



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANDERSON NASCIMENTO GUIMARÃES

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR
CORRENTE CONTÍNUA E DA DEMANDA DA TAREFA NA
APRENDIZAGEM E NO CONTROLE MOTOR**

Londrina
2023

ANDERSON NASCIMENTO GUIMARÃES

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR
CORRENTE CONTÍNUA E DA DEMANDA DA TAREFA NA
APRENDIZAGEM E NO CONTROLE MOTOR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Victor H. A. Okazaki.

Londrina
2023

G963e Guimarães, Anderson Nascimento.

Efeito da estimulação transcraniana por corrente contínua e da demanda da tarefa na aprendizagem e no controle motor / Anderson Nascimento Guimarães. - Londrina, 2023.

119 f. : il.

Orientador: Victor Hugo Alves Okazaki.

Tese (Doutorado em Educação Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Educação Física e Esportes, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Estimulação transcraniana por corrente contínua - Tese. 2. Aprendizagem Motora - Tese. 3. Controle Motor - Tese. 4. Demanda cognitiva - Tese. I. Okazaki, Victor Hugo Alves. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Educação Física e Esportes. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

CDU 796

ANDERSON NASCIMENTO GUIMARÃES

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR
CORRENTE CONTÍNUA E DA DEMANDA DA TAREFA NA
APRENDIZAGEM E NO CONTROLE MOTOR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Educação Física

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Victor H. A. Okazaki
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Prof. Dr. Luís Augusto Teixeira
Universidade de São Paulo – USP

Prof. Dr. Leandro Ricardo Altimari
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Londrina, 27 de fevereiro de 2023.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que fez e faz em minha vida, mesmo eu não sendo merecedor de tamanha graça.

À minha esposa, Rejane Cristina de Lima Guimarães, pelo seu amor, amizade, companheirismo e compreensão ao longo de toda nossa vida como casal e, principalmente, ao longo do período de mestrado e doutorado. Sua ajuda foi fundamental para que eu pudesse me dedicar e chegar ao final de todo esse processo. Vários foram os momentos de correria deste processo em que o meu tempo de dedicação para você e para as crianças precisou ser diminuído e você, na maioria, das vezes entendeu e foi compreensiva. Isso me tranquilizava e me dava forças para continuar. Muito obrigado por toda sua compreensão. Te amo!

Aos meus filhos, Enzo, Manuela e Alice de Lima Guimarães, por todo carinho, amor e compreensão. Mesmo sem saber o que estava acontecendo, vocês também foram muito importantes ao longo deste processo. Em todos os momentos de dificuldade deste processo, o rostinho de vocês vinha em minha mente e isso me dava forças para continuar. Em cada momento que eu tinha que dizer “agora papai não pode” ou “hoje não dá”, meu coração sangrava. Como os momentos de dificuldades servem para nos fortalecer e nos fazer discernir sobre as coisas de maior valor em nossas vidas, agradeço a Deus por tudo o que passamos ao longo deste processo. Vocês e a mamãe são o que tenho de maior valor nesta vida. Amo vocês!

Aos meus pais, Luiz Gonzaga Guimarães e Iraci Nascimento, por todo o esforço que fizeram para me criar, educar e me amar. Sou eternamente grato por todos os ensinamentos, todos os valores transmitidos e por todos os exemplos que vocês me deram sobre ser uma pessoa do bem, de caráter íntegro, solidário, dedicado, perseverante e humilde. Espero conseguir transmitir todo esse legado de vocês aos meus filhos e netos. Amo muito vocês!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Victor Hugo Alves Okazaki pela oportunidade dada, por todos os ensinamentos, por toda paciência, por todas as horas que você também deixou de estar com sua família para poder fazer reuniões, corrigir textos, responder e-mails e mensagens. Saiba que ao longo de todos esses anos trabalhando junto, você não se tornou apenas um exemplo de professor, orientador e pesquisador para mim, mas se tornou também um exemplo de homem correto, de marido e de pai. Sou grato a Deus pela sua vida e desejo tudo de melhor para você e toda a sua família. Muito obrigado, meu professor, meu amigo!

Aos meus amigos do grupo de estudo em Neurociências Motoras (NEMO), por todos esses anos juntos e por toda colaboração de vocês ao longo deste processo. Obrigado pela ajuda com os trabalhos, com pilotos, com as coletas e com as conversas para discutir sobre os assuntos deste e de outros trabalhos. Obrigado, especialmente a Alessandra Beggiato Porto, responsável por me inspirar a entrar no mestrado, por me apresentar o Prof. Dr. Victor Hugo Alves Okazaki, por me ajudar ao longo do mestrado e do doutorado e por me indicar ao local onde trabalhamos juntos há alguns anos. Muito obrigado por tudo e, principalmente, pela sua confiança e amizade!

Aos membros da banca, Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch, Prof. Dr. Luís Augusto Teixeira, Prof. Dr. Leandro Ricardo Altimari e Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage, pelo aceite ao convite, pelo tempo de vocês para responder aos e-mails, para ler o texto da tese, para fazer suas considerações sobre o texto e para discutirmos sobre a tese. Muito obrigado pelo respeito e pela oportunidade de aprender com todos vocês.

GUIMARÃES, Anderson Nascimento. **Efeito da estimulação transcraniana por corrente contínua e da demanda da tarefa na aprendizagem e no controle motor.** 2023. 119 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Educação Física) – Centro de Educação Física e Esportes, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

RESUMO

Os objetivos da presente tese foram: sistematizar o conhecimento da literatura sobre os efeitos da ETCC na aprendizagem motora e analisar o efeito da ETCC na aprendizagem e no controle de habilidades com diferentes demandas cognitivas reguladas via *feedback online*. Um estudo de revisão sistemática foi realizado com artigos recuperados em 10 bases de dados e publicados até o ano de 2021. O efeito da ETCC demonstrou ser dependente das características da tarefa motora e das especificações de montagem da ETCC (natureza da estimulação, local da estimulação e tempo/sessão de estimulação). O córtex motor primário (M1) e o cerebelo (CC) são as estruturas que mais apresentam efeito na aprendizagem motora. Como o M1 e o cerebelo exercem funções motoras relacionadas com a execução de tarefas motoras com menor ou maior demanda cognitiva, um estudo experimental foi realizado. A ETCC anódica foi aplicada em três grupos (M1, CC e sham), durante a prática de tarefas de desenhar um quadrado com a mão esquerda, com diferentes demandas cognitivas (experimento I: tarefa com menor demanda cognitiva; experimento II: tarefa com maior demanda cognitiva). Nos dois experimentos, os três grupos melhoram seus desempenhos após a prática, reduzindo o tempo de movimento e o tempo em erro, bem como a quantidade de submovimentos e picos de velocidade, e mantiveram este desempenho nos testes de retenção. Todavia, os desempenhos dos grupos M1 e CC não foram superiores em nenhum momento comparado ao grupo sham, demonstrando que a ETCC anódica no M1 e no cerebelo não proporcionou efeitos positivos na aprendizagem motora ou no controle motor das tarefas de desenho com diferentes demandas cognitivas. Isso pode ter ocorrido devido à variabilidade intra e interindividual dos participantes à estimulação cerebral. Em suma, além de o efeito da ETCC ser dependente da interação entre as especificações de montagem da ETCC e as características da tarefa motora, bem como da quantidade suficiente de prática motora, o efeito da ETCC na aprendizagem motora e, possivelmente, no controle motor, parece também depender da sensibilidade intra e interindividual dos participantes à estimulação cerebral. O efeito do processo natural de prática motora parece ser suficiente para que as adaptações necessárias ao estabelecimento da aprendizagem motora e das melhorias no controle motor em pessoas pouco sensíveis à estimulação cerebral ocorra.

Palavras-chave: estimulação cerebral; estimulação transcraniana; ETCC; aprendizagem motora; controle motor.

GUIMARÃES, Anderson Nascimento. **Effect of transcranial direct current stimulation and task demand on learning and motor control**. 2023. 119 p. Thesis (Postgraduate Program in Physical Education) – Center for Physical Education and Sports, State University of Londrina, Londrina, 2023.

ABSTRACT

The objectives of this thesis were: to systematize the knowledge of the literature on the effects of tDCS on motor learning and to analyze the effect of tDCS on the learning and control of skills with different cognitive demands regulated via online feedback. A systematic review study was carried out with articles retrieved from 10 databases and published until the year 2021. The effect of tDCS proved to be dependent on the characteristics of the motor task and the tDCS assembly specifications (nature of stimulation, site of stimulation, and stimulation time/session). The primary motor cortex (M1) and the cerebellum (CC) are the structures that most affect motor learning. As the M1 and the cerebellum exert motor functions related to the execution of motor tasks with lesser or greater cognitive demand, an experimental study was carried out. Anodic tDCS was applied in three groups (M1, CC, and sham), during the practice of tasks of drawing a square with the left hand, with different cognitive demands (experiment I: task with lower cognitive demand; experiment II: task with greater cognitive demand). In both experiments, the three groups improved their performance after practice, reducing movement time and error time, as well as the number of sub-movements and speed peaks, and maintained this performance in retention tests. However, the performances of the M1 and CC groups were not superior at any moment compared to the sham group, demonstrating that anodal tDCS in the M1 and cerebellum did not provide positive effects on motor learning or on the motor control of drawing tasks with different cognitive demands. This may have occurred due to the intra and inter-individual variability of participants to brain stimulation. In summary, in addition to the tDCS effect being dependent on the interaction between tDCS assembly specifications and motor task characteristics, as well as sufficient motor practice, the tDCS effect on motor learning and possibly motor control, also seems to depend on the participants' intra and inter-individual sensitivity to brain stimulation. The effect of the natural process of motor practice seems to be sufficient for the necessary adaptations to establish motor learning and improvements in motor control in people who are not sensitive to brain stimulation to occur.

Keywords: brain stimulation; transcranial stimulation; tDCS; motor learning; motor control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1 – Fluxograma do processo de seleção dos estudos desta revisão	29
Figura 2.1.2 – Gráfico do risco de viés dos estudos inclusos nesta revisão (n= 31)	30
Figura 2.1.3 – Interação entre as características da tarefa motora e as especificações de montagem da ETCC	54
Figura 3.1.1 – Cálculo amostral a priori para a ANOVA com medidas repetidas	64
Figura 3.1.2 – Instrumentos e equipamentos utilizados para a ETCC	66
Figura 3.1.3 – Posicionamento dos eletrodos na ETCC anódica e sham	67
Figura 3.1.4 – Participante realizando a tarefa de desenho geométrico	68
Figura 3.1.5 – Ilustrações dos picos de velocidade e dos submovimentos.....	71
Figura 3.1.6 – Delineamento do Experimento 1	74
Figura 3.1.7 – Delineamento do Experimento 2	75
Figura 3.1.8 – Curva de desempenho no experimento 1	77
Figura 3.1.9 – Curva de desempenho no experimento 2	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.1 – Características dos estudos inclusos	37
Tabela 3.1.1 – Comparação entre as medianas (Q1-Q3) das variáveis de aprendizagem motora do experimento 1	78
Tabela 3.1.2 – Comparação entre as medianas (Q1-Q3) das variáveis de aprendizagem motora dos grupos com os melhores e os piores desempenhos do experimento 1.....	79
Tabela 3.1.3 – Médias (DP) das variáveis de controle motor do experimento 1	80
Tabela 3.1.4 – Comparação entre as medianas (Q1-Q3) das variáveis de aprendizagem motora do experimento 2	83
Tabela 3.1.5 – Comparação entre as medianas (Q1-Q3) das variáveis de aprendizagem motora dos grupos com os melhores e os piores desempenhos do experimento 2.....	84
Tabela 3.1.6 – Médias (DP) das variáveis de controle motor do experimento 2.....	85

LISTA DE QUADROS

- Quadro 3.1.1** – Frequência absoluta de respostas dos participantes no questionário de efeitos adversos da ETCC (n=12) participantes por grupo) do experimento 1 76
- Quadro 3.1.2** – Frequência absoluta de respostas dos participantes no questionário de efeitos adversos da ETCC (n=10) participantes por grupo) do experimento 2 81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETCC	Estimulação transcraniana por corrente contínua
PLP	Potenciação de longo prazo
NMDA	N-metil D-aspartato
GABA	Ácido gama-aminobutírico
Ca ²⁺	Íon cálcio
TTRS	Tarefa de tempo de reação serial
PPT	<i>Purdue pegboard test</i>
M1	Córtex motor primário
CC	Córtex cerebelar
EET	Estimulação elétrica transcraniana
SVFI	Tarefa sequencial visomotora de força isométrica
SPTD	Tarefa com sequência predeterminada de toques de dedos
CPDL	Córtex pré-frontal dorsolateral
TBMEC	Tarefa bimanual de empilhar copos
HD	<i>High Definition</i>
MIC	Tarefa de manipulação de instrumentos cirúrgicos
CEFE	Centro de Educação Física e Esporte
UEL	Universidade Estadual de Londrina
CEP	Comitê de ética em pesquisa
TM	Tempo de movimento
TM	Tempo em erro
TMP	Tempo de movimento com penalidade
nPico	Número de picos de velocidade
Sub_x	Submovimentos no eixo x da aceleração do cursor da caneta
Sub_y	Submovimentos no eixo y da aceleração do cursor da caneta
DP	Desvio padrão
Q1-Q3	Primeiro e terceiro quartis
ETM	Estimulação transcraniana magnética

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	13
2	ESTUDO 1	19
2.1	REVISÃO SISTEMÁTICA.....	19
2.1.1	Introdução.....	20
2.1.2	Método.....	24
2.1.3	Resultados	28
2.1.4	Discussão.....	47
2.1.5	Conclusão	57
3	ESTUDO 2	58
3.1	ESTUDO EXPERIMENTAL	58
3.1.1	Introdução.....	59
3.1.2	Método.....	63
3.1.3	Resultados	75
3.1.4	Discussão.....	85
3.1.5	Conclusão	92
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	REFERÊNCIAS	94
	APÊNDICES	104
	APÊNDICE A – Artigo publicado (Revisão Sistemática)	104
	APÊNDICE B – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	105
	APÊNDICE C – Questionário adaptado sobre sensações e efeitos adversos à ETCC	108
	ANEXOS	111
	ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa.	111
	ANEXO B – Questionário sobre sensações e efeitos adversos à ETCC.	118

1 INTRODUÇÃO GERAL

A estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) é uma técnica não invasiva, segura e tolerável de estimulação cerebral por meio de correntes elétricas de baixa intensidade que são mantidas a uma determinada frequência durante o período de estimulação (FERTONANI; MINIUSI, 2017; ZAGHI et al., 2010). Na ETCC são utilizados, basicamente, um aparelho estimulador, um eletrodo ânodo (alvo da estimulação), posicionado no couro cabeludo, normalmente nas regiões do córtex motor primário (M1) ou do córtex cerebelar nos estudos de aprendizagem motora, e um eletrodo cátodo (retorno da corrente elétrica), normalmente posicionado na região supra orbital, no músculo bucinador ou no ombro (BIKSON et al., 2019; JACKSON et al., 2019; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013). A ETCC provoca efeitos neurofisiológicos que alteram o potencial de repouso da membrana dos neurônios, o limiar de resposta neuronal, a excitabilidade cortical e a eficiência das conexões sinápticas durante e após vários minutos de estimulação (NITSCHKE et al., 2003; WOODS et al., 2016; FERTONANI; MINIUSI, 2017; STAGG; ANTAL; NITSCHKE, 2018).

