ms. Tércio Apolinário de Souza.

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG
2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar constantemente o meu caminho.

Aos meus pais por estarem ao meu lado durante toda a minha formação, pelo amor e apoio incondicional.

Especial agradecimento ao Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage, obrigada pela oportunidade de realizar este trabalho sob sua orientação, pelas oportunidades que me deu, pela transferência de tantos ensinamentos, por compreender os meus momentos de dificuldades e por toda a dedicação e inspiração.

Ao meu co-orientador Prof. Ms. Tércio Apolinário de Souza, muito obrigado por sua dedicação, paciência e amizade, que com certeza foram essenciais para elaboração deste trabalho.

A todos os colegas do GEDAM, que de forma direta ou indireta colaboraram para a minha formação e realização deste trabalho. Á Gleice e ao Guilherme Rocha pela ajuda na coleta de dados.

Aos voluntários, generosamente aceitaram participar dessa pesquisa.

Um agradecimento especial a todos os meus amigos que fizeram parte da minha vida durante esses quatro anos de graduação, proporcionando e ao mesmo tempo dividindo momentos de alegrias, tristezas e experiências. Em especial aos meus amigos queridos Alice, Ludmila e Michael que estiveram sempre ao meu lado, que compartilharam e vibraram com todas as minhas conquistas.

RESUMO

As assimetrias laterais no comportamento motor humano estão presentes tanto na preferência de um determinado membro comparado ao outro quanto no nível de desempenho, referente à diferença na qualidade da execução das tarefas pelos membros contralaterais. Por muitas vezes as assimetrias no comportamento motor são indesejáveis. Por exemplo, as assimetrias em situações esportivas podem prejudicar o rendimento motor de um atleta. Um método promissor para a diminuição da assimetria de desempenho no controle motor é a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). A ETCC consiste em uma técnica de modulação cortical não invasiva e indolor, que, através da aplicação de corrente contínua de baixa intensidade sobre o escalpo, é capaz de modular a excitabilidade cortical e assim favorecer a resposta motora. O presente estudo tem como objetivo principal avaliar os efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua nas assimetrias de desempenho manual em uma tarefa de destreza manual. A amostra foi composta por 28 voluntários com idade entre 18 e 40 anos, destros, do sexo masculino e sem comprometimento neurológico. A tarefa consistiu em encaixar 25 pinos em um receptáculo nos seus devidos buracos, um de cada vez, o mais rápido possível e em uma ordem prescrita. Foram realizados os seguintes procedimentos: (a) aplicação da tarefa no pré-teste que consistiu na avaliação motora; os 28 voluntários foram divididos em dois grupos de 14 de pessoas; um grupo iniciou o pré-teste com a mão direita e o outro grupo com a mão esquerda (b) uma semana após o pré-teste foi aplicado a ETCC ou Sham (forma simulada da ETCC); (c) logo após a aplicação da ETCC ou Sham os sujeitos foram avaliados no pós-teste os efeitos posteriores por meio da mesma avaliação no pré-teste; todos os voluntários iniciaram o pós-teste com a mesma mão que iniciaram o pré-teste. Os resultados destes estudos revelam que os efeitos da ETCC no córtex motor primário não foi capaz de diminuir as assimetrias manuais em uma tarefa de destreza manual em sujeitos destros.

Palavras-chave: Assimetrias laterais. Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. ETCC. Excitabilidade cortical. Destreza manual.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Grooved Pegboard.	22
FIGURA 2: HDC Kit de ETCC.....	23

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Média, desvio padrão e mediana dos grupos experimentais nos dois momentos de análise com as duas mãos.....	27
TABELA 2: Resultados das múltiplas comparações no grupo ETCC.....	28
TABELA 3: Resultados das múltiplas comparações no grupo Sham.....	29

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AMPA	Monofosfato Cíclico de Adenosina
C4	Córtex Motor Primário no padrão 10/20 EEG
CAAE	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
Ca ²⁺	Íon de Cálcio
CENESP	Centro de Excelência Esportiva
Cm ²	Centímetros Quadrados
COEP	Comitê de Ética em Pesquisa
DSM-IV	Manual de Diagnóstico e Estatística da Associação Psiquiátrica Americana
EEFFTO	Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
EEG	Eletroencefalograma
ETCC	Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua
Ex.	Exemplo
LTP	Potenciação de Longo Prazo
M1	Córtex Motor Primário
mA	Miliampére
mM	Mili mole
NaCl	Cloreto de Sódio
NMDA	N-Acetil. Aspartato
SHAM	Placebo
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	Justificativa.....	10
1.2	Objetivos.....	10
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1	Histórico.....	11
2.2	Conceito da ETCC.....	13
2.3	Parâmetros de Estimulação.....	13
2.4	Mecanismos Fisiológicos de ação dos Efeitos da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua.....	15
2.5	Critério de Segurança.....	17
2.6	Córtex Motor Primário.....	17
2.7	Assimetrias Laterais.....	18
3	MÉTODO.....	20
3.1	Amostra.....	20
3.2	Instrumentos de Coleta.....	21
3.2.1	Grooved Pegboard.....	21
3.2.2	HDC Kit de ETCCõ õ	22
3.2.3	Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo	23
3.2.4	Mini-Plus.....	23
3.3	Procedimentos de coleta.....	23
3.4	Procedimentos de análise dos dados	25
3.5	Procedimentos estatísticos	25
3.6	Cuidados Éticos.....	25
4	RESULTADOS.....	26
4.1	Análise descritiva.....	26
4.2	Análises inferenciais do grupo ETCC.....	27
4.3	Análises inferenciais do grupo Sham.....	28

5	DISCUSSÃO.....	28
6	CONCLUSÃO.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31
	APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	39
	ANEXO A - Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo	41

1 INTRODUÇÃO

Em um nível de análise macroscópico, o ser humano apresenta características de simetria na anatomia dos hemisférios cerebrais, mas se tratando das características funcionais do cérebro observam-se importantes diferenças nas funções desses hemisférios. Tais diferenças decorrentes do sistema nervoso geram distintas características comportamentais e morfológicas, dentre elas as assimetrias no comportamento motor (TEIXEIRA, 2001; 2006).

Quanto ao entendimento das assimetrias encontradas no comportamento motor, Carson (1989); Corballis (2003) apresentam duas dimensões. Uma das dimensões é conhecida como assimetria lateral de preferência, diz respeito à maior frequência de utilização de um determinado membro comparado ao membro contralateral, relacionada ao conforto e a segurança que um sujeito apresenta na execução de habilidades motoras específicas. A outra dimensão, definida como assimetria lateral de desempenho, refere-se à diferença na qualidade da execução das tarefas pelos membros contralaterais. O desenvolvimento dessas assimetrias encontra-se na interação entre fatores biológicos e ambientais. Em outras palavras, as assimetrias estão relacionadas com a manifestação da preferência pelo uso de um membro, isto é, à escolha de um dos lados para executar a maioria das tarefas, ou com o desempenho, que está relacionado à proficiência entre os lados do corpo. As assimetrias podem ser observadas entre os membros superiores e membros inferiores; e estando presente também em outros sistemas do organismo (MAUPAS *et al*, 1999; TEIXEIRA, 2006).

Por muitas vezes as assimetrias no comportamento motor são indesejáveis. Em situações esportivas que requerem, por exemplo, desempenho similar entre os membros homólogos, as assimetrias no desempenho podem prejudicar o rendimento motor de um atleta (LAGE, 2013). Um método promissor para a diminuição da assimetria de desempenho no controle motor é a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). Os efeitos da estimulação não-invasiva do cérebro tem se transformado em um importante campo de pesquisa nas

Neurociências com importante impacto no conhecimento produzido sobre as funções cognitivas e motoras (LAGE, 2013). A aplicação não-invasiva de fraca corrente elétrica por meio do posicionamento de dois (ou mais) eletrodos sobre a cabeça pode excitar o funcionamento do hemisfério menos especializado no controle motor, que no caso dos destros é o direito ou inibir o hemisfério contralateral. A forma simulada (Sham) pode ser utilizada eficientemente em estudos duplo-cegos (GANDIGA; HUMMEL; COHEN, 2006; LANG, 2004).