Conforme a especificação de montagem dos eletrodos, a ETCC pode ser anódica (eletrodo alvo posicionado na região cerebral a ser estimulada), despolarizando a membrana neuronal e aumentando a excitabilidade cortical, ou pode ser catódica (montagem invertida com o eletrodo retorno posicionado na região cerebral a ser suprimida), hiperpolarizando a membrana neuronal e reduzindo a excitabilidade cortical (BIKSON et al., 2019; FREGNI; BOGGIO; BRUNONI, 2012; WOODS et al., 2016). Segundo Bikson et al. (2019), a montagem dos eletrodos para a estimulação cerebral com a ETCC pode ser do tipo unihemisférica ou bihemisférica. Enquanto na ETCC unihemisférica o eletrodo ânodo é posicionado em um dos hemisférios cerebrais e o eletrodo cátodo é posicionado em uma região extracefálica (estimulação cerebral unilateral), na ETCC bihemisférica pode ser colocado um eletrodo ânodo e um cátodo em cada hemisfério cerebral (caracterizando estimulação cerebral unilateral) ou, com a utilização de dois aparelhos estimuladores, podem ser colocados dois eletrodos ânodo no hemisfério cerebral (um em cada hemisfério) e dois eletrodos cátodo em regiões extracefálicas (caracterizando estimulação cerebral bilateral). Tanto na montagem para a ETCC unihemisférica quanto para a ETCC bihemisférica (uni ou bilateral) os efeitos desta técnica de estimulação cerebral têm sido evidenciados (GUIMARÃES et al., 2023).

Os efeitos da ETCC podem ser divididos em efeitos de neuromodulação, que ocorrem durante a aplicação da estimulação cerebral, e efeitos de neuroplasticidade, os quais acontecem após término de aplicação da estimulação cerebral (FERTONANI; MINIUSSI, 2017; STAGG; NITSCHKE, 2011). Segundo Stagg e Nitsche (2011), durante a aplicação da ETCC, modulações no estado de repouso da membrana dos neurônios ocorrem, aumentando ou reduzindo a excitabilidade da membrana em função da polaridade de aplicação da ETCC (anódica: polaridade positiva; catódica: polaridade negativa), mas sem provocar disparo neuronal e início da comunicação sináptica. Após a aplicação da ETCC, os efeitos duradouros de neuroplasticidade parecem ocorrer semelhantemente à potenciação de longo prazo (PLP), um tipo de neuroplasticidade que facilita a transmissão de sinais entre os neurônios pré e pós-sinápticos e que tem sido associada aos processos de memorização e de aprendizagem (ANTAL et al., 2007; RIOULT-PEDOTTI; FRIEDMAN; DONOGHUE, 2000). No efeito tardio da estimulação, a aplicação da ETCC resulta em potencialização da atividade dos receptores pós-sinápticos glutamatérgicos do tipo N-metil D-aspartato (NMDA), enquanto a atividade dos receptores pós-sinápticos do ácido gama-aminobutírico (GABA) é reduzida. Este contraste de atividades entre os receptores pós-sinápticos contribui para o aumento da entrada e da concentração de íon cálcio (Ca^{2+}) no neurônio pós-sináptico, gerando um ambiente favorável para a PLP (NITSCHKE et al., 2003a, 2004; STAGG; ANTAL; NITSCHKE, 2018). Assim, os efeitos neurofisiológicos da ETCC têm aumentado o interesse de pesquisadores das áreas da Neurociência e, também, do Comportamento, os quais têm investigado a ETCC no processo de aprendizagem motora.

O processo de aprendizagem motora pode ser compreendido como mudanças internas refletidas nas melhorias, relativamente, permanentes de desempenho em uma habilidade motora, devido às experiências de prática (MAGILL, 1998; SCHMIDT; WRISBERG, 2008). Assim, as melhorias observáveis de desempenho em uma habilidade motora são importantes para a avaliação da aprendizagem. Segundo Magill (1998), o desempenho apresenta características que refletem o processo e o estabelecimento da aprendizagem motora, como o aperfeiçoamento (o desempenho é melhor em determinado momento do processo, comparado ao início), a consistência (desempenhos semelhantes entre as tentativas), a persistência (melhorias de desempenho verificadas após períodos sem prática) e adaptabilidade (melhorias de desempenho que se adaptam às alterações no indivíduo, na tarefa motora e/ou no ambiente de execução da tarefa). As características

persistência e adaptabilidade possibilitam identificar os desempenhos, relativamente, permanentes da aprendizagem motora, e sugerir que realmente tenham acontecido mudanças internas no aprendiz.

As alterações moleculares nas estruturas cerebrais estão entre as mudanças internas ocorridas no aprendiz ao longo do processo de aprendizagem motora. Estudos de neuroimagem funcional revelam quais as áreas cerebrais são associadas à aprendizagem motora, as quais subentende-se que as alterações neurais ocorram (DOYON et al., 2009; DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003; HARDWICK et al., 2013). Hardwick et al. (2013), realizaram uma revisão sistemática com metanálise sobre estudos com tarefas sensório-motoras (característica de elevadas demandas motoras) e tarefas de tempo de reação serial (característica de reduzidas demandas motoras). Nas tarefas sensório-motoras, os autores verificaram ativações consistentes no córtex pré-motor dorsal esquerdo, M1 bilateral, putâmen bilateral e em múltiplas áreas do cerebelo. Nas tarefas de tempo de reação serial (TTRS), as ativações consistentes ocorreram no córtex pré-motor dorsal bilateral, área motora suplementar, M1 esquerdo, lóbulo parietal superior esquerdo, tálamo esquerdo e cerebelo direito. As alterações neurais que acontecem nestas estruturas cerebrais durante o processo de aprendizagem motora são, de forma geral, semelhantes às alterações proporcionadas pela ETCC. Assim, os estímulos gerados no próprio processo de aprendizagem motora provocam alterações que envolvem, potencialização dos receptores glutamatérgicos NMDA, maior influxo de Ca^{2+} nos neurônios, maior sincronismo entre os neurônios pré e pós-sináptico, e aumento da transmissão sináptica, caracterizando a neuroplasticidade (APOLINÁRIO-SOUZA et al., 2020; CLASSEN et al., 1998; KAMI et al., 1995; KLEIM et al., 1996; TABONE; RAMASWAMI, 2012; WHITLOCK et al., 2006). Dessa forma, o efeito da ETCC para potencializar as alterações moleculares que favorecem a aprendizagem motora tem sido investigado em tarefas com diferentes características e demandas.

Tarefas visomotoras de controle da força isométrica (REIS et al., 2009; CANTARERO et al., 2015; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019), de sequência de toque de dedos (SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; WATERS-METENIER et al., 2014; APOLINÁRIO-SOUZA et al., 2016), de destreza manual no Purdue Pegboard Test (PPT) (CIECHANSKI; KIRTON, 2016; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a; COLE et al., 2018a, 2018b), de lançamentos de objetos (MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; JACKSON et al., 2019), de

manipulação de instrumentos cirúrgicos (CIECHANSKI et al., 2017, 2018) e de TTRS para pressionar uma sequência de teclas (KANG; PAIK, 2011; KANTAK; MUMMIDISSETTY; STINEAR, 2012; NITSCHKE et al., 2003b) são algumas das tarefas exploradas para verificar o efeito da ETCC na aprendizagem motora. Os estudos supracitados têm apresentado resultados divergentes em relação ao efeito da ETCC na aprendizagem motora e algumas destas divergências sugerem que o efeito desta técnica seja dependente das características da tarefa motora (MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013) e/ou das diferentes especificações de montagem e aplicação da ETCC utilizada nos estudos, como a estimulação uni ou bi hemisférica, o local de posicionamento dos eletrodos alvo e o tamanho dos eletrodos alvo (PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a; VANCLEEF et al., 2016). Dessa forma, estudos que sistematizem e analisem o conhecimento sobre o efeito da ETCC na aprendizagem motora são necessários para verificar se este efeito é tarefa-dependente e/ou dependente das especificações de montagem da ETCC. As informações a respeito de alterações no controle motor durante a aprendizagem é outro ponto de carência na literatura da ETCC.

Dentre os estudos, Waters-Meternier et al. (2014) analisaram o efeito da ETCC anódica na aprendizagem de sinergias musculares em tarefas de sequência predeterminada de toques de dedos (p.ex. teclas de piano) e de configuração de toques simultâneos de dedos (p.ex. duas ou três teclas pressionadas) e verificaram aprendizagem (em teste de retenção) de novas sinergias musculares que proporcionaram movimentos mais rápidos e mais sincronizados dos dedos. Cole et al. (2018a) utilizaram um protocolo de avaliação robótica KINARM para mensurar componentes sensório-motores antes, após cinco dias de aprendizagem e após seis semanas sem prática da tarefa PPT. Os autores verificaram reduções no tempo de movimento e na quantidade de picos de velocidade durante execução da tarefa de alcance visualmente guiado do KINARM e sugeriram que após a aprendizagem da tarefa PPT com a ETCC os participantes realizaram movimentos mais rápidos no KINARM devido às reduções de correções no movimento. Todavia, estes componentes sensório-motores relacionados ao uso do *feedback online* para a correção de movimentos não foram analisados na tarefa PPT aprendida com a ETCC. Assim, não é possível afirmar que a ETCC potencializou o controle via *feedback online* e reduziu a quantidade de correções nos movimentos executados na tarefa PPT.

Os ajustes no controle de movimentos por meio do *feedback online* são, também, relacionados às reduções na quantidade de submovimentos durante a realização da tarefa motora (MEYER et al., 1988; ELLIOTT et al., 2004; PEREIRA; MARQUES; OKAZAKI, 2014). Segundo o modelo estocástico de submovimentos otimizados de Meyer et al. (1988), para a realização de uma habilidade motora, um submovimento primário é programado para iniciar o movimento e, caso os parâmetros de amplitude ou velocidade de movimento não tenham sido programados eficientemente para alcançar a meta da tarefa, submovimentos secundários são gerados via controle por *feedback online* para ajustes durante o movimento. Assim, durante a aprendizagem ou reaprendizagem de uma tarefa motora, maiores tempos de execução da tarefa estariam relacionados com elevadas quantidades de submovimentos e menores tempos de execução estariam relacionados com menores quantidades de submovimentos (DIPIETRO et al., 2007, 2012; ELLIOTT; BINSTED; HEATH, 1999; KHAN; FRANKS; GOODMAN, 1998). Apesar de os submovimentos refletirem melhorias no controle de movimentos e de estarem relacionados com as melhorias de desempenho ao longo do processo de aprendizagem motora, nenhum estudo analisou o efeito da ETCC nos ajustes de controle motor via *feedback online*, antes e após aprendizagem de nova habilidade motora.

Com base no exposto acima, os objetivos desta tese foram (a) sistematizar o conhecimento da literatura sobre os efeitos da ETCC na aprendizagem motora e (b) analisar o efeito da ETCC na aprendizagem e no controle de habilidades com diferentes demandas cognitivas reguladas via *feedback online*. Com base em estudos prévios sobre a ETCC na aprendizagem motora (COLE et al., 2018a; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; VANCLEEF et al., 2016; WATERS-METENIER et al., 2014), as hipóteses desta tese são: (H₁) que o efeito da ETCC na aprendizagem motora é dependente da interação entre características da tarefa motora e especificações de montagem para aplicação da ETCC; e que (H₂) o efeito da ETCC é verificado na aprendizagem motora, refletindo tanto melhorias de desempenho (reduções no tempo de movimento) quanto melhorias nos mecanismos de controle de movimentos via *feedback online* (reduções nos submovimentos). Compreender os aspectos que influenciam o efeito da ETCC na aprendizagem motora, bem como compreender o efeito da ETCC no controle de movimentos, pode auxiliar pesquisadores na seleção de delineamentos e procedimentos experimentais mais específicos, seguros e eficazes para futuros estudos

sobre a ETCC na aprendizagem motora. Pode, ainda, auxiliar instrutores e terapeutas na potencialização do ensino e da reabilitação de habilidades motoras utilizadas no dia a dia, bem como em contextos esportivos e laborais.

A presente tese está dividida em: introdução geral; estudo 1; estudo 2 e considerações finais. O capítulo “estudo 1” é uma revisão sistemática (publicada em 2023) e o “estudo 2” é um estudo experimental. Cada estudo está organizado em: introdução, método, resultados, discussão e conclusão.

2 ESTUDO 1

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA¹

Aprendizagem motora e ETCC: uma revisão sistemática sobre o efeito da estimulação ser dependente das características da tarefa motora ou das especificações de montagem da ETCC

RESUMO

A ETCC é um dos métodos mais utilizados entre os estudos com estimulação elétrica transcraniana e aprendizagem de habilidades motoras. As diferenças entre os resultados dos estudos sugerem que o efeito da ETCC na aprendizagem motora é dependente da tarefa executada ou da especificação de montagem da ETCC usada no processo de aprendizagem. O objetivo desta revisão sistemática foi analisar o efeito da ETCC na aprendizagem motora e verificar se este efeito é dependente da tarefa ou das especificações de montagem utilizadas na aplicação da ETCC. Buscas sistematizadas foram realizadas até julho de 2021 nas bases de dados PubMed, SciELO, LILACS, Web of Science, CINAHL, Scopus, SPORTDiscus, Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), Embase e PsycINFO. Foram inclusos artigos que analisaram o efeito da ETCC na aprendizagem motora por meio de testes pré-prática, pós-prática, retenção e/ou transferência (período \geq 24 horas). A ETCC foi aplicada com mais frequência no córtex motor primário (M1) ou no córtex cerebelar (CC) e a maioria dos estudos evidenciou efeitos significativos da estimulação. Estudos que analisaram tarefas motoras idênticas ou semelhantes apresentam resultados divergentes para o efeito da ETCC, mesmo quando as especificações de montagem são as mesmas. Baseado nos estudos inclusos, a ETCC anódica no M1 e no CC potencializa a aprendizagem motora e o efeito da ETCC não é dependente das características da tarefa motora ou das montagens da ETCC, isoladamente, mas da interação entre estes fatores. Essa interação ocorre (1) entre tarefas uni e bimanuais com estimulações uni e bihemisféricas anódicas (bilateral) no M1 ou unihemisféricas anódicas (unilateral e centralmente) no CC, e (2) entre tarefas de maior ou menor grau de dificuldade com sessões únicas ou múltiplas de ETCC. A variável tempo de movimento parece ser mais sensível, comparado à variável erros, para indicar os efeitos da ETCC na aprendizagem motora.