Os efeitos modulatórios da ETCC permanecem de minutos a horas, contribuindo para alterações nas funções cerebrais, incluindo as funções motoras (BOGGIO *et al.*, 2006a). Estudos realizados identificaram os aspectos funcionais da ETCC no córtex motor de humanos. Como exemplo, o desempenho em exercícios de contração isométrica para os músculos flexores do cotovelo foi aumentado em execuções até a exaustão por meio da ETCC no córtex motor (COGIAMANIAN *et al.*, 2007), assim como a força de extensão de joelho (TANAKA *et al.*, 2009). Tendo em vista os efeitos da ETCC, o presente estudo se propôs a investigar se a estimulação anódica sobre o córtex motor primário pode resultar simultaneamente em melhorias nas assimetrias em uma tarefa de destreza manual.

1.1 Justificativa

O presente estudo se justifica pelas contribuições ao conhecimento da área de Comportamento Motor e Neurociências, ampliando o entendimento acerca das assimetrias manuais, especialmente no que se refere em uma tarefa de destreza manual e busca entendimento dos efeitos da ETCC no controle manual.

1.2 Objetivo

O presente estudo tem como objetivo principal avaliar os efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua nas assimetrias de desempenho manual em uma tarefa de destreza manual.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico

Os primeiros neurocientistas só chegaram à conclusão que a estimulação elétrica do córtex humano induz mudança de comportamento, tais como o movimento, no final do século XIX tornando a aplicação de uma corrente elétrica cerebral uma grande novidade neurocientífica da época (ZAGO *et al.*, 2008; UTZ *et al.*, 2010).

O primeiro relato de uma estimulação elétrica do córtex cerebral humano exposto veio da Itália, um país com tradições pioneiras na experimentação biológica elétrica (BRAZIER, 1963). Em 1802, Giovanni Aldini, professor de física da Universidade de Bologna, realizou estimulação elétrica das meninges e da superfície cortical de cadáveres de dois prisioneiros recentemente decapitados (PARENT, 2004). Aldini observou que a estimulação provocou contrações dos músculos faciais da metade direita do rosto após a estimulação cortical do hemisfério esquerdo. Estas observações levaram Aldini a concluir que a superfície cortical era eletricamente excitável. Embora as contrações musculares faciais observadas por ele possam, eventualmente, ter refletido na ativação direta do nervo facial, em vez de estimulação direta do córtex, o autor merece reconhecimento por ter publicado a primeira descrição da estimulação elétrica aplicada ao córtex cerebral humano. Ainda hoje, a estimulação cerebral profunda, um procedimento atualmente empregado para aliviar pacientes com distúrbios motores ou comportamentais, deve muito a Aldini e galvanismo (ZAGO *et al.*, 2008).

Os achados de Aldini foram desvalorizados na época, novos achados não se tornaram disponíveis em humanos antes de 1870, quando Bartholow (1874), Sciamanna (1882) e Alberti (1884) decidiram replicar as experiências recentes de Fritsch e Hitzig (1870) que, a fim de determinar se as respostas motoras encontradas eram de origem central, estudaram os efeitos da corrente galvânica sobre diferentes áreas do córtex cerebral de um cachorro consciente (FOERSTER, 2013).

Aldini também foi pioneiro no uso transcraniano da corrente galvânica, relatando sucesso na aplicação transcraniana da corrente galvânica para tratamento de pacientes com transtornos de personalidade, acreditando que a corrente galvânica aplicada sobre o couro cabeludo poderia ser benéfica no tratamento de perturbações mentais (PARENT, 2004). Augustin e Grapengiesser usaram as correntes galvânicas como tratamento estimulante ou sedativo; Bishoff relatou o sucesso do tratamento em casos de depressão (ARNDT, 1870). Muitos outros pesquisadores ao longo dos últimos dois séculos fizeram o uso extensivo de corrente galvânica para o tratamento de transtornos mentais, com resultados variáveis (PRIORI, 2003).

Em meados de 1964, Bindman foi o responsável pela descoberta de que o gradiente de potenciais elétricos produzido por correntes contínuas de baixa intensidade era capaz de provocar alterações na excitabilidade neural de ratos por um tempo prolongado após o fim da estimulação (BINDMAN; LIPPOLD; REDFEARN, 1964). A partir de então, vários estudos foram realizados na tentativa de verificar o potencial terapêutico da polarização cerebral, porém a técnica foi gradualmente abandonada devido às limitações tecnológicas da época e pela progressiva disponibilidade de drogas eficazes na psiquiatria (PRIORI, 2003).

No final da década de 1990, o interesse acerca do efeito da aplicação transcraniana de corrente galvânica de baixa intensidade sobre o sistema nervoso central humano reapareceu (FOERSTER, 2013). Em 1998, Priori e colaboradores observaram que a aplicação de uma estimulação positiva (ânodo) alternada com uma negativa (cátodo), deprime significativamente a excitabilidade do córtex motor humano (PRIORI *et al.*, 1998). A ETCC, como aplicada atualmente, foi introduzida por Paulus e Nitsche, apenas em 2000. Os autores demonstraram em um estudo pioneiro, em humanos intactos, a possibilidade de aumentar ou reduzir seletivamente a excitabilidade cerebral através da de sujeitos saudáveis (NITSCHKE; PAULUS, 2000). Desde então, a ETCC é um método promissor para estudar os efeitos da estimulação cerebral local nas funções cognitivas, tanto em indivíduos saudáveis e em pacientes com lesões do sistema nervoso central (UTZ *et al.*, 2010).

2.2 Conceito da ETCC

A ETCC consiste em uma técnica de modulação cortical não invasiva e indolor, que, através da aplicação de corrente contínua de baixa intensidade sobre o escalpo, é capaz de modular a excitabilidade cortical e assim interferir no desempenho de diferentes funções, dentre elas as funções motoras e na aprendizagem motora (ROSENKRANZ *et al.*, 2000; NITSCHKE; PAULUS, 2000; NITSCHKE *et al.*, 2007; NITSCHKE *et al.*, 2003a).

Para que a ETCC seja administrada, eletrodos de superfície, compostos por borracha condutora de eletricidade e cobertos por uma esponja (tamanho entre 25 e 35 cm²) embebida em solução salina são posicionados sobre o escalpo (NITSCHKE *et al.*, 2008). Dundas, Thickbroom e Mastaglia, 2007 sugerem que um meio de concentração de NaCl entre 15 e 140 mM é perfeitamente adaptado para minimizar o desconforto da estimulação. Posteriormente, é imposta uma corrente elétrica contínua (0,4 - 2 mA) por um período de 3-20 minutos a fim de modificar a excitabilidade cortical. O estímulo de corrente anódica aumenta a excitabilidade cortical enquanto que o estímulo de corrente catódica tem o efeito inibitório. A resistência a este efeito é dependente da intensidade e da duração da estimulação (NITSCHKE; PAULUS, 2001; NITSCHKE *et al.*, 2003a).

Os eletrodos são conectados a um eletroestimulador constituído basicamente por quatro componentes principais: (I) amperímetro, medidor de intensidade de corrente elétrica, (II) potenciômetro, componente que permite a manipulação da intensidade da corrente e (III) baterias para gerar a corrente aplicada (FOERSTER, 2013).

2.3 Parâmetros de Estimulação

A geometria neural, a direção, intensidade e duração do fluxo são importantes para a excitabilidade neural, assim como, a posição, o tamanho e a polaridade dos eletrodos interferem nos efeitos da ETCC (NITSCHKE; PAULUS, 2000; LIEBETANZ *et al.*, 2002; NITSCHKE *et al.*, 2008).

Os eletrodos são posicionados nos indivíduos de acordo com a área cortical a qual se quer modular e o do efeito (exitatório ou inibitório) pretendido. O sistema 10-20 de posicionamento de eletrodos da eletroencefalografia (EEG) é geralmente utilizado para a localização da região a ser estimulada (NITSCHKE *et al.*, 2003b). Como foi dito anteriormente por Dundas; Thickbroom e Mastaglia, 2007 as intensidades das correntes mais aplicadas variam (0,4 - 2 mA) e sua duração oscila de segundos a minutos.