Palavras-chave: *Estimulação transcraniana por corrente contínua, estimulação cerebral, aprendizagem de habilidades motoras, retenção de aprendizagem, quantidade de prática.*

¹ GUIMARÃES, A. N.; PORTO, A. B.; MARCORI, A. J.; LAGE, G. M; ALTIMARI, L. R.; OKAZAKI, V. H. A. Motor learning and tDCS: A systematic review on the dependency of the stimulation effect on motor task characteristics or tDCS assembly specifications. **Neuropsychologia**, v. 179, p. 108463, 28 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108463> (APÊNDICE A)

2.1.1 INTRODUÇÃO

O movimento está presente ao longo do desenvolvimento humano (HAYWOOD; GETCHELL, 2009). Sua execução habilidosa é fundamental para a realização de tarefas diárias simples, tarefas culturais e esportivas de maior complexidade, bem como tarefas laborais de diversas profissões (WULF; LEWTHWAITE, 2016; WULF; SHEA; LEWTHWAITE, 2010). A forma como aprendemos as habilidades motoras e quais seus fatores intervenientes são questionamentos investigados pela área da aprendizagem motora (ADAMS, 1987; MAGILL; HALL, 1990; NEWELL, 1991; WULF; SHEA; LEWTHWAITE, 2010). Diversos fatores influenciam a aprendizagem motora, tal como: quantidade de tentativas e sessões práticas da tarefa (BRAGANHOLO et al., 2013), foco de atenção (MARCHANT; CLOUGH; CRAWSHAW, 2007; WULF; SU, 2007), feedback (PORTE et al., 2007; SALMONI; SCHMIDT; WALTER, 1984) e interferência contextual (BRAGANHOLO et al., 2013; MORETTO; MARCORI; OKAZAKI, 2018; SHEA; MORGAN, 1979). Outro fator que tem ganhado atenção na tentativa de facilitar a aprendizagem motora é o uso da estimulação elétrica transcraniana (BUCH et al., 2017; CELNIK, 2015; GRIMALDI et al., 2014; REIS; FRITSCH, 2011).

A estimulação elétrica transcraniana (EET) visa alterar a função cerebral de forma não invasiva, aplicando diferentes tipos de corrente aos eletrodos no couro cabeludo (BIKSON et al., 2019; FERTONANI; MINIUSSI, 2017; WOODS et al., 2016; ZAGHI et al., 2010) e a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) tem sido um dos métodos de EET mais utilizados entre os estudos de aprendizagem motora (BUCH et al., 2017). Este método utiliza dois ou mais eletrodos para o fornecimento de correntes de baixa intensidade (entre 1 mA e 2 mA) sobre o couro cabeludo, com uma duração que pode variar entre 10 a 20 min para facilitar ou inibir a atividade neuronal espontânea (MORYA et al., 2019), ou seja, induzir a despolarização (aumento da excitabilidade por estimulação anódica) ou a hiperpolarização (diminuição da excitabilidade por estimulação catódica) da membrana dos neurônios, modificando o limiar de resposta e a eficiência sináptica (FERTONANI; MINIUSSI, 2017; NITSCHKE et al., 2003; WOODS et al., 2016). Melhorias nas conexões sinápticas têm se mostrado fundamentais para o aprendizado de habilidades motoras e a potenciação de longo prazo (PLP) é identificada como provável explicação fisiológica para as melhorias na aprendizagem motora provocada pela ETCC somada à prática de habilidades motoras (ANTAL et al., 2007; RIOULT-PEDOTTI; FRIEDMAN; DONOGHUE, 2000). Assim, diversos estudos têm

buscado investigar, direta ou indiretamente, os possíveis efeitos positivos da ETCC na aprendizagem de diferentes tarefas motoras.

Tarefas visomotoras de controle da força isométrica (CANTARERO et al., 2015; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; REIS et al., 2009), de sequência de toque de dedos (APOLINÁRIO-SOUZA et al., 2016; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; WATERS-METENIER et al., 2014), de destreza manual no Purdue Pegboard Test (PPT) (CIECHANSKI; KIRTON, 2016; COLE et al., 2018a, 2018b; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a), de lançamentos de objetos (JACKSON et al., 2019; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018) e de manipulação de instrumentos cirúrgicos (CIECHANSKI et al., 2017, 2018) são algumas das tarefas exploradas para verificar o efeito da ETCC na aprendizagem motora. Os estudos supracitados têm apresentado resultados divergentes em relação ao efeito da ETCC na aprendizagem motora e algumas destas divergências sugerem que o efeito desta técnica possa ser dependente das características da tarefa motora (MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013) e das diferentes especificações de montagem e aplicação das ETCC utilizadas nos estudos, como estimulação uni ou bi hemisférica, local de posicionamento dos eletrodos alvo e tamanho dos eletrodos alvo (PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a; VANCLEEF et al., 2016).

Saucedo Marquez et al. (2013) analisaram o efeito da ETCC na aprendizagem da tarefa sequencial visomotora de força isométrica (SVFI) e da tarefa com sequência predeterminada de toques de dedos (SPTD). Após sete dias sem prática, os autores verificaram superioridade no desempenho do grupo ETCC em relação ao grupo sham (estimulação simulada) apenas na tarefa SVFI, sugerindo que o efeito da ETCC na aprendizagem motora seja dependente das características de cada tarefa. Vancleef et al. (2016) submeteram adultos jovens à aprendizagem de uma tarefa de rastreamento bimanual de ponto móvel durante a ETCC uni hemisférica do córtex motor primário (M1), do córtex pré-frontal dorsolateral (CPFDL) e sham. Após sete dias sem prática da tarefa, os autores não verificaram efeito da ETCC na aprendizagem. Pixa, Steinberg e Doppelmayr (2017b) analisaram adultos jovens durante aprendizagem de tarefa bimanual de empilhar copos (TBMEC) concomitante à ETCC bi hemisférica em High Definition (HD) e observaram efeito da estimulação na aprendizagem da tarefa. Os resultados destes dois estudos com tarefa bimanual não só sugerem que o efeito da ETCC possa ser

dependente das características de cada tarefa motora como, também, que este efeito é dependente das diferentes especificações de montagem e aplicação da ETCC utilizada entre os estudos (p. ex. estimulação uni e bihemisférica). Dessa forma, a literatura sobre a ETCC necessita de estudos que analisem criticamente se o efeito da ETCC na aprendizagem motora é tarefa-dependente e/ou dependente das especificações de montagem da ETCC.

Uma análise crítica interessante para compreender o efeito da ETCC na aprendizagem motora e compreender se este efeito é dependente das características da tarefa e/ou das especificações de montagem da ETCC pode se dar mediante a exploração de estudos primários que utilizaram delineamentos de retenção em seus experimentos. Estes delineamentos são clássicos da área da aprendizagem motora e evitam confundir melhorias momentâneas de desempenho de uma habilidade (efeito agudo), com a aprendizagem permanente desta habilidade (efeito crônico mensurado por meio de testes de retenção) (MAGILL, 1998; SCHMIDT; WRISBERG, 2008; WULF; SHEA; LEWTHWAITE, 2010). Nestes delineamentos o desempenho do aprendiz é verificado em (1) teste pré período de aquisição da habilidade (sem estimulação), (2) durante os blocos e sessões práticas (com estimulação), (3) em teste pós-período de aquisição (semelhante ao teste pré) realizado após a última sessão prática e em (4) um teste de retenção após 24 horas, dias ou semanas sem prática (semelhante ao teste pré). Este período sem prática da habilidade é fundamental para que o efeito de fatores que aumentam o desempenho (p.ex. prática e estímulos externos), ou o diminuem (p.ex. fadiga) durante o período de aquisição, possam ser diluídos e somente o que foi aprendido permaneça, mesmo após período sem prática (WULF; SHEA; LEWTHWAITE, 2010). É nesse período sem prática que os processos de fortalecimento sináptico como a LTP ocorrem e favorecem as mudanças comportamentais de longo prazo (WENDEROTH, 2018). Apesar da importância dos testes de retenção, as revisões sistemáticas sobre o efeito da ETCC na aprendizagem motora (HASHEMIRAD et al., 2016; KUMARI; TAYLOR; SIGNAL, 2019) não têm utilizado os delineamentos de retenção como critério de inclusão/exclusão dos estudos analisados. Isso impossibilita assumir qualquer conclusão sobre um possível efeito da ETCC na aprendizagem motora, uma vez que as considerações finais destes estudos são baseadas em uma mistura de estudos que analisaram a aprendizagem permanente das habilidades motoras e estudos que analisaram somente o desempenho momentâneo das habilidades motoras. Logo, é necessária a

sistematização de conhecimento sobre os estudos de ETCC que contemplem delineamentos com teste de retenção que possibilitem inferência sobre a aprendizagem.

Uma importante revisão da literatura, que analisou os testes de retenção sobre o efeito da ETCC na aprendizagem motora, foi realizada por Buch et al. (2017). Segundo esses autores, dependendo da variante específica da tarefa ou das estratégias de aprendizado empregadas por um determinado indivíduo, a montagem da ETCC aplicada pode ou não influenciar o aprendizado da tarefa motora. Isso reforça a importância de estudar as características da tarefa e as especificações de montagem da ETCC. Apesar das contribuições de Buch et al. (2017), sua revisão não sistematizou a busca de artigos e não estabeleceu critérios de inclusão e exclusão. Isso fez com que estudos importantes, como os de Gomes-Osman e Field-Fote (2013) e Vancleef et al. (2016), ficassem de fora da revisão. Além disso, o objetivo de Buch et al. (2017) não foi analisar os estudos para verificar se o efeito tDCS é dependente das características da tarefa ou das especificações de montagem da ETCC.

A revisão sistemática de Kumari et al. (2019) conclui que a ETCC anódica no CC melhorou o aprendizado de habilidades motoras de curto a longo prazo (avaliação > 24 h após a prática), mas parece não ter efeito nos ganhos no desempenho motor durante e imediatamente após a estimulação. A revisão sistemática com metanálise de Hashemirad et al. (2016) reportou efeito positivo de múltiplas sessões de ETCC aplicadas em M1 na aprendizagem de tarefas de SPTD, tempo de reação serial (TTRS) ou tarefa de SVFI. No entanto, considerando as diferentes regiões cerebrais que podem estar envolvidas na aprendizagem motora, é importante que as análises sistemáticas sobre o efeito da ETCC na aprendizagem motora incluam estudos que considerem não apenas M1 ou o CC. Além disso, a demanda perceptiva de tarefas sequenciais, que é uma das tarefas motoras mais amplamente analisadas em estudos com ETCC, depende fortemente dos circuitos cortico-estriatais, enquanto o aprendizado sensório-motor depende predominantemente das vias cortico-cerebelares (DOYON; BENALI, 2005; Doyon et al., 2009). Portanto, essa diferença cortical fornecida pelas demandas da tarefa pode exigir que a ETCC seja aplicada em diferentes áreas do cérebro para cada tipo de demanda da tarefa. Assim, maior atenção deve ser dada aos estudos com ETCC na aprendizagem de tarefas com maior demanda motora, ao invés de maior demanda cognitiva (memória ou tarefas sequenciais), principalmente considerando testes de retenção para inferir sobre a aprendizagem.

Assim, o objetivo deste estudo foi analisar, através de uma revisão sistemática, o efeito da ETCC na aprendizagem motora e se este efeito é dependente da tarefa motora ou das especificações de montagem utilizadas na aplicação da ETCC. Vale ressaltar que a compreensão da influência destes aspectos sobre o efeito da ETCC na aprendizagem motora pode auxiliar (a) na escolha de delineamentos e procedimentos experimentais mais apropriados para futuros estudos sobre o uso da ETCC na aprendizagem motora, (b) na aplicação segura, eficiente e eficaz da ETCC no processo de aquisição de novas habilidades motoras, bem como (c) na utilização clínica da ETCC para a reabilitação e a reaprendizagem de habilidades motoras.

2.1.2 MÉTODO

2.1.2.1 Protocolo e Registro

Esta revisão foi elaborada com base nas especificações contidas no *PRISMA* (MOHER et al., 2009) e seu protocolo de registro (CRD42020166790) está disponível em: https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/display_record.php?RecordID=166790.

2.1.2.2 Critérios para considerar estudos para esta revisão

2.1.2.2.1 Tipos de estudos

Foram inclusos ensaios clínicos aleatorizados, ensaios clínicos aleatorizados cruzados, ensaios clínicos quase-aleatorizados e estudos controlados não aleatorizados, contendo controle simples cego, duplo cego ou não cego dos participantes. Os estudos deveriam estar publicados em formato de artigo e conter os delineamentos clássicos das pesquisas sobre a aprendizagem motora (delineamento de retenção e/ou delineamento de transferência), os quais possuem os testes de pré-prática, de pós-prática, de retenção e/ou de transferência (SCHMIDT; WRISBERG, 2008). Os testes de retenção e/ou de transferência deveriam ser realizados, no mínimo, 24 horas após o término da prática, para que qualquer efeito temporário que cause a melhoria do desempenho (como orientações e estímulos externos) ou a redução do desempenho (como a fadiga) se dissipe e permaneça somente o que foi aprendido (WULF; SHEA; LEWTHWAITE, 2010).

2.1.2.2.2 Tipos de participantes

Foram inclusos estudos com crianças, jovens, adultos e idosos sem nenhuma restrição ou patologia neurológica, física ou funcional reportada nos artigos de origem.

2.1.2.2.3 Tipos de intervenções

Foram inclusos estudos que compararam a estimulação anódica e/ou catódica da ETCC versus a estimulação anódica e/ou catódica placebo da ETCC na aprendizagem motora. A ETCC deveria ser aplicada antes ou durante a prática das habilidades motoras, bem como de forma singular, ou seja, sem a aplicação conjunta de outro tipo de estimulação transcraniana.

3.1.2.2.4 Tipos de medidas de resultado

Foram incluídos estudos que mediram a aprendizagem de tarefas com maiores demandas motoras, por meio de variáveis temporais, espaciais e de desempenho físico. Tarefas com maior demanda motora são aquelas em que o principal fator de sucesso é a qualidade do próprio movimento (por exemplo, transferir objetos de um lugar, ou lançar objetos em um alvo) (SCHMIDT; WRISBERG, 2008). Os estudos que mensuraram o desempenho e a aprendizagem em tarefas com mínimas demandas motoras e maiores demandas perceptivas e cognitivas foram excluídos. Tarefas com demandas motoras mínimas e maiores demandas perceptivas e cognitivas são aquelas em que o determinante para o sucesso é a qualidade da percepção e da tomada de decisão sobre o que e quando fazer, como nas TTRS. Neste tipo de tarefa as medidas de desempenho são sensíveis à expectativa criada pelo participante em relação ao estímulo visual que determina a tecla a ser pressionada (ROBERTSON, 2007). O tempo de reação de escolha presente na mensuração do desempenho destas tarefas é uma medida representativa do tempo necessário para ocorrer a identificação do estímulo e o processamento de informação que procedem a realização da ação motora (SCHMIDT; WRISBERG, 2008), o que sugere uma maior demanda perceptiva e cognitiva nas TTRS e tarefas semelhantes que utilizam tempo de reação de escolha.

2.1.2.2.4.1 Resultados primários

Variáveis espaciais e temporais, como o erro absoluto, o erro variável, o tempo absoluto de movimento e o tempo relativo de movimento.

2.1.2.2.4.2 Resultados secundários

Variáveis de desempenho físico, como a força (efeito gerado pela contração muscular para vencer ou manter uma resistência externa) e a velocidade de movimento (variação de posição do corpo ou membro em função do tempo).

2.1.2.3 Métodos de busca para identificação de estudos

As buscas foram executadas em agosto de 2019, sem nenhuma restrição para o ano e a língua de publicação dos estudos. Em janeiro de 2020 as buscas foram repetidas com delimitação de data para o ano de 2019, de modo a identificar os estudos publicados nos últimos meses do ano de 2019. A atualização mais recente das buscas desta revisão foi realizada em julho de 2021, delimitando a data para a recuperação de estudos entre os anos de 2020 e 2021.

2.1.2.3.1 Pesquisas em bases eletrônicas

As buscas foram realizadas nas bases PubMed (07/08/2019), SciELO (07/08/2019), LILACS (07/08/2019), Web of Science (07/08/2019), CINAHL (08/08/2019), Scopus (08/08/2019), SPORTDiscus (08/08/2019), Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL) (10/08/2019), Embase (19/08/2019) e PsycINFO (19/08/2019).

2.1.2.3.2 Estratégia de busca

A estratégia de busca foi formulada com base no tipo de intervenção (ETCC) e no tipo de aspecto a ser melhorado com a intervenção (aprendizagem motora), seguindo as configurações de cada uma das bases eletrônicas mencionadas. Como exemplo, a estratégia de busca utilizada na base eletrônica PubMed apresentou as seguintes configurações 1, 2 e 3 combinadas por meio do operador booleano AND:

- 1- “Transcranial Direct Current Stimulation/instrumentation”[Mesh] OR “Transcranial Direct Current Stimulation/methods”[Mesh] OR tDCS OR “Cathodal Stimulation Transcranial Direct Current Stimulation” OR “Cathodal Stimulation tDCS” OR “Transcranial Electrical Stimulation” OR “Anodal Stimulation Transcranial Direct Current Stimulation” OR “Anodal Stimulation tDCS”
- 2- Learning [Mesh] OR “Spatial Learning”[Mesh] OR “Learning Curve”[Mesh] OR “Problem-Based Learning”[Mesh] OR “Serial Learning”[Mesh] OR “Transfer (Psychology)”[Mesh] OR “Simulation Training”[Mesh]
- 3- “Motor Skills”[Mesh] OR “Psychomotor Performance”[Mesh] OR “Task Performance and Analysis”[Mesh] OR “Motor Learning”

2.1.2.4 Coleta e análise de dados

2.1.2.4.1 Seleção dos estudos

Após a remoção das bibliografias duplicadas, a análise pelo título e resumo dos estudos foi realizada de forma independente por dois autores (AG e AM). As divergências entre os autores foram resolvidas pela análise independente de um terceiro autor (AP) e discussão entre os autores, quando necessário. O texto completo dos artigos foi analisado por um único autor (AG) e as exclusões dos estudos foram executadas com base nos “Critérios para considerar os estudos para esta revisão”. Os artigos selecionados para esta revisão foram reanalisados de forma independente por outro autor (AP) e as divergências foram discutidas entre os autores, quando necessário. Todos estes procedimentos foram repetidos nas atualizações das buscas.

2.1.2.4.2 Extração e gerenciamento de dados

Um autor (AG) realizou a extração e análise dos seguintes dados: (a) design do estudo (tipo de estudo); (b) característica da amostra (idade e sexo dos participantes); (c) tarefa motora praticada; (d) quantidade total de sessões e de tentativas práticas; (e) tempo de duração das sessões; (f) medida de aprendizagem; (g) tempo sem prática para a retenção e/ou transferência; (h) principais evidências; (i) especificações da ETCC (tipo de estimulação, local de estimulação, características da estimulação, tamanho de eletrodo, intensidade da corrente elétrica, duração da estimulação, momento de ocorrência da estimulação). Os dados foram posteriormente verificados de forma independente por um segundo autor (AM) e as divergências foram solucionadas mediante discussão entre os autores. Todos estes procedimentos foram repetidos nas atualizações das buscas.

2.1.2.4.3 Avaliação do risco de viés dos estudos incluídos

Dois autores (AG e AP) realizaram de forma independente a avaliação do risco de viés dos estudos, de acordo com o manual da Cochrane para revisões sistemáticas de intervenções (HIGGINS; GREEN, 2011). A avaliação do risco de viés é composta por seis itens: (1) geração aleatória de sequência dos participantes - viés de seleção; (2) método de alocação dos participantes - viés de seleção; (3) cegamento dos participantes e dos pesquisadores - viés de performance; (4) cegamento do avaliador dos resultados - viés de detecção; (5) dados incompletos dos resultados – viés de atrito (p.ex. perda de participantes ou de medidas ao longo do estudo); (6) relato seletivo dos resultados - viés de relatório (p.ex. não apresentar os todos os resultados ou análises mencionadas no método). Os itens foram considerados com “baixo” risco de viés, quando adotados e descritos completamente, “inconclusivo” risco de viés, quando não apresentados ou apresentados incompletamente, e “alto” risco de viés, quando adotados inadequadamente.

As divergências entre as avaliações dos autores foram solucionadas por meio de discussões entre os mesmos, até que se alcançasse consenso. A avaliação do risco de viés auxiliou na verificação da qualidade metodológica dos artigos, a qual tem relação direta com o grau de confiança dos resultados de cada estudo. Todos estes procedimentos foram repetidos nas atualizações das buscas.

2.1.3 RESULTADOS

Seleção dos estudos

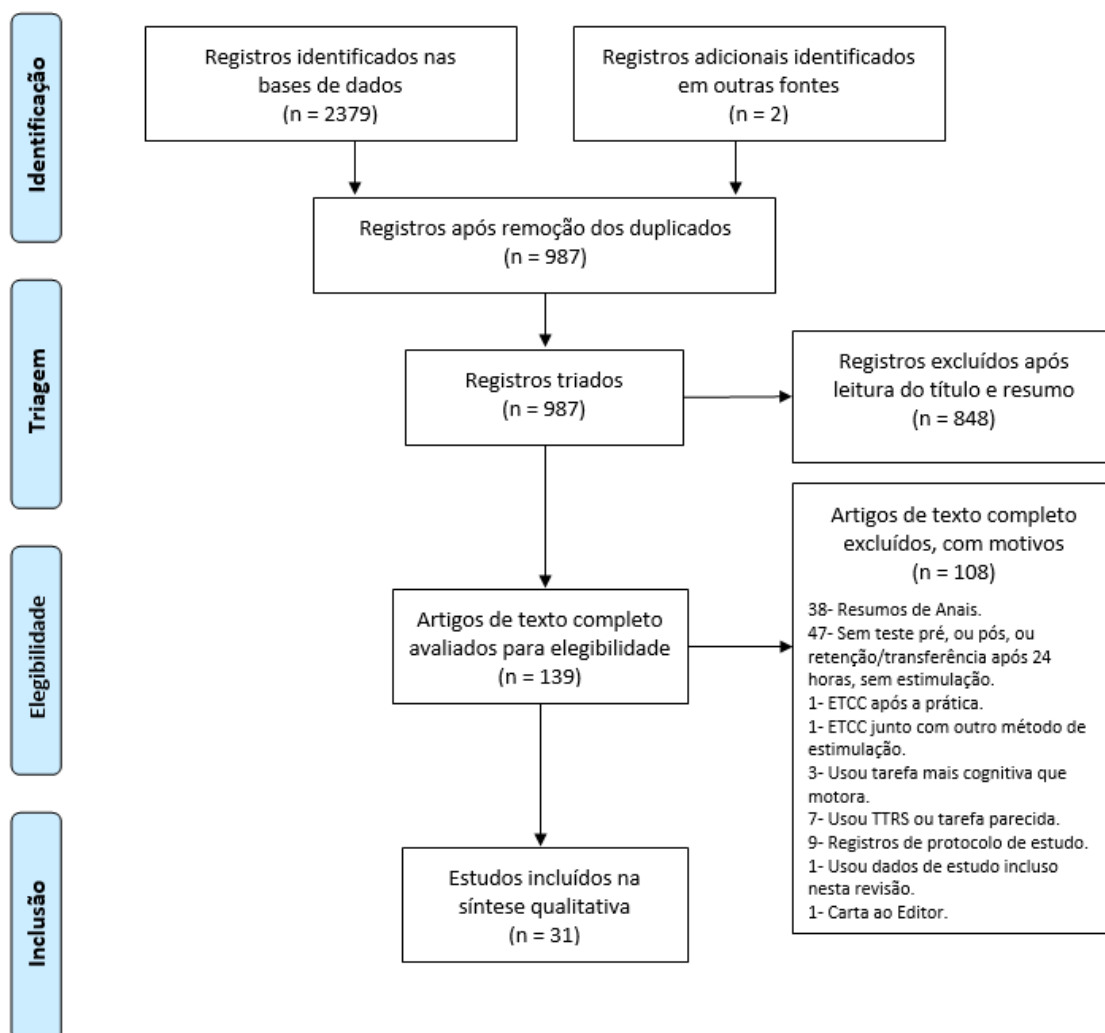
A Figura 2.1.1 apresenta um fluxograma com os resultados do processo de seleção dos estudos, incluindo todas as atualizações de buscas realizadas. Um total de 2379 estudos foram recuperados por meio das bases de dados eletrônicas utilizadas nesta revisão. Após os processos de identificação das referências duplicadas e de triagem dos títulos e resumos dos estudos, os artigos foram lidos por completo no processo de elegibilidade. Dois estudos foram recuperados por meio das referências dos artigos lidos na elegibilidade e, também, foram lidos por completo (MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a), totalizando 139 artigos avaliados no processo de elegibilidade. Destes, 108 estudos foram excluídos (ver motivos na Figura 2.1.1) e 31 foram selecionados para a síntese qualitativa. Nove referências bibliográficas foram recuperadas como registros de protocolos (p. ex. Clinical trials.gov) nas buscas realizadas e os autores foram contactados por e-mail para verificar se estes estudos haviam sido publicados com outros títulos. Com base na resposta dos autores, dois estudos tinham sido publicados com outros títulos (CIECHANSKI et al., 2017, 2018). Estes estudos haviam sido recuperados anteriormente, analisados e inclusos nos 31 estudos separados para a síntese qualitativa desta revisão. Três autores dos registros de protocolo reportaram que os estudos ainda não tinham sido publicados e os outros quatro autores não responderam aos e-mails, mesmo após duas tentativas de contato.

Risco de viés dos estudos

Os resultados do risco de viés de cada estudo e a proporção do risco de viés dos estudos (%) desta revisão estão descritos na Figura 2.1.2. Na avaliação do risco de viés, mais de 50% dos estudos foram classificados como risco de viés incerto em três dos seis itens, pois não apresentam descrições detalhadas que permitam classificá-los como de

baixo ou alto risco de viés. Entre todos os artigos incluídos nesta revisão, dois estudos (6,4%) foram avaliados com alto risco de viés para os itens geração de sequência aleatória e cegamento de participantes e pessoal. No primeiro estudo (WATERS-METENIER et

Figura 2.1.1 - Fluxograma do processo de seleção dos estudos desta revisão.



ETCC: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua; TTRS: Tarefa de Tempo de Reação Serial.

al., 2014), apenas os dois primeiros participantes do estudo foram randomizados, e a ordem dos demais foi determinada pelos autores com base no desempenho do pré-teste. No outro estudo (WESSEL et al., 2021), os autores relatam que o processo de cegamento do estudo falhou. De acordo com o manual da Cochrane para revisões sistemáticas de intervenções, métodos de julgamento não aleatórios baseados em resultados de testes, bem como processos de cegamento que os autores acreditam ter sido quebrados, são critérios para classificar os estudos como de alto risco de viés (HIGGINS; GREEN, 2011).

Para a geração de sequência aleatória, apenas sete estudos (22,6%) nesta revisão foram avaliados como tendo baixo risco de viés. Com relação ao sigilo da alocação do item, apenas quatro estudos (12,9%) foram avaliados como apresentando baixo risco de viés. Para o mascaramento dos participantes e da equipe, 23 estudos (74,2%) foram avaliados como tendo baixo risco e para o mascaramento da avaliação do resultado, nove estudos (29%) foram avaliados como tendo baixo risco de viés. Com relação aos dados de desfecho incompletos e notificação seletiva, 17 (54,8%) e 31 estudos (100%) foram avaliados com baixo risco de viés, respectivamente.

Características dos estudos e das tarefas motoras

A Tabela 2.1.1 apresenta um resumo das características dos estudos inclusos nesta revisão. As informações estão organizadas por tarefas motoras, processo de aprendizagem motora e pelas especificações de montagem da ETCC. Desconsiderando os estudos que são apresentados duas vezes na tabela, verifica-se que um total de 1139 participantes (52,7% homens) com idade média entre 14 (COLE et al., 2018b, 2018a) e 86 anos (MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019) foram analisados nos estudos. A melhoria de desempenho nas tarefas motoras foi observada nos limites inferiores e superiores de idade dos participantes dos estudos desta revisão. Todavia, o efeito da ETCC na retenção e/ou transferência de aprendizagem não foi verificado nos participantes com limites superiores de idade (86 anos). O número de participantes nos grupos experimentais analisados variou entre cinco (GAO et al., 2021) e 24 participantes (MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018). De acordo com o reportado em cada artigo, a maioria dos estudos (83,9%) são ensaios clínicos aleatorizados (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021a, 2021b; BESSON et al., 2020; CIECHANSKI et al., 2017, 2018; CIECHANSKI; KIRTON, 2016; COLE et al., 2018a, 2018b; FLIX-DIEZ et al., 2021; FOERSTER et al., 2018; GAO et al., 2021; GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; JACKSON et al., 2019; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; KATAGIRI et al., 2021; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; PARMA et al., 2020; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017b, 2017a; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; VANCLEEF et al., 2016; WATERS-METENIER et al., 2014; WESSEL et al., 2021; YAMAGUCHI et al., 2020).