Como descrito anteriormente, os efeitos da ETCC são dependentes da região estimulada. Nitsche; Paulus (2000) investigaram várias posições de arranjos de eletrodo aplicadas sobre diferentes áreas corticais e viram que só há interferência na atividade cerebral quando os eletrodos são posicionados sobre o córtex motor primário (M1) (eletrodo ativo) e sobre a região supraorbitária contralateral (eletrodo referência). Isso reflete o fato bem conhecido que a geometria neural influencia no fluxo elétrico (NITSCHKE; PAULUS, 2000). No mesmo estudo, Nitsche e Paulus (2000) demonstram que a duração dos efeitos da ETCC anódica (1mA) sobre a excitabilidade cortical é dependente do tempo de aplicação da estimulação. O efeito da polarização pode ser mantido por aproximadamente 60 minutos após a estimulação (NITSCHKE *et al.*, 2003c).

Os efeitos dependentes da intensidade da corrente também foram investigados. Batsikadze *et al.* (2013), após aplicação de ETCC catódica de 1mA e 2mA sobre o córtex motor observaram que a redução da excitabilidade cortical é maior quando utilizada 2mA, o efeito da ETCC diretamente proporcional a intensidade da corrente aplicada. Boggio *et al.* (2006b), realizaram um estudo verificando a aplicação de 1mA e 2mA em duas regiões diferentes do escalpo em pacientes com a Doença de Parkinson, os resultados apontaram uma melhora significativa na memória de trabalho após ETCC anódica sobre o córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo (LDLPFC) com 2 mA, o que não foi observado quando a ETCC anódica com 1mA foi administrada. Os resultados também foram mais significativos na região do córtex pré-frontal dorsolateral em relação ao córtex motor primário.

Outros parâmetros da ETCC, tais como o tamanho dos eletrodos e a distância entre o eletrodo ativo e o de referência, podem também interferir nos seus efeitos (FOERSTER, 2013). Os eletrodos mais predominantes utilizados em estudos possuem a faixa de área entre 20-35cm² (NITSCHKE *et al.*, 2008; ADEYEMO *et al.*, 2012). A distância entre os dois eletrodos se correlaciona negativamente com a duração e a magnitude, desempenhando um papel crítico na indução para a estimulação, sendo necessários maiores intensidades de corrente para os efeitos da ETCC quando se utiliza eletrodos de montagem extraencefálica para se equivaler aos efeitos das montagens encefálicas (MOLIADZE; ANTAL; PAULUS, 2010).

Os efeitos da ETCC também estão relacionados à densidade de corrente e à carga total aplicadas. A densidade de corrente corresponde à relação entre a intensidade da corrente utilizada e a área do eletrodo, sendo essa independente da duração. Enquanto a carga total equivale à razão entre a intensidade da corrente administrada e o produto entre a área do eletrodo, sendo dependente da duração da estimulação (NITSCHKE *et al.*, 2003a).

2.4 Mecanismos Fisiológicos de Ação dos Efeitos da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua

Correntes diretas de baixa amplitude da ETCC penetram o crânio atingindo o cérebro, de forma suficiente para modular o limiar de excitabilidade e a taxa de disparo de células neuronais isoladas e assim alterando os potenciais neuronais da membrana ao longo de seus eixos (LIEBETANZ *et al.*, 2002; UKUEBERUWA; WASSERMANN, 2010). Os mecanismos pelos quais a ETCC produz efeitos biológicos para além do período de estimulação ainda não estão totalmente esclarecidos, destaca-se como principal mecanismo a mudança da excitabilidade ao qual a estimulação via anodo leva a uma despolarização e a catodo a uma hiperpolarização da membrana (LIEBETANZ *et al.*, 2002; NITSCHKE *et al.*, 2003a; ROSENKRANZ *et al.*, 2000). Investigações em neurofisiologia, farmacologia, neuropsicologia, neuroimagem e estudos em animais experimentais oferecem algumas pistas sobre os mecanismos de ação da ETCC (LIEBETANZ *et al.*, 2002; OKANO *et al.*, 2013).

Um mecanismo relacionado à plasticidade neural é a potenciação de longo prazo (LTP) (em inglês *long-term potentiation*). A sincronização da atividade elétrica entre os neurônios pré-sináptico e pós-sináptico fortalece ou aumenta a conexão entre os neurônios (HEBB, 1949). A LTP constitui como um dos principais mecanismos envolvidos nas mudanças em longo prazo na formação de memória e na aprendizagem, e possivelmente age através da sincronização de dois neurônios fortalecendo a sinapse entre eles (RIOULT-PEDOTTI, 2000; COLLINGRIDGE, 1985). Esse mecanismo provoca uma facilitação de transmissão química que permite a modulação da sinapse pelo fortalecimento que se estabiliza por dias, semanas, meses ou anos (COOKE; BLISS, 2006). Sendo provavelmente a LTP o principal mecanismo relacionado ao efeito durador da ETCC (FRITSCH *et al.*, 2010).

Com o aumento de cálcio intracelular pós-sináptico induzido via ETCC anódica, ocorre o aumento dos níveis de monofosfato cíclico de adenosina (AMPA) e expressão gênica do receptor de N-Acetil. Aspartato (NMDA) e alfa-amino-3-hidroxi-metil-5-4-isoxazolpropiónico (AMPA) via efeito cascata (ISLAM *et al.*, 1995; STAGG; NITSCHKE, 2011). O receptor de NMDA e AMPA são os dois tipos de receptores ativados via glutamato, sendo que o NMDA o principal. Os receptores de NMDA (que frequentemente coexistem com os receptores AMPA) contribuem com o componente lento para o potencial pós-sináptico excitatório. Embora sejam distintos fisiologicamente os dois receptores coexistem na sinapse (LENT, 2010; MOLDRISH *et al.*, 2003). Ao contrário das outras células do corpo, os neurônios necessitam de glutamato não somente para as atividades metabólicas normais, mas também para transmissão sináptica (CARTMELL; SCHOEPP, 2000). Esse glutamato liga-se aos receptores de NMDA e AMPA causando a despolarização sublimiar no neurônio pós-sináptico. Quando o glutamato liga-se ao receptor de NMDA (os receptores NMDA exibem maior permeabilidade ao Ca^{2+} do que os receptores AMPA) ocorre uma ligeira despolarização devido à entrada de poucas moléculas de sódio no neurônio pós-sináptico (PURVES *et al.*, 2012; RUGGIERO *et al.*, 2011). Quando advém um estímulo forte ou mais frequente o magnésio é expulso do receptor NMDA, o que permite a entrada de sódio e cálcio. O cálcio atua como um importante segundo mensageiro ativando um efeito cascata intracelular de sinalização, que desencadeia principalmente na inserção de receptores de AMPA na membrana neural (PURVES *et al.*, 2012; KUBO; ITO *et al.*, 2004).

2.5 Critério de Segurança

A ETCC é uma técnica considerada segura para aplicação em humanos devido à ausência de relatos na literatura de efeitos adversos (BRUNONI *et al.*, 2011). A densidade e a duração da corrente é um importante parâmetro de segurança a ser considerado (BASTANI; JABERZADEH, 2012; NITSCHÉ *et al.*, 2003b). Nos estudos em animais, densidades de correntes inferiores a 25mA/cm² não foram capazes de gerar lesão no tecido nervoso, mesmo quando aplicados por horas (MCCREERY *et al.*, 1990). Nos protocolos usados em humanos, a densidade não supera 0,06mA/cm², ficando, portanto, muito abaixo dos valores considerados de risco e propostos por McCreery *et al.* (1990) (BASTANI; JABERZADEH, 2012), deve-se levar em consideração que parte da corrente aplicada diretamente no crânio é dissipada no escalpo e apenas cerca de 50% atinge a região do córtex a ser estimulada (ADEYEMO *et al.*, 2012).

Poucos são os relatos de desconfortos durante a aplicação da ETCC e quando presentes são leves, resumindo-se a sensação de formigamento ou coceira (FOERSTER, 2013). Efeitos adversos, como hiperemia na região sob o eletrodo, dores de cabeça, náuseas e insônia, coceiras intensas, ardor por baixo dos eletrodos são raros e pouco relatados (POREISZ *et al.*, 2007).