Dentre as diferentes tarefas motoras utilizadas pelos estudos para verificar o efeito da ETCC na aprendizagem motora, as mais analisadas foram as tarefas SPTD (GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; SAUCEDO MARQUEZ et

al., 2013; WATERS-METENIER et al., 2014; WESSEL et al., 2021), SVFI (CANTARERO et al., 2015; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; REIS et al., 2009; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013) e PPT (CIECHANSKI; KIRTON, 2016; COLE et al., 2018a, 2018b; FLIX-DIEZ et al., 2021; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a). As tarefas de lançamento de objetos (JACKSON et al., 2019; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018), de manipulação de instrumentos cirúrgicos (MIC) (CIECHANSKI et al., 2017, 2018; GAO et al., 2021) e de traçar percurso (Vienna Test System) (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021a, 2021b) também foram analisadas por mais de um estudo. Em relação ao efeito da ETCC na aprendizagem motora, seis estudos não evidenciaram o mesmo efeito reportado por outros estudos que analisaram as tarefas SVFI (LOPEZ-ALONSO et al., 2018), lançamento de objetos ao alvo (MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018), MIC (CIECHANSKI et al., 2018; GAO et al., 2021) e de SPTD (GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013), sugerindo que outros fatores além do tipo de tarefa podem influenciar o efeito da ETCC na retenção e/ou transferência da aprendizagem motora.

A respeito dos membros preferidos ou não preferidos utilizados no desempenho das tarefas motoras analisadas pelos estudos, o membro não preferido foi utilizado em 12 estudos (CIECHANSKI; KIRTON, 2016; COLE et al., 2018a, 2018b; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; WATERS-METENIER et al., 2014; WESSEL et al., 2021; YAMAGUCHI et al., 2020) e o membro preferido foi utilizado em 11 estudos (BESSON et al., 2020; CANTARERO et al., 2015; CIECHANSKI et al., 2017, 2018; FLIX-DIEZ et al., 2021; FOERSTER et al., 2018; JACKSON et al., 2019; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a; REIS et al., 2009). Em nove estudos a tarefa motora foi realizada de forma bimanual (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021a, 2021b; GAO et al., 2021; GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; PARMA et al., 2020; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a, 2017b; VANCLEEF et al., 2016) e em um a tarefa foi realizada de forma bipodal (KATAGIRI et al., 2021). No geral, o efeito da ETCC na aprendizagem motora foi observado nas

tarefas praticadas com os membros preferidos, não preferidos e nas tarefas praticadas de forma bimanual.

Sobre a quantidade total de sessões e de tentativas práticas das tarefas motoras, houve variação entre uma sessão (CIECHANSKI et al., 2018; FOERSTER et al., 2018; JACKSON et al., 2019; KATAGIRI et al., 2021; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; YAMAGUCHI et al., 2020) e 10 sessões práticas (GAO et al., 2021), bem como variação entre oito (CIECHANSKI et al., 2017, 2018) e 1536 tentativas práticas ao final do processo de aquisição da tarefa (WATERS-METENIER et al., 2014). Dentre os 10 estudos que utilizaram apenas uma sessão prática, cinco não verificaram efeito da ETCC na aprendizagem motora (CIECHANSKI et al., 2018; KATAGIRI et al., 2021; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019). Ciechanski et al. (2018) verificaram melhorias de desempenho durante uma única sessão prática da tarefa MIC (laparoscopia), mas não observaram efeito da ETCC na retenção de aprendizagem. Os autores creditam essa falta de efeito da ETCC à quantidade insuficiente de sessões realizadas em seu estudo e, conseqüentemente, ao número insuficiente de tentativas práticas para a aprendizagem da tarefa. Por outro lado, Gao et al. (2021) realizaram 10 sessões práticas e, mesmo assim, não evidenciaram efeito da ETCC na aprendizagem da tarefa MIC (laparoscopia). Diferentemente de Ciechanski et al. (2018), que reportaram ter utilizado oito tentativas da tarefa motora, Gao et al. (2021) mencionam a duração de cada sessão (30 min), mas não a quantidade de tentativas da tarefa em cada sessão. Estes resultados sugerem que a quantidade de sessões práticas e a quantidade total de tentativas práticas ao longo das sessões são fatores importantes na determinação do efeito da ETCC na aprendizagem motora.

Mesmo com a importância da quantidade de sessões e de tentativas práticas para a aquisição, retenção e/ou transferência da aprendizagem motora, outros oito estudos (AZARPAIKAN et al., 2021a, 2021b; BESSON et al., 2020; FLIX-DIEZ et al., 2021; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; WESSEL et al., 2021) reportam a quantidade de sessões práticas, mas não deixam claro a quantidade total de tentativas práticas realizadas em suas tarefas motoras analisadas. Uma informação importante para

determinar se as quantidades de tentativas práticas foram suficientes para proporcionar a aprendizagem motora é a curva de desempenho, a qual apresenta graficamente os resultados das tentativas realizadas (medidas individuais ou média de blocos) ao longo do tempo (MAGILL, 1998; SCHMIDT; WRISBERG, 2008). Dos 31 estudos desta revisão 24 apresentam esta curva, mas em 13 deles (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021a, 2021b; CANTARERO et al., 2015; CIECHANSKI; KIRTON, 2016; GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; VANCLEEF et al., 2016; WESSEL et al., 2021; YAMAGUCHI et al., 2020), nem a curva apresentada deixa claro, nem os próprios autores mencionam se houve estabilização do desempenho e, conseqüentemente, a aprendizagem da tarefa motora.

Com relação ao tempo entre a última tentativa prática e a análise de retenção e/ou transferência da aprendizagem motora, houve variação entre 24 horas (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021a, 2021b; BESSON et al., 2020; FOERSTER et al., 2018; JACKSON et al., 2019; KATAGIRI et al., 2021; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; PARMA et al., 2020; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; YAMAGUCHI et al., 2020) e 80 dias (REIS et al., 2009). As medidas mais utilizadas para analisar a aprendizagem das tarefas motoras foram o tempo de movimento (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021a, 2021b; CANTARERO et al., 2015; CIECHANSKI; KIRTON, 2016; FOERSTER et al., 2018; GAO et al., 2021; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017b; WATERS-METENIER et al., 2014) e o erro (GAO et al., 2021; JACKSON et al., 2019; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; VANCLEEF et al., 2016). Dentre estas medidas, o tempo de movimento parece ser a medida mais sensível na determinação do efeito da ETCC, uma vez que o efeito foi verificado em 90,9% dos 11 estudos que utilizaram essa medida, contra 37,5% dos oito estudos que utilizaram o erro como medida.

Características das ETCC

Quatorze estudos utilizaram montagens para a ETCC unihemisférica anódica (apenas o eletrodo alvo posicionado no hemisfério cerebral) e sham (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021a, 2021b; CIECHANSKI et al., 2017, 2018; FOERSTER et al., 2018;

JACKSON et al., 2019; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; VANCLEEF et al., 2016; WESSEL et al., 2021), cinco para a ETCC unihemisférica anódica, catódica e sham (CANTARERO et al., 2015; CIECHANSKI; KIRTON, 2016; KATAGIRI et al., 2021; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; REIS et al., 2009), um para a ETCC unihemisférica anódica, sham e a anódica com manipulação da atenção (YAMAGUCHI et al., 2020), dois para a ETCC unihemisférica anódica padrão, anódica HD e sham (COLE et al., 2018a, 2018b) e um para a ETCC unihemisférica anódica HD, catódica e sham, com ETCC anódica ou catódica aplicada 10 minutos antes da prática e 10 minutos de ETCC anódica aplicada durante a prática (BESSON et al., 2020). Outros estudos utilizaram montagens para comparar as ETCCs uni e bihemisférica com ativação unilateral anódica (um par de eletrodos e os eletrodos alvo e de retorno posicionados em cada hemisfério) e sham (KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017), montagens apenas para a ETCC bihemisférica com ativação unilateral anódica e sham (GAO et al., 2021; PARMA et al., 2020; WATERS-METENIER et al., 2014), para a ETCC bihemisférica unilateral anódica reversa (posicionamento dos eletrodos ânodo e cátodo invertidos) e sham (FLIX-DIEZ et al., 2021), para a ETCC bihemisférica com ativação bilateral (dois aparelhos estimuladores e dois eletrodos alvo, um em cada hemisfério) anódica convencional e sham (GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013) e para a ETCC bihemisférica bilateral anódica HD e sham (PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a, 2017b). A maioria dos estudos com ETCC bihemisférica demonstram efeito na aprendizagem de tarefas motoras executadas de forma uni (KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; WATERS-METENIER et al., 2014) e bimanual (PARMA et al., 2020; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017b, 2017a), com exceção de três estudos (FLIX-DIEZ et al., 2021; GAO et al., 2021; GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013).

O local mais utilizado para o posicionamento do eletrodo alvo na ETCC anódica (77,4%) foi o M1 (BESSON et al., 2020; CIECHANSKI et al., 2017, 2018; CIECHANSKI; KIRTON, 2016; COLE et al., 2018a, 2018b; FLIX-DIEZ et al., 2021; FOERSTER et al., 2018; GAO et al., 2021; GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; PARMA et al., 2020; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017b, 2017a; REIS et al., 2009; SAUCEDO

MARQUEZ et al., 2013; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; VANCLEEF et al., 2016; WATERS-METENIER et al., 2014; WESSEL et al., 2021; YAMAGUCHI et al., 2020). Destes estudos, dois também analisaram a ETCC catódica com posicionamento do eletrodo alvo no M1 ipsilateral ao membro utilizado (CIECHANSKI; KIRTON, 2016; REIS et al., 2009) e um estudo (VANCLEEF et al., 2016) utilizou montagem para a ETCC anódica com o eletrodo alvo posicionado no CPFDL. Outros sete estudos utilizaram montagem para a ETCC anódica com posicionamento do eletrodo alvo no córtex cerebelar (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021a, 2021b; CANTARERO et al., 2015; JACKSON et al., 2019; KATAGIRI et al., 2021; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018). As informações sobre o posicionamento dos eletrodos de retorno estão disponíveis na Tabela 2.1.1.

Os eletrodos mais utilizados nos experimentos com estimulação convencional são os de 25 cm² (CANTARERO et al., 2015; CIECHANSKI et al., 2017, 2018; CIECHANSKI; KIRTON, 2016; JACKSON et al., 2019; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; REIS et al., 2009; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; VANCLEEF et al., 2016) e na estimulação em HD são os de 3,14 cm² (BESSON et al., 2020; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a, 2017b). Os menores eletrodos alvo utilizados pelos estudos são os de 1 cm² (GAO et al., 2021) para a ETCC anódica convencional e os de 3,14 cm² para a ETCC anódica HD (PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017b, 2017a). Os maiores eletrodos utilizados foram os de 35 cm² (FOERSTER et al., 2018; KATAGIRI et al., 2021; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; WATERS-METENIER et al., 2014), sendo estes utilizados somente em estudos com estimulação convencional. Foerster et al. (2018) compararam eletrodos de 8 cm² e de 35 cm² e seus resultados sugerem vantagens para a aplicação da ETCC com eletrodos menores. Outras especificações importantes das diferentes montagens da ETCC são a intensidade da corrente elétrica e o tempo de duração da estimulação. Estas variaram entre 0,5 mA (FOERSTER et al., 2018) e 2 mA (BESSON et al., 2020; CANTARERO et al., 2015; CIECHANSKI; KIRTON, 2016; FOERSTER et al., 2018; JACKSON et al., 2019; KATAGIRI et al., 2021; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; VANCLEEF et al., 2016; WATERS-METENIER et al., 2014; YAMAGUCHI et al., 2020), bem como entre 10 minutos (GAO et al., 2021; YAMAGUCHI et al., 2020) e 25 minutos (JACKSON et al., 2019; WATERS-

Tabela 2.1.1 Características dos estudos inclusos.

Tarefas	Autores	Processo de Aprendizagem motora				Especificações da ETCC				
		Amostra	Membro utilizado	Sessões/ tentativas	Medidas de aprendizado	Tipo da estimulação	Local de estimulação alvo/retorno	Corrente/ tempo	Momento da estimulação	Efeito
Sequência visomotora de força isométrica	Reis et al., 2009	36 (18 homens) 29,1±1,9 anos	Preferido	5/ 800 a 1000	Habilidade	Unihemisférica <i>AN, CA</i> e sham	M1 <i>E</i> / Supraorbital <i>D</i> Supraorbital <i>E</i> / M1 <i>D</i>	1 mA/ 20 min	Durante a prática	Sim
	Saucedo Marquez et al., 2013*	27 (15 homens) 23,9±3 anos	Não preferido	3/ NR	Habilidade	Unihemisférica <i>AN</i> e sham	M1 <i>D</i> / Ombro <i>D</i>	1 mA/ 20 min	Durante a prática	Sim
	Cantarero et al., 2015	33 (13 homens) 24,9±1,7 anos	Preferido	3/ 450 a 540	TM, erro e habilidade	Unihemisférica <i>AN, CA</i> e sham	CC <i>D</i> / Bucinador <i>D</i> Bucinador <i>D</i> / CC <i>D</i>	2 mA/ 20 min	Durante a prática	Sim
	Lopez- Alonso et al., 2018	28 (12 homens) 27,2±6,9 anos	Preferido	1/ 80	Erro	Unihemisférica <i>AN</i> e sham	M1 <i>E</i> / Supraorbital <i>D</i>	1 mA/ 20 min	Pré prática	Não
	Mooney et al., 2019	32 (14 homens) 19 a 86 anos	Não preferido	1/ 108	Erro e habilidade	Unihemisférica <i>AN</i> e sham	M1 <i>NDO</i> / Supraorbital <i>DO</i>	1 mA/ 20 min	Durante a prática	Não
Sequência predeterminada de toques de dedos	Gomes- Osman et al., 2013	28 (11 homens) 27±7 anos	Bimanual	5/ 120	Pontuação média	Bihemisférica (bilateral) <i>AN</i> e sham	M1 <i>D</i> e <i>E</i> / Supraorbital <i>E</i> e <i>D</i>	1 mA/ 20 min	Pré prática	Não
	Saucedo Marquez et al., 2013*	27 (15 homens) 23,9±3 anos	Não preferido	3/ NR	Habilidade	Unihemisférica <i>AN</i> e sham	M1 <i>D</i> / Ombro <i>D</i>	1 mA/ 20 min	Durante a prática	Não
	Waters- Metenier et al., 2014*	52 (27 homens) 21,9±0,4 anos	Não preferido	4/ 1536	Variabilidade de força e TM	Bihemisférica (unilateral) <i>AN</i> e sham	M1 <i>D</i> / M1 <i>E</i>	2 mA/ 25 min	Durante a prática	Sim
	Kim et al., 2021	54 (23 homens) idade NR	Não preferido	1/ 189	TM	Unihemisférica <i>AN</i> e sham	M1 <i>D</i> / Supraorbital <i>E</i>	2 mA/ 20 min	Durante a prática	Sim
	Wessel et al., 2021	40 (17 homens) 25,9±3,4 anos	Não preferido	4/ NR	Sequências corretas	Unihemisférica <i>AN</i> e sham	M1 <i>D</i> / Supraorbital <i>E</i> CC <i>E</i> / Bucinador <i>E</i>	1 e 2 mA/ 20 min	Durante a prática	Sim

Tabela 2.1.1 Continuação...

Tarefas	Autores	Processo de Aprendizagem motora				Especificações da ETCC				
		Amostra	Membro utilizado	Sessões/tentativas	Medida de aprendizado	Tipo da estimulação	Local de estimulação alvo/retorno	Corrente/tempo	Momento da estimulação	Efeito
Purdue Pegboard Test	Ciechanski et al., 2016	24 (14 homens) 14±3,2 anos	Não preferido	3/ 36 a 45	TM e peças colocadas	Unihemisférica AN, CA e sham	M1 <i>D</i> / Supraorbital <i>E</i> Supraorbital <i>D</i> / M1 <i>E</i>	1 e 2 mA/ 20 min	Durante a prática	Sim
	Karok et al., 2017*	30 (15 homens) 27±5,4 anos	Não preferido	3/ NR	TM	Uni e Bihemisférica (unilateral) AN e sham	M1 <i>D</i> / Supraorbital <i>E</i> M1 <i>D</i> / M1 <i>E</i>	1,5 mA/ 15 min	Durante a prática	Sim
	Pixa et al., 2017a	31 (20 homens) 23,4±2,4 anos	Não preferido, preferido e bimanual	3/ 9	Peças colocadas	Bihemisférica (bilateral) AN (HD) e sham	M1 <i>D</i> e <i>E</i> / ao redor dos eletrodos alvo	1 mA/ 15 min	Durante a prática	Sim
	Cole et al., 2018a,b **	24 (11 homens) 15,5±1,7 anos	Não preferido	5/ 60 a 75	Peças colocadas	Unihemisférica AN (padrão e HD) e sham	M1 <i>D</i> / Supraorbital <i>E</i> M1 <i>D</i> / ao redor do eletrodo alvo	1 mA/ 20 min	Durante a prática	Sim
	Flix-Díez et al., 2021	28 (14 homens) 25,3±4,4 anos	Preferido	5/ NR	Peças colocadas	Bihemisférica (reversa) AN e sham	M1 <i>D</i> / M1 <i>E</i>	1 mA/ 20 min	Durante a prática	Não
Manipulação de instrumentos cirúrgicos	Ciechanski et al., 2017	22 (6 homens) 25,2±2,6 anos	Preferido	1/ 8	Tumor ressecado e eficiência de ressecção	Unihemisférica AN e sham	M1 <i>E</i> / Supraorbital <i>D</i>	1 mA/ 20 min	Durante a prática	Sim
	Ciechanski et al., 2018*	39 (18 homens) 25,5±3,7 anos	Não preferido	1/ 8	Padrão de corte	Unihemisférica AN e sham	M1 <i>DO</i> / Supraorbital <i>NDO</i>	1 mA/ 20 min	Durante a prática	Não
	Gao et al., 2021	12 (3 homens) 24,3±2,1 anos	Bimanual	10/ NR	Padrão de corte, erro e TM	Bihemisférica (unilateral) AN e sham	M1 <i>E</i> / Córtex pré-frontal <i>D</i>	1 mA/ 10 min	Pré prática	Não

Tabela 2.1.1 Continuação...

Tarefas	Autores	Processo de Aprendizagem motora				Especificações da ETCC				
		Amostra	Membro utilizado	Sessões/tentativas	Medida de aprendizado	Tipo da estimulação	Local de estimulação alvo/retorno	Corrente/tempo	Momento da estimulação	Efeito
Lançamento de objeto ao alvo	Mizuguchi et al., 2018	24 (29 homens) 23±3 anos	Preferido	1/ 100	Erro	Unihemisférica AN, CA e sham	CC D/ Bucinador D	2 mA/ 20 min	Durante a prática	Não
	Jackson et al., 2019	42 (42 homens) 25±3,9 anos	Preferido	1/ 60	Erro	Unihemisférica AN e sham	CC D/ Bucinador D	2 mA/ 25 min	Durante a prática	Sim
Tarefa podal	Sriraman et al., 2014	12 (4 homens) 22 a 32 anos	Não preferido	1/ NR	Acurácia	Unihemisférica AN e sham	M1 D/ Supraorbital E	1 mA/ 15 min	Pré e durante a prática	Sim
	Foerster et al., 2018	33 (19 homens) 25,8±3,8 anos	Preferido	1/ 45	Velocidade, precisão e TM	Unihemisférica AN e sham	M1 E/ Supraorbital D	0,5 e 2mA/ 15 min	Durante a prática	Sim
	Katagiri et al., 2020	36 (18 homens) 21,8±1,7 anos	Bipodal	1/ 30	Acurácia	Unihemisférica AN, CA e sham	CC C/ Supraorbital C Supraorbital C/ CC C	2 mA/ 20 min	Pré prática	Não
Traçar percurso	Azarpaikan, et al., 2020	64 (37 homens) idade NR	Bimanual	2/ 40	TM e TE	Unihemisférica AN e sham	CC C/ Deltoide D	1,5 mA/ 15 min	Pré e durante a prática	Sim
	Azarpaikan et al., 2021a	64 (48 homens) 24,3±2,5 anos	Bimanual	2/ NR	TM e TE	Unihemisférica AN e sham	CP D ou CC C/ Deltoide D (em ambos)	1,5 mA/ 15 min	Durante a prática	Sim
	Azarpaikan et al., 2021b	120 (84 homens) 26±4 anos	Bimanual	2/ NR	TM	Unihemisférica AN e sham	CP D ou CC C/ Deltoide D (em ambos)	1,5 mA/ 15 min	Pré e durante a prática	Sim
Rastrear ponto móvel	Vancleef et al., 2016	75 (28 homens) 19 a 30 anos	Bimanual	4/ 480 a 560	Erro	Unihemisférica AN e sham	M1 E/ Supraorbital D CPFDL E/ Supraorbital D	2 mA/ 20 min	Durante a prática	Não

Tabela 2.1.1 *Continuação...*

Tarefas	Autores	Processo de Aprendizagem motora				Especificações da ETCC				
		Amostra	Membro utilizado	Sessões/tentativas	Medida de aprendizado	Tipo da estimulação	Local de estimulação alvo/retorno	Corrente/tempo	Momento da estimulação	Efeito
Empilhar copos	Pixa et al., 2017b	32 (18 homens) 24,2±2,7 anos	Bimanual	3/ 27	TM	Bihemisférica (bilateral) <i>AN</i> (HD) e sham	M1 <i>D</i> e <i>E</i> / ao redor dos eletrodos alvo	1 mA/ 15 min	Durante a prática	Sim
Traçar figura geométrica	Besson et al., 2020	25 (15 homens) 31±9,9 anos	Preferido	3/ NR	Índice de desempenho	Unihemisférica <i>AN</i> , <i>CA</i> (HD) e sham	M1 <i>DO</i> ou <i>NDO</i> / ao redor dos eletrodos alvo	2 mA/ 20 min **	Pré e durante a prática	Não
Flexão de polegar	Yamaguchi et al., 2020	24 (12 homens) 24,8±2,4 anos	Não preferido	1/ 300	Pico de aceleração	Unihemisférica <i>AN</i> + atenção, <i>AN</i> e sham	M1 <i>E</i> / Deltoide <i>D</i>	2 mA/ 10 min	Durante a prática	Sim
Putting no golfe	Parma et al., 2021	48 (24 homens) 25,1±5,8 anos	Bimanual	2/ 100	Erro, variabilidade do TM e da aceleração	Bihemisférica (unilateral) <i>AN</i> e sham	M1 <i>D</i> / M1 <i>E</i>	1,5 mA/ 20 min	Pré prática	Sim

AN: anódica; *CA*: catódica; *M1*: córtex motor primário; *D*: direito; *E*: esquerdo; *: analisou duas ou mais tarefas motoras; *NR*: não reportado; *TM*: tempo de movimento; *CC*: córtex cerebelar; *NDO*: não dominante; *DO*: dominante; *HD*: High definition; **: estudos com características idênticas; *CPFDL*: córtex pré-frontal dorsolateral; **: 10 min de estimulação pré e 10 min durante a prática motora; *TE*: tempo de erro; *C*: centralmente; *CP*: córtex parietal.

METENIER et al., 2014), respectivamente. A maioria dos estudos realizaram estimulações elétricas durante a prática da tarefa motora e apenas nove estudos estimularam antes do início da prática (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021b; BESSON et al., 2020; GAO et al., 2021; GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; KATAGIRI et al., 2021; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; PARMA et al., 2020; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014). Dentre estes, apenas quatro estudos verificaram efeito da ETCC na aprendizagem motora (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021b; PARMA et al., 2020; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014).

Efeitos das diferentes especificações da ETCC na aprendizagem motora

A maioria dos estudos desta revisão (67,7%) apresentaram resultados favoráveis ao efeito da ETCC anódica ou catódica na aprendizagem motora (comparação com a ETCC sham no teste de retenção e/ou de transferência) e apenas 12 estudos não apresentaram resultados favoráveis à ETCC (BESSON et al., 2020; CIECHANSKI et al., 2018; FLIX-DIEZ et al., 2021; GAO et al., 2021; GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; KATAGIRI et al., 2021; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; VANCLEEF et al., 2016; WESSEL et al., 2021). Os estudos de Saucedo Marquez et al. (2013) e de Wessel et al. (2021) se enquadram tanto nos experimentos que apresentaram quanto nos que não apresentaram efeito da ETCC na aprendizagem motora, uma vez que estes autores analisaram duas tarefas diferentes, ou locais diferentes de estimulação, em seus estudos e verificaram resultados distintos.

Dos estudos que evidenciaram o efeito da ETCC na aprendizagem motora, dois sugerem ainda que este efeito proporcione transferência de aprendizagem para a mão não utilizada na prática e para as tarefas não praticadas (CIECHANSKI; KIRTON, 2016; COLE et al., 2018b). Ciechanski e Kirton (2016) analisaram o efeito da ETCC na aprendizagem do PPT, uma tarefa de destreza manual que foi realizada com a mão esquerda, e também analisaram o efeito desta estimulação no desempenho de uma tarefa de funcionalidade manual não praticada com a ETCC, o Jebsen–Taylor Test. Os autores observaram reduções no tempo de realização da tarefa executada pelos grupos experimentais em comparação ao grupo sham. Estas melhorias no o Jebsen–Taylor Test foram observadas na mão direita e na mão esquerda, o que sugere transferência de efeito e de aprendizagem entre membros e entre tarefas motoras. Outros dois estudos (COLE et al., 2018a; WATERS-METENIER et al., 2014), além de demonstrarem efeito da ETCC

na aprendizagem motora, sugerem que a ETCC possa ter efeito no controle de movimentos. Cole et al. (2018a) verificaram efeito da ETCC na aprendizagem do PPT e, após a aprendizagem desta tarefa, também analisam o desempenho dos componentes sensório-motores dos participantes por meio de avaliação robótica KINARM. Os autores observaram reduções no tempo de movimento e no número de picos de velocidade na tarefa de alcançar/apontar do KINARM, sugerindo a existência de possíveis efeitos da ETCC nas variáveis de controle dos movimentos. O número de picos de velocidade está relacionado ao número de correções realizadas durante o movimento e aos submovimentos que compõem o movimento em sua totalidade. Assim, o comportamento entre os primeiros submovimentos sugere como o sistema motor programa a execução do movimento e faz correções durante sua execução (ELLIOTT et al., 2004; MEYER et al., 1988; PEREIRA et al., 2014). No entanto, as observações de Cole et al. (2018a) não foram testadas na mesma tarefa aprendida em conjunto com a ETCC, não deixando claro se as melhorias de desempenho ocorridas com a aprendizagem da tarefa motora em conjunto com a ETCC são proporcionadas por alterações no controle dos movimentos e se essas possíveis alterações seriam potencializadas pelo efeito da ETCC.

Os estudos que demonstraram efeito da ETCC na aprendizagem motora apresentam semelhanças e diferenças em relação as especificações de montagem da ETCC (p. ex. tipo de estimulação, local de estimulação e momento de estimulação), o que dificulta a determinação de quais especificações seriam mais apropriadas para promover maiores magnitudes de aprendizagem motora. Uma forma de verificar as possíveis influências destas especificações no efeito da ETCC seria analisar as diferenças apresentadas pelos estudos que não evidenciaram efeito da ETCC na aprendizagem motora (teste de retenção e/ou de transferência) e compará-las com as especificações dos estudos que analisaram as mesmas tarefas, ou tarefas semelhantes, e observaram efeito da estimulação. Assim, a Tabela 2.1.1 desta revisão está organizada por tarefa motora, as características do processo de aprendizagem da tarefa e das especificações de montagem da ETCC. Oito estudos desta revisão investigaram o uso da ETCC anódica cerebelar na aprendizagem motora (ver Tabela 2.1.1) e apenas três estudos (37,5%) não reportaram efeito da ETCC na aprendizagem motora (KATAGIRI et al., 2021; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; WESSEL et al., 2021). Mizuguchi, Katayama e Kanosue (2018) não observaram efeito da ETCC anódica, e nem da catódica, cerebelar na análise de adultos jovens aprendendo o lançamento de dardos ao alvo. Ainda neste

estudo, evidências favoráveis à ETCC catódica cerebelar na melhoria de desempenho da tarefa motora ocorreram, apenas, quando os autores dividiram o grupo experimental em dois subgrupos de participantes, um com baixa e outro com alta magnitude de performance inicial. Estes autores sugerem que a ETCC catódica cerebelar pode facilitar a aprendizagem de participantes com menor magnitude de performance inicial.

Resultados semelhantes que sugerem maior responsividade à ETCC por indivíduos com menor performance inicial na aprendizagem foram observados também por Parma et al. (2020), por Cole et al (2018b) e por Ciechanski et al. (2017), que aplicaram a ETCC anódica no M1 de adolescentes e adultos jovens. Estes autores evidenciaram o efeito da ETCC na aprendizagem motora quando subdividiram os participantes de seus estudos de acordo com as performances iniciais nas tarefas. Estes resultados demonstram que o efeito da ETCC anódica ou catódica, aplicada no M1 ou no cerebelo, na aprendizagem motora de adultos ou adolescentes, pode ser influenciado pela performance inicial dos participantes. Ao comparar as especificações da estimulação utilizada no estudo de Mizuguchi, Katayama e Kanosue (2018), com as especificações utilizadas no estudo de Jackson et al. (2019), que verificaram efeito da ETCC anódica cerebelar em jovens adultos aprendendo a tarefa de lançamento de bolas de tênis ao alvo, verifica-se que as mesmas especificações de estimulação foram utilizadas em ambos os estudos (ver Tabela 2.1.1). Isto sugere que as diferenças de resultados não se relacionam, somente, às diferentes especificações de montagem da ETCC. Apesar de serem tarefas semelhantes, é preciso considerar as diferenças mecânicas de suas execuções e a dificuldade em cada tarefa para alcançar o objetivo proposto (p. ex. acertar um pequeno dardo ou uma bola de tênis no centro do alvo). Dessa forma, os aspectos que tornam as tarefas mais ou menos difíceis podem influenciar o efeito da ETCC na aprendizagem motora.