2.6 Córtex Motor Primário

O córtex motor tem termo um amplo e um sentido estrito. O sentido amplo refere-se a uma série de áreas corticais funcionalmente distintas, que controlam coletivamente ação voluntária (WISE, 1999). O sentido estrito, adotado aqui, pertence exclusivamente a uma dessas áreas, o córtex motor primário. O córtex motor primário compreende apenas uma pequena proporção do córtex cerebral, mas tem um papel crucial no controle do movimento. Alguns de seus neurônios têm axônios que terminam diretamente sobre os neurônios motores da medula espinhal, dando córtex motor o acesso mais direto possível aos músculos (Porter e Lemon, 1993). O córtex motor primário está envolvido na aquisição e fase de consolidação inicial de aprendizagem motora implícita (NITSCHÉ *et al.*, 2003d).

2.7 Assimetrias Laterais

A lateralidade é um conceito abrangente, que envolve diferentes aspectos dos seres vivos relativos aos hemisférios direito e esquerdo do corpo (TEIXEIRA, 2006). Um desses aspectos é, o cognitivo . referência da linha sagital mediana . e a estrutura física . diferenças entre os lados direito e esquerdo do corpo.

O estudo conduzido por Brackenridge (1981) constatou que 90% da população mundial são classificadas como destros para tarefas manuais. Tal predominância pela mão direita leva a acreditar que esse comportamento é devido a predisposições genéticas que produzem assimetrias estruturais e funcionais no sistema nervoso central. Segundo esta visão, a lateralidade de um indivíduo parece estar presente no momento do nascimento, exceto em casos de patologias neurais que afetam um único hemisfério cerebral ou através de excessiva prática unilateral o que poderia alterar a predisposição genética por necessidade de adaptação (LEVY, 1976). Por outro lado, tem havido fortes indícios de que o ambiente e o contexto sociocultural podem definir ou influenciar a preferência lateral (FAQUIN, 2009).

Segundo Teixeira (2006), a maioria da população apresenta preferência bem definida pela mão direita ou pela mão esquerda. A lateralidade envolve diferentes aspectos relativos aos hemisférios direito e esquerdo do corpo. A preferência da mão dominante também exemplifica a especialização hemisférica. Nos humanos destros essa preferência se reflete tanto na assimetria anatômica (AMUNTS *et al.*, 1996; 2000; TEIXEIRA, 2006) como nas assimetrias comportamentais (SCHMIDT *et al.*, 2000). Segundo Teixeira (2006), pesquisas apontam que as preferências laterais e assimetrias motoras manifestam-se precocemente durante o desenvolvimento motor; as preferências laterais são distintas para cada dimensão da lateralidade e se alteram durante o ciclo de vida, há um aumento da congruência interdimensões de preferência lateral durante o desenvolvimento. Há também uma associação entre o domínio da linguagem no hemisfério esquerdo e o controle dos movimentos de ambas as mãos (McMANUS 1983; ANNETT 1985; GESCHWIND; GALABURDA 1987).

Diante dessas observações, estudos de imagem cerebral funcional de indivíduos destros realizando tarefas motoras simples mostram que há uma maior probabilidade de ativação cortical motor bilateral durante os movimentos produzidos com a mão esquerda não dominante. Em contraste, a ativação é geralmente restrita ao hemisfério esquerdo durante a produção dos movimentos da mão direita (KAWASHIMA *et al.*, 1993;. KIM *et al.*, 1993).

Ashton (1982) investigou as preferências manuais de mais de mil e oitocentas famílias havaianas, envolvendo pais, filhos e seus ancestrais, sugerindo que apenas de 10% a 20% para a participação genética na determinação da preferência manual, enquanto a variância dos fatores ambientais varia 80,9 e 89,5% das preferências manuais. Porac e Coren (1981) observaram um alto grau de ambidestria em jogadores de basquetebol de alto nível, indicando que este fato ocorreu devido às práticas e características específicas do desporto. Porac, Coren e Searleman (1986) analisaram seiscentos e cinqüenta estudantes com preferência lateral esquerda que passaram por situações nas quais seus pais ou seus professores os pressionaram para escrever com a mão direita. Estes autores mostraram que 11% dos indivíduos passaram por tentativas de mudança de preferência lateral e destes aproximadamente metade efetuou a mudança de preferência. Tais estudos em conjunto sugerem que a preferência lateral pode sofrer efeito da prática.

Outro fator relacionado com a preferência lateral é o desempenho. Assim, quando houvesse melhor desempenho em uma tarefa realizada com um determinado lado do corpo, haveria uma maior preferência por utilizar este lado. Ou seja, o desempenho teria uma relação direta com a preferência lateral (FAQUIN, 2009). Esta relação direta entre desempenho e preferência foi verificada por Petrie e Peters (1980) em vinte e oito bebês com idades entre duas e três semanas de vida, que manipularam um objeto com um sensor de força embutido. Foram analisadas a força de preensão e o tempo das manipulações. Os resultados apontam que para ambas as variáveis, houve assimetria de desempenho favorável para a mão direita.

Os estudos que analisaram a mudança de preferência manual possuem em comum o direcionamento da atenção para a tarefa desempenhada com o membro homólogo. Por conseguinte, a demanda de atenção destinada para a realização da

tarefa poderia ser um dos fatores determinantes na formação da preferência lateral associada à prática/aprendizagem de uma tarefa. Nesta perspectiva, quando uma tarefa fosse praticada sozinha com o membro não-dominante haveria uma mudança de preferência lateral marcante. (FAQUIN, 2009).

As assimetrias laterais no comportamento motor humano estão presentes tanto na preferência quanto no nível de desempenho apresentado com segmentos corporais de ambos os lados (TEIXEIRA; PAROLI, 2000). Quanto ao entendimento das assimetrias encontradas no comportamento motor, Carson (1989); Corballis (2003) e Brackenridge, (1981) apresentam duas dimensões. Uma das dimensões é conhecida como assimetria lateral de preferência, diz respeito à maior evidência de preferência e frequência de utilização de um determinado membro comparado ao membro contralateral, relacionada ao conforto e a segurança que um sujeito apresenta na execução de habilidades motoras específicas. A outra dimensão, definida como assimetria lateral de desempenho, refere-se à diferença na qualidade da execução das tarefas pelos membros contralaterais. Assimetrias de desempenho consistem em diferenças na capacidade de controle de segmentos corporais contralaterais homólogos, que se manifestam em distintos aspectos da motricidade, como precisão, velocidade de execução, coordenação e latência para iniciar movimentos. O desenvolvimento dessas assimetrias encontra-se na interação entre fatores biológicos e ambientais (TEIXEIRA, 2006).

3 MÉTODO

3.1 Amostra

A população compreendeu indivíduos do sexo masculino, destros, universitários e com idade entre 18 e 40 anos. A amostra foi composta por 28 voluntários sadios¹. Os dados foram coletados no laboratório do Grupo de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM), localizado na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (CENESP/EEFFTO/UFMG). O

¹ O conceito de voluntários saudáveis se refere aqui a sujeitos que não apresentam sintomas de doenças psiquiátricas e não tiveram ou tenham doenças neurológicas.

recrutamento dos voluntários da pesquisa foi por meio de convite pessoal e por divulgação de cartazes fixados nas dependências da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

Todos os voluntários assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE A). Foram excluídos da amostra final os voluntários com histórico de comprometimento neurológico e que estavam utilizando implantes de metal no crânio, marca-passos cardíacos, com dores de cabeça recorrentes inexplicáveis, gravidez, histórico recente de epilepsia, e ingestão de medicamentos que são susceptíveis a alterar a excitabilidade cortical.

O estudo respeitou todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde para pesquisas com seres humanos e o projeto foi encaminhado à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG. Estes indivíduos foram separados em dois grupos diferentes, o grupo teste e o grupo simulado.

3.2 Instrumentos de Coleta

3.2.1 Grooved Pegboard

O instrumento utilizado para realizar o teste de destreza manual foi o Grooved Pegboard Test (Lafayette Instrument Company, modelo nº 32025) (Figura 1). O Grooved Pegboard é composto por uma superfície com 25 orifícios, cada um possuindo uma reentrância posicionada em diferentes direções, e uma superfície côncava onde são colocados os pinos. Os pinos também possuem uma reentrância, que deve coincidir espacialmente com a do orifício para que haja encaixe (ARAÚJO, 2008).

Figura 1: Grooved Pegboard



3.2.2 HDC Kit de ETCC

O equipamento utilizado para realizar a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) foi o HDC Kit da marca Magstim (Figura 2), constituído por um estimulador, um programador e um conjunto de eléttodos de 25cm². A ETCC envolve a aplicação de correntes elétricas fracas sobre a cabeça, para gerar um campo elétrico que modula a excitabilidade neural (<http://www.magstim.com/tdcs>).