Dentre os 24 estudos que analisaram o efeito da ETCC anódica aplicada no M1 na aprendizagem motora (teste de retenção), nove (37,5%) não apresentaram efeito desta estimulação em comparação à ETCC sham (BESSON et al., 2020; CIECHANSKI et al., 2018; FLIX-DIEZ et al., 2021; GAO et al., 2021; GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; VANCLEEF et al., 2016). Dois destes estudos não verificaram efeito da ETCC na aprendizagem da tarefa SVFI (LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019). Ao comparar as especificações de

estimulação destes estudos com outros estudos que analisaram a mesma tarefa e verificaram efeito da ETCC (KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; REIS et al., 2009; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013), observa-se que, diferentemente dos demais estudos, Lopez-Alonso et al. (2018) realizam a estimulação antes da prática da tarefa. Isso sugere que o momento da estimulação seja um fator importante na aplicação da ETCC anódica no M1. Todavia, Mooney, Cirillo e Byblow (2019) realizaram a estimulação durante a prática da tarefa SVFI e também não verificaram aprendizagem superior para a ETCC anódica do M1, demonstrando que, além do momento de estimulação, outras variáveis podem interferir no efeito da ETCC. Ao comparar o estudo de Mooney, Cirillo e Byblow (2019) com o estudo de Reis et al. (2009), verifica-se que ambos analisaram a mesma tarefa, utilizaram as mesmas especificações de estimulação, mas observaram diferentes efeitos da ETCC na aprendizagem motora (ver Tabela 2.1.1). Um fator muito diferente entre estes estudos é a quantidade de sessões e tentativas práticas. Mooney, Cirillo e Byblow (2019) realizaram uma sessão com 108 tentativas práticas da tarefa motora, o que é muito inferior às cinco sessões práticas e, conseqüentemente, às 800-1000 tentativas práticas realizadas por Reis et al. (2009). Estas diferenças entre os estudos reforçam que o número de sessões e a quantidade total de prática da tarefa motora são variáveis que também podem influenciar no efeito da ETCC.

Saucedo Marquez et al. (2013) evidenciaram efeito da ETCC anódica no M1 na aprendizagem da tarefa SVFI, mas não observaram o mesmo efeito na aprendizagem da tarefa de SPTD unimanual. Os autores sugerem que o efeito da ETCC seja dependente da tarefa praticada. Entretanto, outros três estudos analisaram a mesma tarefa SPTD unimanual e verificaram efeito da ETCC anódica no M1 (KIM; KIM; WRIGHT, 2021; WATERS-METENIER et al., 2014; WESSEL et al., 2021). Com exceção do estudo de Wessel et al. (2021), estes estudos utilizaram diferentes especificações de montagem da estimulação comparado ao estudo de Saucedo Marquez et al. (2013), como estimulação bihemisférica, maior tempo de estimulação (WATERS-METENIER et al., 2014), maior eletrodo alvo e maior intensidade da corrente elétrica (KIM; KIM; WRIGHT, 2021; WATERS-METENIER et al., 2014). Outro fator que difere entre os estudos é a quantidade de sessões práticas, com vantagem de quatro contra três sessões para os estudos de Waters-Metenier et al. (2014) e Wessel et al. (2021) em relação ao estudo de Saucedo Marquez et al. (2013), sugerindo que, possivelmente, a quantidade de tentativas práticas totais entre os estudos também seja diferente e tenha interferido no efeito da

ETCC. Todavia, Saucedo Marquez et al. (2013) não deixam claro o número total de tentativas práticas utilizadas em seu estudo (ver Tabela 2.1.1). Ciechanski et al. (2018) não verificaram diferenças na aprendizagem da tarefa MIC (laparoscopia) unimanual entre a ETCC anódica no M1 e a ETCC sham, após seis semanas sem prática da tarefa. Entretanto, Ciechanski et al. (2017) verificaram aprendizagem superior para a ETCC anódica no M1 em tarefa MIC (neurocirurgia) unimanual e nenhuma diferença nas especificações de estimulação, nas quantidades de sessões e de tentativas práticas é observada entre estes estudos. A diferença entre os estudos é que Ciechanski et al. (2017) só evidenciaram efeito da ETCC quando subdividiram os participantes de acordo com suas performances iniciais na tarefa motora. Gao et al. (2021) foram outros autores que analisaram a tarefa MIC (laparoscopia) e não evidenciaram efeito da ETCC anódica no M1, mesmo realizando 10 sessões de prática. Diferentemente do estudo de Ciechanski et al. (2018), no estudo destes autores a tarefa foi praticada de forma bimanual, a estimulação foi bihemisférica e a aplicação da mesma foi antes da prática. Com base em alguns estudos desta revisão, que verificaram efeito da ETCC bihemisférica em tarefas bimanuais (PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a, 2017b), a aplicação da estimulação antes, e não durante a prática da tarefa motora, pode ter comprometido o efeito da ETCC no estudo de Gao et al. (2021).

Flix-Díez et al. (2021), diferentemente de outros quatro estudos (CIECHANSKI; KIRTON, 2016; COLE et al., 2018b, 2018a; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017), não evidenciaram efeito da ETCC anódica no M1 durante a aprendizagem da tarefa PPT. Ao compara as características deste estudo com o estudo de Karok, Fletcher e Witney (2017), que também analisaram a tarefa PTT em adultos, verifica-se que este último estudo utilizou maior intensidade de corrente elétrica (1,5 mA), menor tempo de estimulação (15 min), menor quantidade de sessões práticas (3 sessões) e o membro não preferido durante a aprendizagem. Como estes dois estudos não reportam a quantidade total de tentativas práticas da tarefa, e uma vez que outros estudos desta revisão demonstraram efeito da ETCC aplicada com corrente elétrica de 15 mA (ver Tabela 2.1.1), o que parece ter influenciado negativamente no experimento de Flix-Díez et al. (2021), além dos autores terem utilizado uma montagem invertida dos eletrodos anódicos e catódicos, foi a aprendizagem de uma tarefa relativamente fácil ter sido realizada com a mão preferida. A tarefa PPT pode ser considerada, relativamente, fácil, pois envolve ações de pegar pequenos bastõezinhos de um local (p. ex. um pote ou pequeno buraco),

transportá-los e colocá-los em outro local (p. ex. pequenos buracos ou um pote). Essas características são semelhantes às contidas em tarefas realizadas com a mão preferida no cotidiano de jovens adultos (p. ex. pegar e transportar uma caneta, uma chave ou uma moeda para outro local), ou seja, os participantes já possuíam um bom desempenho na tarefa. Provavelmente, esse seja o motivo que fez os autores dos outros quatro estudos que evidenciaram efeito da ETCC na aprendizagem da tarefa PPT terem decidido realizar a prática da tarefa PPT com a mão não preferida.

Dentre os artigos que não verificaram efeito da ETCC anódica na aprendizagem motora, quatro deles foram os únicos que analisaram as tarefas exploradas em seus estudos (BESSON et al., 2020; GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; KATAGIRI et al., 2021; VANCLEEF et al., 2016), o que dificulta comparações das tarefas motoras e das especificações de montagens das ETCCs utilizadas nestes estudos. Todavia, com base nas análises efetuadas anteriormente nesta revisão, é possível sugerir que Vancleef et al. (2016) não verificaram efeito da ETCC anódica no M1 na aprendizagem de tarefa bimanual de rastreamento de ponto móvel, pois, utilizaram estimulação uni e não bihemisférica. Contudo, Azarpaikan et al. (2020, 2021a, 2021b) verificaram efeito da ETCC anódica cerebelar unihemisférica em três diferentes experimentos de aprendizagem da tarefa bimanual de traçar percurso (Vienna Test System), sugerindo que o local de estimulação seja um fator importante na determinação do efeito da ETCC unihemisférica em tarefas bimanuais. Diferentemente de Vancleef et al. (2016), Gomes-Osman e Field-Fote (2013) utilizaram estimulação bihemisférica na aprendizagem de tarefa bimanual (ver Tabela 2.1.1), mas também não verificaram efeito da ETCC anódica no M1. As análises dos estudos desta revisão sugerem que estes autores não verificaram efeito, pois as estimulações foram realizadas antes e não durante a prática da tarefa motora. Esta mesma especificação da ETCC (estimulação antes da prática) possivelmente tenha sido o motivo que comprometeu o efeito da ETCC anódica cerebelar no estudo de Katagiri et al. (2021). Outro aspecto importante que pode ter influenciado nos resultados destes quatro estudos que não verificaram efeito da ETCC é a quantidade de tentativas práticas das tarefas motoras, visto que estes estudos não apresentam a curva de desempenho (GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013) ou a curva apresentada não demonstra por meio de “platô de aprendizagem” que a quantidade de prática reportada pelos autores tenha sido suficiente para proporcionar a aprendizagem das tarefas motoras analisadas (BESSON et al., 2020; KATAGIRI et al., 2021; VANCLEEF et al., 2016).

2.1.4 DISCUSSÃO

O objetivo desta revisão sistemática foi analisar o efeito da ETCC na aprendizagem motora em estudos que realizaram teste de retenção e/ou transferência (período ≥ 24 horas) e compreender se este efeito é dependente das características da tarefa motora e/ou das especificações de montagem e aplicação da ETCC. Ressalta-se que esta é a primeira revisão sistemática a incluir, somente, estudos que utilizaram delineamentos clássicos da área da aprendizagem motora, isto é, análises pré-teste, pós-teste e de retenção e/ou transferência. Os artigos inclusos nesta revisão apresentam pontos metodológicos classificados com “baixo” risco de viés. Entretanto, todos os artigos também apresentam pontos classificados com risco de viés “inconclusivo”, exigindo que os resultados da maioria destes estudos sejam assumidos com cautela. Com base nestes estudos, esta revisão sistemática sugere haver efeito da ETCC anódica, tanto a aplicada no M1 quanto a aplicada no cerebelo, na aprendizagem motora (maior magnitude de aprendizagem na comparação com a estimulação sham), e que este efeito não é apenas dependente das características da tarefa motora ou das especificações de montagem e aplicação da ETCC, mas da interação entre estas características. Os resultados também demonstraram que informações importantes em estudos de aprendizagem motora, tal como a quantidade total de tentativas práticas e a curva de desempenho, não têm sido apresentadas de forma satisfatória pela maioria dos artigos analisados. Isto compromete a análise e a interpretação dos estudos que não verificam efeito da ETCC na aprendizagem motora, pois não é possível determinar se a ETCC não foi eficaz ou se a quantidade de prática da tarefa motora foi insuficiente para proporcionar a retenção e/ou transferência de aprendizagem esperada.

Efeito da ETCC anódica na retenção da aprendizagem motora

O efeito da ETCC na retenção da aprendizagem motora foi verificado em 21 dos 31 estudos inclusos nesta revisão. Destes 21 estudos, 16 verificaram efeito da ETCC anódica no M1 (CIECHANSKI et al., 2017; CIECHANSKI; KIRTON, 2016; COLE et al., 2018b, 2018a; FOERSTER et al., 2018; KAROK; FLETCHER; WITNEY, 2017; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; PARMA et al., 2020; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a, 2017b; REIS et al., 2009; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; WATERS-METENIER et al., 2014; WESSEL et al., 2021; YAMAGUCHI et al., 2020). Essa ampla evidência a respeito do efeito da estimulação do M1 na retenção de aprendizagem motora pode ser explicada pelo

fato de essa estrutura cerebral ser considerada parte importante de uma rede cortical ativa que influencia na realização e no controle de movimentos voluntários (SANES; DONOGHUE, 2000). Desde que Nitsche e Paulus (2000) observaram que a ETCC anódica aplicada no M1 aumenta a excitabilidade cortical em humanos, o M1 tem sido considerado uma estrutura cerebral chave para o aumento da retenção de aprendizagem motora por meio da ETCC anódica (AMMANN; SPAMPINATO; MÁRQUEZ-RUIZ, 2016; REIS et al., 2009; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013). Um dos mecanismos fisiológicos que explica o efeito da ETCC anódica na retenção da aprendizagem motora, mesmo horas e dias após o término da prática de uma tarefa motora, está relacionado à potenciação de longo prazo (PLP), um mecanismo de neuroplasticidade que potencializa e facilita as conexões sinápticas futuras (ANTAL et al., 2007; RIOULT-PEDOTTI; FRIEDMAN; DONOGHUE, 2000; STAGG; ANTAL; NITSCHKE, 2018), como ocorre em um processo de aprendizagem motora. Neste processo, a polarização anódica fortalece as novas associações formadas entre os neurônios por meio de novos e preferidos padrões de disparos (DE XIVRY; SHADMEHR, 2014). Assim, as informações relevantes para o desempenho da tarefa são memorizadas e a retenção de aprendizagem motora é caracterizada quando o aprendiz, mesmo após um período sem prática, consegue reutilizar estas informações para executar a tarefa motora com desempenho superior ao início de sua aprendizagem (MAGILL, 1998; SCHMIDT; WRISBERG, 2008).

O córtex cerebelar foi outra estrutura estimulada em boa parte dos estudos desta revisão, mais especificamente, em oito. Em cinco destes (AZARPAIKAN et al., 2020, 2021a, 2021b; CANTARERO et al., 2015; JACKSON et al., 2019) o efeito da ETCC anódica na retenção da aprendizagem motora foi verificado. Este escasso número de análises sobre a estimulação cerebelar, comparado às análises sobre a estimulação no M1, corrobora com os resultados reportados na revisão sistemática de Kumari, Taylor e Signal (2019). Os autores analisaram, somente, estudos controlados e aleatorizados sobre o efeito da ETCC cerebelar na aprendizagem de curta (< 24 horas) e de longa duração (> 24 horas) e observaram que, apenas, três de cinco estudos verificaram efeito na retenção de aprendizagem. Isso demonstra que, apesar de apresentar alguma influência, esta estrutura cerebral tem sido pouco explorada em relação à ETCC na retenção de aprendizagem motora. Dentre os cinco estudos reportados por Kumari, Taylor e Signal (2019), somente os resultados de Jackson et al. (2019) são apresentados nesta revisão, uma vez que os outros quatro estudos não se enquadraram nos critérios de elegibilidade

desta revisão (ver sessão de Método). Em suma, com base nos estudos desta revisão, o efeito da ETCC anódica na retenção de aprendizagem motora parece ser proporcionado quando o córtex cerebelar e, principalmente, o M1 são estimulados (AMMANN; SPAMPINATO; MÁRQUEZ-RUIZ, 2016; REIS et al., 2009; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013). Este efeito se dá por meio de processos intracelulares que provocam neuroplasticidade dos neurônios e quanto maior é a frequência e a repetição destes processos intracelulares, como ocorre, por exemplo, em sessões de aquisição ou reabilitação de uma habilidade motora, maior é a potencialização de futuras conexões sinápticas. Com esta neuroplasticidade, processos de comunicação neuromuscular (durante os movimentos) e de memorização das informações relevantes (durante e após a prática da tarefa motora) parecem ser facilitados, proporcionando a retenção da aprendizagem motora.