Figura 2: HDC Kit de ETCC



3.2.3 Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo

O Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (Oldfield, 1971) (ANEXO A) foi empregado para determinar o índice de preferência lateral, constituído por 10 questões sobre preferência lateral na execução de 10 tarefas motoras realizadas usualmente pela maioria das pessoas. Para cada item assinalado foi computado um ponto, cuja somatória foi utilizada para cálculo do Índice de Preferência Lateral (TEIXEIRA; PAROLI, 2000).

3.3 Procedimentos de Coleta

Inicialmente os participantes, com idade entre 18 e 40 anos, foram recrutados por meio de convite pessoal e anúncio local na EEEFTO da UFMG. Para aqueles que se dispuseram a participar da pesquisa, foi apresentado um TCLE. Os sujeitos que apresentaram história pregressa de doença neurológica (ex.: epilepsia) ou que faziam uso de medicamentos que interferiam em aspectos cognitivos ou motores também foram excluídos da amostra. Foi também aplicado o Inventário de Dominância Lateral Edimburgo (OLDFIELD, 1971) para a análise da preferência manual. Foram incluídos na amostra os participantes que se auto declararam destros e apresentaram índice de preferência acima de 80 pontos para a mão direita.

Posteriormente, foram realizados os seguintes procedimentos: (a) aplicação do pré-teste que consistiu na avaliação motora; os 28 voluntários foram divididos em dois grupos de 14 de pessoas; um grupo iniciou o pré-teste com a mão direita e o outro grupo com a mão esquerda (b) uma semana após o pré-teste foi aplicado a ETCC ou Sham; (c) logo após a aplicação da ETCC ou Sham os sujeitos foram avaliados no pós-teste os efeitos posteriores (*after-effects*) por meio da mesma avaliação no pré-teste; todos os voluntários iniciaram o pós-teste com a mesma mão que iniciaram o pré-teste. Este estudo foi desenvolvido como parte de um projeto de pesquisa titulado *Modulação do controle motor por meio de estimulação transcraniana por corrente contínua: alterações nas assimetrias de desempenho*

manual+ constituído por dois testes de controle manual, sendo, uma tarefa de apontamento e uma tarefa de destreza manual. Nesse projeto de conclusão de curso o estudo deteve-se no teste de uma tarefa de destreza manual.

O equipamento de ETCC utilizado foi o HDC Kit da marca Magstim. A corrente direta foi transferida por eletrodos protegidos por esponjas embebidas em solução salina composta por concentração entre 40 a 150nM de NaCl diluídos em água deionizada, para eliminar o contato direto do eletrodo com a pele e assim minimizar possíveis reações desagradáveis. No início da estimulação, foi esperado que a maioria dos sujeitos percebesse uma ligeira sensação de comichão, que, em seguida, desapareceu na maioria dos casos. (NITSCHKE *et al.*, 2008). Para estimular o córtex motor primário (M1) contralateral à mão não dominante, o eletrododo anodo foi colocado sobre a região C4 (padrão internacional 10/20 para análise de sinais eletroencefalográficos). O outro eletrodo foi colocado sobre a área supra-orbitária contralateral (BOGGIO *et al.*, 2006a). Uma corrente constante de 1mA foi aplicada por 20 minutos, esse parâmetro de estimulação é seguro de acordo com estudos anteriores (BOGGIO *et al.*, 2006a; NITSCHKE *et al.*, 2003a; 2004; IYER *et al.*, 2005). Para a estimulação simulada (sham) os eletrodos foram colocados na mesma posição, nessa condição o estímulo foi desligado após 30 segundos, tempo suficiente para o voluntário não mais perceber a presença da corrente. Os sujeitos do grupo simulado passaram pelas mesmas condições do procedimento de estimulação (BOGGIO *et al.*, 2006a).

A tarefa de destreza manual realizada no Grooved Pegboard consistiu em encaixar 25 pinos em um receptáculo nos seus devidos buracos, um de cada vez, o mais rápido possível, em uma ordem prescrita. Ao receber o comando de início da tarefa, o executante iniciou a inserção dos 25 pinos, de cima para baixo, um a um, da esquerda para a direita quando utilizaram a mão direita e da direita para esquerda quando utilizaram a mão esquerda. A tarefa foi finalizada quando o executante inseriu o último pino. Foi realizada uma tentativa com cada mão. A ordem de execução das mãos foi contrabalançada entre voluntários (BRYDEN; ROY, 2005).

3.4 Procedimentos de Análise dos Dados

A medida de desempenho motor utilizada para a tarefa de destreza manual foi o tempo de movimento. Essa medida corresponde ao intervalo de tempo compreendido entre o comando de início fornecido ao voluntário e a inserção do último pino.

3.5 Procedimentos Estatísticos

O procedimento realizado teve como principal objetivo a análise do nível das assimetrias manuais antes e após a ETCC. Análise inferencial das variáveis motoras analisadas foi realizada por meio de média e desvio padrão. Para cada uma das variáveis contínuas analisadas foi inicialmente conduzido o teste de Shapiro-Wilks para análise da normalidade dos dados ($p > 0,05$). Quando o pressuposto de normalidade não foi alcançado, foram realizados testes não paramétricos. O teste paramétrico utilizado foi a ANOVA de Friedman e correção de Bonferroni, com ajuste do nível e significância calculado pela seguinte fórmula: $0,05 / 4$ comparações

3.6 Cuidados Éticos

Este estudo foi desenvolvido como parte de um projeto de pesquisa titulado *Modulação do controle motor por meio de estimulação transcraniana por corrente contínua: alterações nas assimetrias de desempenho manual*, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais e pela Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Todos os procedimentos realizados respeitaram as normas estabelecidas pela Resolução 196/1996 do Conselho Nacional de Saúde, sobre diretrizes e normas regulamentadoras acerca de pesquisas científicas envolvendo seres humanos.

Os indivíduos voluntários da pesquisa leram e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Os voluntários estavam cientes de que poderiam abdicar da participação do estudo a qualquer momento, sem a necessidade de se justificarem e sem prejuízo pessoal. Apenas após tais

procedimentos serem adotados os voluntários foram considerados aptos para a participação na pesquisa, e assim, tornando a coleta de dados livre para a efetividade do presente estudo. Cuidados com a integridade física e privacidade dos voluntários foram tomados. O número do CAAE do COEP da UFMG é: 24116513.2.0000.5149

Todos os dados coletados durante a realização deste estudo foram utilizados apenas para fins de pesquisa. Para isto, as condições experimentais e todas as informações individuais obtidas durante o estudo foram sigilosas entre a equipe de pesquisadores e o voluntário.

4 RESULTADOS

4.1 Procedimentos Análise Descritiva

A análise descritiva dos dois grupos de prática (ETCC e Sham) nos dois momentos de análise (pré e pós-teste) com as duas mãos (direita e esquerda) está apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 . Média, desvio padrão e mediana dos grupos experimentais nos dois momentos de análise com as duas mãos.

TEMPO TAREFA DE DESTREZA MANUAL (segundos)								
Análise	Grupo ETCC				Grupo Sham			
	1º DIA		2º DIA		1º DIA		2º DIA	
	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME
Média	0,76	0,99	0,66	0,86	0,82	1,01	0,72	0,95
Desvio padrão	0,281	0,26	0,25	0,28	0,26	0,20	0,24	0,26
Mediana	0,56	1,04	0,54	1	1,02	1,07	0,57	1,06

O teste de Shapiro-Wilks mostrou que os dados não atendem os pressupostos de normalidade ($p < 0,05$). Foi feita uma transformação logarítmica (Log10), porém os dados não foram normalizados. Assim foram adotados os seguintes procedimentos estatísticos não paramétricos para cada um dos grupos (ETCC e Sham):

- Anova de Friedman

- Correção de Bonferroni, com ajuste do nível e significância calculado pela seguinte fórmula:

$$0,05 / 4 \text{ comparações}$$

As quatro comparações foram (1) pré-teste mão direita versus pré-teste mão esquerda; (2) pós-teste mão direita versus pós-teste mão esquerda; (3) pré-teste mão direita versus pós-teste mão direita; (4) pré-teste mão esquerda versus pós-teste mão esquerda. Sendo assim o nível de significância adotado para as múltiplas comparações foi de $p < 0,01$.

- Múltiplas comparações entre as condições realizadas com o Wilcoxon.

4.2 Análises Inferenciais do Grupo ETCC

A Anova de Friedman mostrou diferença entre os diferentes momentos (pré e pós-teste) e mãos de execução (direita e esquerda) no delineamento para o grupo ETCC [$X^2(14,3) = 23,45$, $p < 0,01$]. As múltiplas comparações com o teste de Wilcoxon mostraram assimetria significativa na comparação pré-teste mão direita X mão esquerda ($p < 0,01$) e na comparação pós-teste mão direita X pós-teste mão esquerda ($p < 0,01$) (Tabela 2). Nas duas comparações a mão direita apresentou melhor desempenho do que a mão esquerda (Tabela 1). Também foi encontrada diferença significantiza em relação ao momento, tendo os pré-testes com a mão direita e esquerda apresentado pior desempenho do que os pós-testes com a mão direita e esquerda, respectivamente ($p < 0,01$).

TABELA 2_ Resultados das múltiplas comparações no grupo ETCC.

Pré-teste mão direita X mão esquerda		Pós-teste mão direita X pós-teste mão esquerda		Pré-teste mão direita X pós-teste mão direita		Pré-teste mão esquerda X pós-teste mão esquerda	
Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
3,05	0,002*	3,07	0,002*	2,55	0,01*	2,49	0,01*

4.3 Análises Inferenciais do Grupo SHAM

A Anova de Friedman mostrou diferença entre os diferentes momentos (pré e pós-teste) e mãos de execução (direita e esquerda) no delineamento para o grupo Sham [$\chi^2(14,3) = 18,36, p < 0,01$]. As múltiplas comparações com o teste de Wilcoxon mostraram assimetria significativa na comparação pré-teste mão direita X mão esquerda ($p < 0,01$) e na comparação pós-teste mão direita X pós-teste mão esquerda ($p < 0,01$) (Tabela 3). Nas duas comparações a mão direita apresentou melhor desempenho do que a mão esquerda (Tabela 1). Não foi encontrada diferença significativa em relação ao momento, tendo os pré-testes com a mão direita e esquerda apresentaram o mesmo desempenho do que os pós-testes com a mão direita e esquerda, respectivamente ($p > 0,05$). Tabela 3.

TABELA 3 - Resultados das múltiplas comparações no grupo Sham.

Pré-teste mão direita X mão esquerda		Pós-teste mão direita X pós-teste mão esquerda		Pré-teste mão direita X pós-teste mão direita		Pré-teste mão esquerda X pós-teste mão esquerda	
Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
2,69	0,006*	3,176	0,001*	0,75	0,45	0,38	0,70

5 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar os efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua nas assimetrias de desempenho manual em uma tarefa de destreza manual. O principal achado desse estudo foi apontar que a ETCC no córtex motor primário (M1) não foi capaz de diminuir as assimetrias manuais em uma tarefa de destreza manual em sujeitos destros.

Os resultados observados neste estudo não corroboram em parte com os resultados de estudos prévios sobre os efeitos da ETCC. As pesquisas realizadas em área cortical motora revelaram a possibilidade de modulação cortical por meio de técnicas não invasivas, como a ETCC (Nitsche; Paulus, 2000; Nitsche *et al*, 2003a; Nitsche *et al*, 2004; Boggio *et al*, 2006b). Estes estudos demonstraram que, dependendo da polaridade, da intensidade de corrente e do tempo de aplicação da ETCC, foi possível modular a atividade neuronal estimulando ou inibindo às

estruturas corticais estimuladas (LADEIRA, 2008). Em um desses estudos, Nitsche *et al.* (2000) mostraram que a estimulação anódica do córtex motor primário resultou em aumento da excitabilidade cortical e a estimulação catódica resultou em redução do padrão basal de excitabilidade cortical. O estudo de Boggio *et al.* (2006b) investigou os efeitos da ETCC anódica (1mA, 20 min) no córtex motor primário dominante e não dominante (M1) sobre o desempenho motor da mão em voluntários destros e saudáveis. Os sujeitos foram submetidos a uma sessão sham de estimulação (placebo) e estimulação anódica ativa. A avaliação da função motora foi através da bateria de teste de Jebsen Taylor funcional para a mão. Para a mão não-dominante, a ETCC ativa foi capaz de melhorar a função motora significativamente, o que não ocorreu depois da ETCC placebo. Para a mão dominante, no entanto, a ETCC ativa nem a ETCC placebo resultou em uma mudança significativa no desempenho do motor. Esses resultados mostram que a ETCC anódica provoca a melhoria da função motora e, assim, confirma a hipótese de que a ETCC pode mudar o comportamento motor assimétrico.

Um possível fator envolvido na discrepância entre os resultados do presente estudo e os achados dos estudos descritos acima, seja a característica das tarefas. Os estudos supracitados utilizaram de tarefas discretas e com baixa demanda efetora. No presente estudo, utilizou-se uma tarefa seriada, mais complexa em termos de elementos a serem executados, que requer habilidade viso-espacial, apresentando assim uma demanda percepto-motora mais elevada na execução da tarefa, quando comparada às tarefas utilizadas em outros estudos. Os resultados do presente estudo indicam que a ETCC no M1 direito levou a alterações no desempenho de ambas as mãos. As comparações entre momentos (pré e pós-teste), em ambas as mãos, mostrou melhoria no desempenho no pós-teste. O efeito de aprendizagem poderia estar presente, entretanto, o grupo Sham não apresentou melhoras entre os momentos para nenhuma das mãos. É possível que o nível de assimetria mantido possa ser fruto do benefício da cooperação interhemisférica. Tinazzi e Zanette (1998) encontraram uma maior ativação bihemisférica, em movimentos mais complexos. É possível que a estimulação do M1 direito tenha gerado benefícios no M1 contralateral, fator esse que levaria a melhoria do desempenho em ambas as mãos, mantendo assim os níveis de assimetria. Novos estudos precisam ser conduzidos para investigar essa hipótese.

Outro achado foi que a mão direita apresentou melhor desempenho em ambos os momentos, confirmando assim a existência das assimetrias manuais. As assimetrias de desempenho são caracterizadas pelas diferenças na capacidade de controle de segmentos corporais contralaterais homólogos (TEIXEIRA, 2006). No presente estudo o fenômeno foi observado no tempo de execução, de forma independente ao momento do teste e à estimulação ou não do córtex motor primário.

6 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo permitem concluir que para uma tarefa seriada de destreza manual, com demanda viso-espacial, o efeito da estimulação transcraniana por corrente contínua não diminui as assimetrias entre os membros. Entretanto, a estimulação do M1 direito de alguma forma favoreceu a função do M1 contralateral.

REFERÊNCIAS

ADEYEMO, B. O. *et al.* Systematic review of parameters of stimulation, clinical trial design characteristics, and motor outcomes in non-invasive brain stimulation in stroke. **Frontiers in Psychiatry**, v.3, p.2238-2247, 2012.

AMUNTS, K. *et al.* Asymmetry in the human motor cortex and handedness. **NeuroImage**, v.4, n.3, p. 216-322, 1996.

AMUNTS, K. *et al.* Interhemispheric asymmetry of the human motor cortex related to handedness and gender. **Neuropsychologia**, v.38, n.3, p. 304-312, 2000.

ANNETT, M. **Left, right, hand and brain: the right shift theory**. London: Erlbaum Associates, 1985.

ARAUJO, U. O. *et al.* Independência efetora e prática moderada com a mão esquerda em destrímanos. **Rev. Port. Cien. Desp.**, v.8, n.2, p.251-258, 2008.

ARNDT, R. Die Electricität in der psychiatrie. **European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience**, v.2, n.2, p. 259-337, 1870.

ASHTON, G. Handedness: an alternative hypothesis. **Behavioral Genetics**, v.12, n.2, p. 125-147, 1982.

BASTANI, A.; JABERZADEH, S. Does anodal transcranial direct current stimulation enhance excitability of the motor cortex and motor function in healthy individuals and subjects with stroke: a systematic review and meta-analysis. **Clinical Neurophysiology**, v.123 n.4, p.644-657, 2012.

BINDMAN, L. J.; LIPPOLD, O.; REDFEARN, J. The action of brief polarizing currents on the cerebral cortex of the rat (1) during current flow and (2) in the production of long-lasting after-effects. **The Journal of Physiology**, v.172, n.3, p. 369-382, 1964.

BOGGIO, P. S. *et al.* Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current stimulation. **Neuroscience Letters**, v.404, n.12, p.232-236, 2006a.

BOGGIO, P. S. *et al.* Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. **Journal of the Neurological Sciences**, v.249, n.1, p.31-38, 2006b.

BRACKENRIDGE, C. J. Secular variation in handedness over ninety years. **Neuropsychologia**, v.19, n.3, p. 459-462, 1981.

BRAZIER, M. A. The history of the electrical activity of the brain as a method for localizing sensory function. **Medical History**, v.7, n.3, p.199-211, 1963.

BRUNONI, A. R *et al.* A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation. **The International Journal of Neuropsychopharmacology**, v.14, n.8, p.1133-1145, 2011.

BRYDEN, P. J.; ROY, E. A. A new method of administering the Grooved Pegboard Test: performance as a function of handedness and sex. **Brain and Cognition**, v.58, n.3, p.258-268, 2005.

CARSON, R. G. *et al.* Manual asymmetries: feedback processing, output variability, and spatial complexity . resolving some inconsistencies. **Journal of Motor Behavior**, v.21, n. 1, p. 38-47, 1989.

CARTMELL, J.; SCHOEPP, D. D. Regulation of neurotransmitter release by metabotropic glutamate receptors. **Journal of Neurochemistry**, v. 75, n.3, p. 889-907, 2000.

COGIAMANIAN, F. *et al.* Improved isometric force endurance after transcranial direct current stimulation over the human motor cortical areas. **The European Journal of Neuroscience**, v.26, n.1, p.242-249, 2007.

COLLINGRIDGE, G. L. Long term potentiation in the hippocampus: mechanisms of initiation and modulation by neurotransmitters. **Trends in Pharmacological Sciences**, v.6, p. 407-411, 1985.

COOKE, S. F.; BLISS, T. V P. Plasticity in the human central nervous system. **Brain**, v.129, n.7, p. 1659-1673, 2006.

CORBALLIS, P. M. Visuospatial processing and the right-hemisphere interpreter. **Brain and Cognition**, v.53, n.2, p.171-176, 2003.

DUNDAS, J. E.; THICKBROOM, G. W.; MASTAGLIA, F. L. Perception of comfort during transcranial DC stimulation: effect of NaCl solution concentration applied to sponge electrodes. **Clinical Neurophysiology**, v.118, n.5, p.1166-1170, 2007.

FAQUIM, B. S. Efeito da atenção sobre a preferência manual: desempenho e aprendizado na tarefa de seqüenciamento de toque de dedos. In:_____. **Especialização em Aprendizagem Motora**. São Paulo: Departamento de Biodinâmica do Movimento do Corpo Humano da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, 2009. p.18-28.

FOERSTER, A. S. **Estimulação transcraniana por corrente contínua associada à prática mental: efeitos dependentes dos parâmetros da estimulação sobre o aprendizado motor de indivíduos saudáveis**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Fisioterapia) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

FRITSCH, B. *et al.* Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. **Neuron**, v.66, n.2, p. 198-204, 2010.

GANDIGA, P. C.; HUMMEL, F. C.; COHEN, L. G. Transcranial DC stimulation (tDCS): a tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. **Clinical Neurophysiology**, v.117, n.4, p.845-850, 2006.

GESCHWIND, N.; GALABURDA, A. M. Cerebral lateralization: Biological Mechanisms, Associations, and Pathology: II. A Hypothesis and a Program for Research. **Archives of Neurology**, v.42, n.5, p. 428-459, 1987.

HEBB, D. O. **The organization of behavior: a neuropsychological theory**. New York: Wiley, 1949. p.335.

ISLAM, N. *et al.* Increase in the calcium level following anodal polarization in the rat brain. **Brain Research**, v.684, n.2, p. 206-208, 1995.

IYER, M. B. *et al.* Safety and cognitive effect of frontal DC brain polarization in healthy individuals. **Neurology**, v.64, n.5, p.872-875, 2005.

KAWASHIMA, R. *et al* Regional cerebral blood flow changes of cortical motor areas and prefrontal areas in humans related to ipsilateral and contralateral hand movement. **Brain Research**, v.623, n.1, p. 33-40, 1993.

KIM, S. *et al.* Functional magnetic resonance imaging of motor cortex: hemispheric asymmetry and handedness. **Science**, v.261, n.5121, p. 615-617, 1993.

KUBO, M.; ITO, E. Structural dynamics of an ionotropic glutamate receptor. **Proteins**, v.56, n.3, p. 411-419, 2004.

LADEIRA, A. **investigação sobre o impacto da estimulação transcraniana por corrente contínua em tarefa de resolução temporal auditiva por meio da prova RGDT-random gap detection test.** 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Distúrbios do Desenvolvimento) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

LAGE, G. M. **Modulação do controle motor por meio de estimulação transcraniana por corrente direta: alterações nas assimetrias de desempenho manual.** 2013. 17 f. Projeto de Pesquisa. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

LANG, N. Effects of transcranial direct current stimulation over the human motor cortex on corticospinal and transcallosal excitability. **Experimental Brain Research**, v.156, n.4, p.439-443, 2004.

LENT, Roberto. Os Chips Neurais. Processamento de informação e transmissão de mensagens através de sinapses. In:_____. **Cem bilhões de neurônios. Conceitos fundamentais de neurociência.** São Paulo: Atheneu, 2010.

LEVY, J. A review of evidence for a genetic component in the determination of handedness. **Behavioral Genetics**,v.6, n.4, p. 429-453, 1976.

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.10, p.2238-2247, 2002.

MAUPAS, E. *et al.* Asymmetric leg activity in healthy subjects during walking, detected by electrogoniometry. **Clinical Biomechanics**, v.14, n.6, p.403-411, 1999.

MCCREERY, D. B. *et al.* Charge density and charge per phase as cofactors in neural injury induced by electrical stimulation. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v.37 n.10, p.996-1001, 1990.

MOLDRICH, R. X. *et al.* Glutamate metabotropic receptors as targets for drug therapy in epilepsy. **European Journal of Pharmacology**, v. 476, n.1-2, p. 3-16, 2003.

MOLIADZE, V.; ANTAL, A.; PAULUS, W. Electrode-distance dependent after-effects of transcranial direct and random noise stimulation with extracephalic reference electrodes. **Clinical Neurophysiology**, 121, 12, 2165-2171, 2010. v.121, n.12, p.2165-2171, 2010.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Catecholaminergic consolidation of motor cortical neuroplasticity in humans. **Cerebral Cortex**, v.14, n.11, p.1240-1245, 2004.

NITSCHKE, M. A. *et al.* MRI study of human brain exposed to weak direct current stimulation of the frontal cortex. **Clinical Neurophysiology**, v.115, n.10, p. 2419-2423, 2004.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. **Brain Stimulation**, v.1, n.3, p.206-223, 2008.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans. **Clinical Neurophysiology**, v.114, n.11, p.2220-2222, 2003a.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation--technical, safety and functional aspects. **Clinical Neurophysiology**, v.56, p.255-276, 2003b.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Level of action of cathodal DC polarisation induced inhibition of the human motor cortex. **Clinical Neurophysiology**, v.114, n.4, p.600-604, 2003c.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v.15, n.4, p. 619-626, 2003d.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Shaping the effects of transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. **Journal of Neurophysiology**, v.97, n.4, p.3109-3117, 2007.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. **Brain Stimulation**, v.1, n.3, p.206-223, 2008.

NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. **The Journal of Physiology**, v.527, n.3, p. 633-639, 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, 2001.

O MAGSTIM COMPANY LIMITED. **tDCS**. Whitland, 2013.

OKANO, A. H. *et al.* Estimulação cerebral na promoção da saúde e melhoria do desempenho físico. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v.27, n.2, p. 315-332, 2013.

OLDFIELD, R. C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, v.9, n.1, p.97-113, 1971.

PARENT, A. Giovanni Aldini: from animal electricity to human brain stimulation. **The Canadian Journal of Neurological Sciences**, v.31, n.4, p. 576-584, 2004.

PETRIE, B.F.; PETERS, M. Handedness: left/right differences in intensity of grasp response and duration of rattle holding in infants. **Infant Behavior and Development**, v.3, p.215-221, 1980.

PORAC, C.; COREN, S. **Lateral preferences and human behaviour**. New York: Springer- Verlag, 1981.

PORAC, C.; COREN, S.; SEARLEMAN, A. Environmental factors in hand preference formation: evidence from attempts to switch the preferred hand. **Behavior Genetics**, v.16, n.2, p. 251-261, 1986.

POREISZ, C. *et al.* Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients. **Brain Research Bulletin**, v.72, n.4, p.208-214, 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, n.4, p. 589-595, 2003.

PRIORI, A. *et al.* Polarization the human motor cortex through the scalp. **Neuroreport**, v.9, n.10, p. 2257- 2260, 1998.

PURVES, Dale. **Neuroscience**. Sunderland: Sinauer Associates, 2012.

RIOULT-PEDOTTI, M. S.; FRIEDMAN, D.; DONOGHUE, J. P. Learning-Induced LTP in Neocortex. **Science**, v.290, n.5491, p. 533-536, 2000.

ROSÁRIO, J. L. P. **Manual prático de facilitação neuromuscular proprioceptiva**. São Paulo: Baraúna, 2011. p.142.

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, 2000.

RUGGIERO, R. N.*et al.* Neurotransmissãoglutamatérgica e plasticidade sináptica: aspectos moleculares, clínicos e filogenéticos. **Medicina**, v.44, n.2, p. 143-156, 2011.

STAGG, C. J.; NITSCHKE, M. A. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. **The Neuroscientist**, v.17, n.1, p. 37-53, 2011.

TANAKA, S. *et al.* Enhancement of pinch force in the lower leg by anodal transcranial direct current stimulation. **Experimental Brain Research**, v.196, n.3, p.459-465, 2009.

TEIXEIRA, L. A. Assimetrias laterais de performance motora. In: TEIXEIRA, Luís Augusto (Ed.). **Avanços em comportamento motor**. São Paulo: Movimento, 2001. p.248-264.

TEIXEIRA, L. A. **Controle motor**. São Paulo: Manole, 2006.

TEIXEIRA, L. A.; PAROLI, R. Assimetrias Laterais em Ações Motoras: Preferência Versus Desempenho. **Motriz**, v.6, n.1, p.1-8, 2000.

UKUEBERUWA, D.; e WASSERMANN, E. M. Direct current brain polarization: a simple, noninvasive technique for human neuromodulation. **Neuromodulation**, v.13, n.3, p. 168-173, 2010.

UTZ, K. S. *et al.* Electrified minds: transcranial direct current stimulation (tDCS) and Galvanic Vestibular Stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology. a review of current data and future implications. **Neuropsychologia**, v.48, n.10, p. 2789-2810, 2010.

WISE, S. P. Motor cortex. In:_____. **Encyclopedia of Neuroscience**. Amsterdam: Elsevier, 1999.

ZAGO, S. *et al.* Bartholow, Sciamanna, Alberti: pioneers in the electrical stimulation of the exposed human cerebral cortex. **The Neuroscientist**, v.14, n.5, p. 521-528, 2008.

APÊNDICE A É Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Estudo: Modulação do controle motor por meio de estimulação transcraniana por corrente contínua: alterações nas assimetrias de desempenho manual.

Coordenador: Prof. Guilherme Menezes Lage_ Departamento de Educação Física da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

Gostaríamos de convidá-lo a participar de nosso estudo. O nosso objetivo é avaliar se o efeito da prática aleatória se assemelha ao efeito da estimulação transcraniana por corrente contínua aliada a prática na aprendizagem motora. A técnica de estimulação é denominada de Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. Essa técnica é barata, indolor, segura e de fácil administração, tendo como princípio básico a aplicação de fraca corrente elétrica por meio do posicionamento de dois eletrodos sobre a cabeça (no couro cabeludo). Assim, este estudo pretende demonstrar que essa técnica de estimulação se assemelha a prática aleatória.

Procedimentos: Os testes serão realizados no Centro de Imagem Molecular (CeMol) da Faculdade de Medicina da UFMG. Você receberá a estimulação transcraniana por corrente contínua por meio de dois eletrodos que serão posicionados em pontos específicos de sua cabeça. Por ser uma corrente muito baixa (1 miliampère) depois de 30 segundos aproximadamente você não percebe mais a estimulação. Imediatamente após o fim da estimulação você realizará uma tarefa motora, caracterizado pelo desenho de uma trajetória em uma mesa digitalizadora. Após 24 horas você será testado novamente na mesma tarefa. Os horários para a sua participação serão estabelecidos de acordo com sua disponibilidade. O tempo previsto para realização dos procedimentos é de 60 minutos em cada um dos dois encontros.

Riscos e desconfortos: A sua participação no estudo oferece riscos mínimos à sua saúde. Pode ocorrer um pequeno formigamento nos 30 segundos iniciais quando a estimulação transcraniana for iniciada. Após esse período essa sensação desaparece. Há mínimo risco de algum desconforto muscular com a execução das tarefas motoras, tendo em vista que elas são similares a várias atividades manuais que você realiza diariamente. Qualquer desconforto deve ser relatado ao experimentador que o avaliará e encaminhará ao serviço fisioterápico ou médico.

Benefícios esperados: Confidencialidade: Para garantir a confidencialidade da informação obtida, seu nome não será utilizado em qualquer publicação ou material relacionado ao estudo. Não há benefício direto para você. Porém, os benefícios indiretos serão decorrentes da melhor compreensão da aprendizagem motora. Dessa forma, os resultados desse estudo irão contribuir para o avanço do conhecimento na área de Educação Física, Fisioterapia, terapia Ocupacional e

Comportamento Motor, assim como para a prática do profissional que atua com o treinamento e a reabilitação de habilidades motoras.

Recusa ou desistência da participação: Sua participação é inteiramente voluntária e você está livre para recusar participar ou desistir do estudo em qualquer momento sem que isso possa lhe acarretar qualquer prejuízo.

Gastos: Não haverá ressarcimento de nenhum tipo de gasto.

Você pode solicitar mais informações ao longo do estudo com o pesquisador responsável pelo projeto (Guilherme Lage), por meio do telefone 8884-0411. Após a leitura completa deste documento, caso concorde em participar do estudo, você deverá assinar o termo de consentimento abaixo e rubricar todas as folhas desse termo.

TERMO DE CONSENTIMENTO

Eu li e entendi toda a informação acima. Todas as minhas dúvidas foram satisfatoriamente respondidas e eu concordo em ser um voluntário do estudo.

Assinatura do Voluntário

Data

Guilherme Menezes Lage

Data

COEP É Comitê de Ética em Pesquisa/UFMG

Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 . Unidade Administrativa II . 2º. Andar . Sala 2005 .
Cep 31270-901- Belo Horizonte . MG / Telefax: (31) 3409-4592

Email: coep@prpq.ufmg.br.

ANEXO A **É** Inventário de Dominância Lateral de Edimurgo

Inventário de Dominância de Lateralidade de Edimurgo

Sujeito: _____

Idade: _____

Por favor, indique com um check (✓) a sua preferência em usar a mão esquerda ou direita nas seguintes tarefas.

Onde a preferência é tão forte que você nunca usaria a outra mão, a menos que seja obrigado, coloque dois checks (✓ ✓).

Se você utiliza as duas mãos, coloque uma verificação em cada coluna (✓/✓).

Algumas das atividades exigem duas mãos. Nestes casos, aparte da tarefa ou objeto para o qual a preferência da mão é desejada está indicado entre parênteses.

Tarefa/Objeto		Mão Esquerda	Mão Direita
1	Escrever		
2	Desenhar		
3	Arremessar		
4	Uso de tesouras		
5	Escovar os dentes		
6	Uso de faca (sem garfo)		
7	Uso de colher		
8	Uso de vassoura (mão superior)		
9	Acender um fósforo (mão do fósforo)		
10	Abriu uma caixa (mão da tampa)		
Total de Checks:		ME:	MD:

Acumulado Total	AT= ME+MD=
Diferença	D= MD-ME=
Resultado	R= (D/AT) x 100=
Interpretação: Canhoto: R < -40 Ambidestro: -40 < R < +40 Destro: R > +40	

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113. Adaptado.