Efeito dependente da interação entre as características da tarefa e as especificações da ETCC

A análise dos estudos inclusos nesta revisão demonstra que o efeito da ETCC na retenção e/ou transferências de aprendizagem motora não é, apenas, dependente da tarefa ou das especificações de montagem e aplicação da ETCC, mas da interação entre estas características. Saucedo Marquez et al. (2013) analisaram a aprendizagem de duas diferentes tarefas motoras (SVFI e SPTD) e verificaram efeito da ETCC, somente, na retenção de aprendizagem da tarefa de SVFI, sugerindo efeito tarefa-dependente para a ETCC na retenção de aprendizagem motora. Se o efeito da ETCC fosse dependente, apenas, das características da tarefa, resultados semelhantes ao reportado pelos autores seriam observados pelos demais estudos que analisaram as mesmas tarefas. Todavia, outros estudos que analisaram a aprendizagem da SVFI ou da SPTD apresentam tanto resultados favoráveis (CANTARERO et al., 2015; REIS et al., 2009; WATERS-METENIER et al., 2014) quanto desfavoráveis (GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; LOPEZ-ALONSO et al., 2018) para o efeito da ETCC na aprendizagem destas duas tarefas. Assim, outros aspectos se somam e interagem com as características da tarefa e influenciam o efeito da ETCC. Dentre esses aspectos, as especificações de montagem e aplicação da ETCC possuem grande impacto no efeito proporcionado por esta técnica de estimulação (NASSERI; NITSCHKE; EKHTIARI, 2015; NITSCHKE et al., 2015; WOODS et al., 2016). Quando se trata dos aspectos relacionados às especificações de montagem e aplicação da ETCC, alguns parâmetros, como o tamanho do eletrodo, o seu

posicionamento, a intensidade da corrente elétrica, sua densidade e a duração da estimulação já estão bem estabelecidas na literatura (NASSERI; NITSCHKE; EKHTIARI, 2015; NITSCHKE et al., 2015; WOODS et al., 2016) e devem ser seguidos independentemente da tarefa motora praticada durante a estimulação. Contudo, outros parâmetros, como o tipo de estimulação (uni ou bihemisférica anódica), local de estimulação (M1 ou cerebelo), momento de estimulação (antes ou durante a prática motora) e a quantidade de sessões de estimulação, parecem estar diretamente relacionados com as características da tarefa motora praticada. De acordo com os estudos desta revisão, a ETCC anódica bihemisférica com ativação bilateral no M1 proporciona efeito na retenção de aprendizagem das tarefas motoras unimanuais (PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a) e bimanuais (PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a, 2017b). Contudo, a análise da ETCC unihemisférica anódica no M1 na aprendizagem de tarefa bimanual não apresentou efeito (VANCLEEF et al., 2016), sugerindo interação entre a característica da tarefa (uni ou bimanual) e a especificação de montagem da ETCC (bihemisférica anódica nos dois M1). Isto pode ser explicado pela diferença de ativação neural dos hemisférios cerebrais em tarefas uni e bimanuais (GOMES-OSMAN; FIELD-FOTE, 2013; GREFKES et al., 2008; MCCOMBE WALLER et al., 2008; NEVA; LEGON; STAINES, 2012; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a). Grefkes et al. (2008) verificaram por meio de ressonância magnética funcional que há maior ativação neural no hemisfério contralateral quando uma das mãos é utilizada e que a ativação neural aumenta em ambos os hemisférios quando a tarefa é bimanual. Similarmente, Neva, Legon e Staines (2012) verificaram por meio de estimulação magnética transcraniana o aumento da excitabilidade cortical dos hemisférios cerebrais direito e esquerdo durante o treinamento de movimentos bilaterais de punho. Logo, a ETCC bihemisférica anódica nos dois M1 durante a prática de tarefas bimanuais parece potencializar a ativação cortical e maximizar a retenção de aprendizagem da tarefa motora, em comparação à aprendizagem motora com a ETCC unihemisférica ou sem a estimulação. Esse resultado deve ser aceito com cautela, pois essa informação é baseada em apenas três estudos encontrados em toda a literatura. Assim, mais estudos são necessários para consolidar essa informação.

Em diferentes experimentos com tarefa bimanual e estimulação unihemisférica anódica do córtex cerebelar, Azarpaikan et al. (2020, 2021a, 2021b) verificaram efeito na aprendizagem da tarefa de traçar percurso em um monitor, movendo um ponto vermelho

utilizando dois joysticks. Com base nos resultados destes estudos, o córtex cerebelar parece ser uma estrutura mais apropriada que o M1 para estimulações uni-hemisféricas na aprendizagem de tarefas bimanuais. O cerebelo parece ser uma das estruturas cerebrais responsáveis pelo planejamento, coordenação, memorização e, conseqüentemente, pela aprendizagem das ações multimembros em tarefas bimanuais (AZARPAIKAN et al., 2021a; LATASH, 2008; NAIR et al., 2003) Semelhantemente ao M1, o cerebelo apresenta maior ativação em um dos seus hemisférios quando uma tarefa unimanual é realizada e aumento na ativação dos dois hemisférios cerebelares durante a execução de tarefa bimanual (NAIR et al., 2003). Entretanto, a distância entre os hemisférios cerebelares é bem menor em relação aos hemisférios onde estão localizados os M1s direito e esquerdo. Assim, uma explicação para o efeito da ETCC cerebelar unihemisférica evidenciado nos estudos de Azarpaikan et al. (2020, 2021a, 2021b) parece estar relacionada à anatomia do cerebelo e ao posicionamento do eletrodo anódico utilizado nestes estudos. Os autores posicionaram este eletrodo centralizadamente entre os dois hemisférios cerebelares, a uma distância de 2,5 ou 3 cm bilateral ao ílion, o que contribuiu possivelmente para a estimulação simultânea dos dois hemisférios cerebelares, mesmo utilizando apenas um eletrodo. Gomez-Tames et al. (2019) simularam computacionalmente a distribuição de estimulação por ETCC cerebelar em diferentes posicionamentos dos eletrodos e os resultados destas simulações demonstram que os dois hemisférios cerebelares são estimulados quando o eletrodo alvo é posicionado centralmente, de forma que parte de ambos os hemisférios estejam sob o eletrodo.

Dentre os estudos que utilizaram a ETCC bihemisférica anódica no M1 na aprendizagem de tarefas bimanuais, Gomes-Osman e Field-Fote (2013) e Gao et al. (2021), possivelmente, não verificaram o efeito da estimulação porque estes autores aplicaram a ETCC em momentos diferentes (antes e não durante a prática da tarefa motora) em relação aos demais estudos desta revisão que verificaram efeito da ETCC (PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017a, 2017b). Lopez-Alonso et al. (2018) aplicaram a ETCC anódica unihemisférica no M1 previamente a prática da SVFI e também não verificaram efeito da estimulação, sugerindo que o momento da aplicação da ETCC uni ou bihemisférica seja importante para a ocorrência da retenção de aprendizagem motora. Uma possível explicação para este efeito tempo-dependente é a teoria de plasticidade homeostática, a qual estabelece a existência de um mecanismo estabilizador das atividades neurais dentro de uma amplitude fisiológica ideal (BIENENSTOCK; COOPER; MUNRO, 1982). Como evidenciado experimentalmente

por estudos que aplicaram a ETCC seguida de outro evento neuromodulador, como a própria prática da tarefa motora ou a estimulação magnética transcraniana repetitiva (SIEBNER et al., 2004; STAGG; NITSCHKE, 2011), este mecanismo atua após a elevação (ou redução) da atividade sináptica, reduzindo (ou aumentando) a atividade neural após início de um evento neuromodulador seguinte. Por exemplo, quando a ETCC (primeiro evento) é aplicada previamente à prática da tarefa motora, o aumento da excitabilidade neural provocada pela modulação da estimulação é revertido a partir do início da modulação da prática motora (evento seguinte), causando a plasticidade homeostática e inibindo a retenção da aprendizagem motora. Quatro dos seis estudos que aplicaram a ETCC no M1 não verificaram o efeito da estimulação na aprendizagem motora (ver tabela 2.1.1), sugerindo que a ETCC no M1 durante, e não antes, a prática da tarefa motora aumentaria as chances do efeito da ETCC ocorrer. Contudo, Sriraman, Oishi e Madhavan (2014) e Parma et al. (2020) aplicaram a ETCC no M1 antes da prática motora e verificaram retenção de aprendizagem nas tarefas uni e bimanuais, respectivamente. Assim, novos estudos que analisem o efeito tempo-dependente da ETCC na retenção de aprendizagem de tarefas uni e bimanuais são necessários para maior entendimento da interação entre as características das tarefas motoras e o momento de aplicação da ETCC.

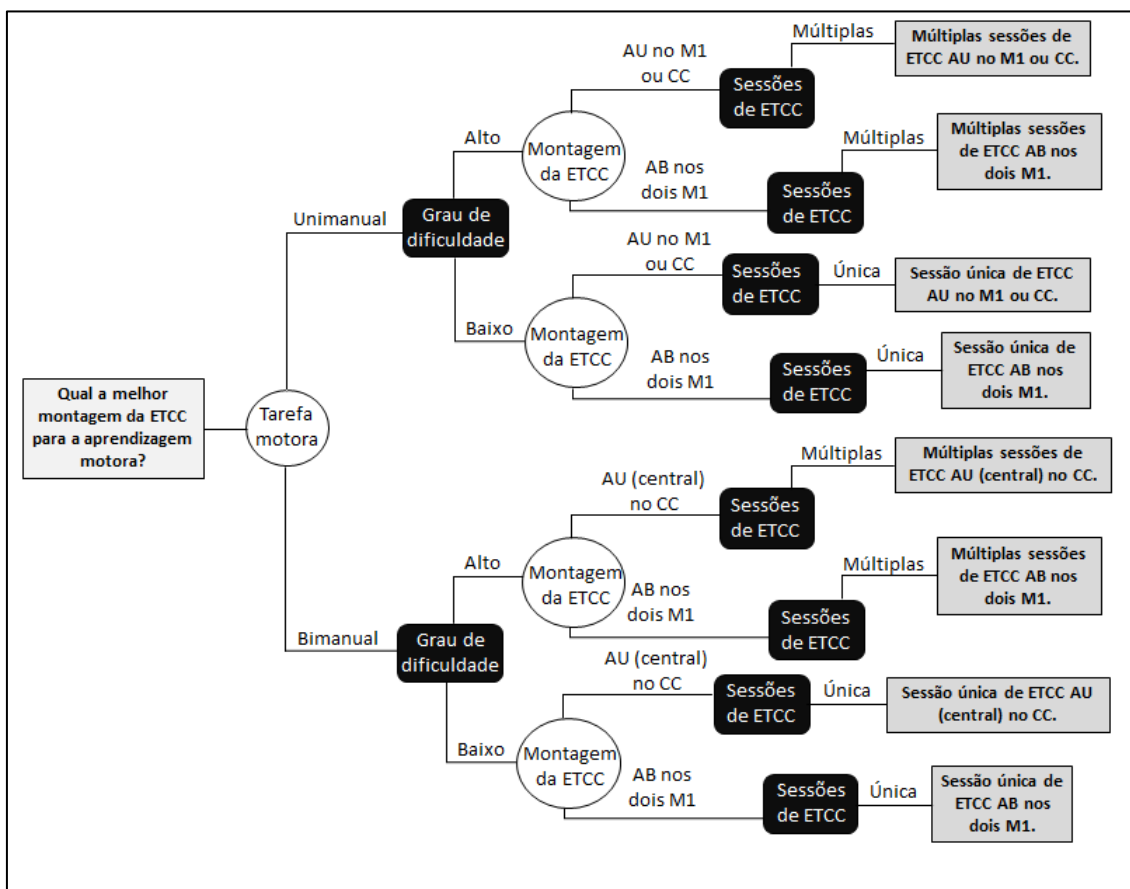
O número de sessões é outro aspecto da ETCC que parece interagir com as características da tarefa motora e influenciar no efeito da estimulação na retenção de aprendizagem motora. Dentre os 21 estudos desta revisão que reportaram efeito da ETCC, 15 realizaram múltiplas sessões de estimulação e de prática motora (ver Tabela 2.1.1). Além disso, estudos que aplicaram a ETCC anódica no M1 na aprendizagem de tarefas idênticas ou semelhantes (MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; REIS et al., 2009; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; WATERS-METENIER et al., 2014), demonstram que o efeito da ETCC aplicada no M1 é evidenciado nos experimentos que utilizam maior número de sessões. O efeito da ETCC em múltiplas sessões parece estar relacionado à síntese proteica no M1 após sessões de práticas (LUFT et al., 2004; LUFT; BUITRAGO, 2005) e à necessidade do sono para a consolidação da retenção de aprendizagem motora (KARNI et al., 1994; ROBERTSON; PASCUAL-LEONE; PRESS, 2004). Se o sono é realmente um pré-requisito para a retenção, os efeitos do ETCC podem resultar do sono.

Possivelmente, a aprendizagem motora com a ETCC potencialize a síntese proteica ocorrida no M1, desencadeando a formação, ao longo dos dias de prática, de circuitos neurais envolvidos na retenção de aprendizagem (LUFT; BUITRAGO, 2005). Entre um dia e outro de sessão prática, processos celulares associados à consolidação da

memória ocorrem durante o sono (KARNI et al., 1994), contribuindo para minimizar reduções de desempenho entre as últimas e as primeiras tentativas práticas de sessões subsequentes (aprendizagem offline). Assim, como evidenciado em experimentos com a tarefa SVFI (REIS et al., 2009; WATERS-METENIER et al., 2014), quanto menor a piora de desempenho, maior é a aprendizagem entre as sessões, a aprendizagem total após o período de aquisição da tarefa e, associado ao efeito da ETCC na síntese proteica no M1, maior é a retenção de aprendizagem motora. Contudo, em experimentos com diferentes tarefas motoras a retenção de aprendizagem foi evidenciada mesmo com, apenas, uma sessão de ETCC anódica no M1 durante a prática motora (CIECHANSKI et al., 2017; FOERSTER et al., 2018; KIM; KIM; WRIGHT, 2021; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014; YAMAGUCHI et al., 2020), sugerindo efeito dependente da interação entre o número de sessões de ETCC e as características da tarefa motora. A Figura 2.1.3 apresenta uma árvore de decisão referente às interações entre as características da tarefa motora e as especificações de montagem da ETCC.

Diretamente relacionado à quantidade de sessões, o número total de tentativas práticas da tarefa é uma variável importante do processo de aprendizagem motora (BRAGANHOLO et al., 2013), uma vez que o monitoramento e a avaliação da aprendizagem dependem dos dados de desempenho das tentativas práticas para a elaboração da curva de desempenho e para qualquer suposição sobre a aprendizagem motora (ADAMS, 1987; MAGILL, 1998; SCHMIDT; WRISBERG, 2008). Quando os estudos com tarefas motoras idênticas ou semelhantes são comparados, verifica-se que aqueles que reportaram efeito da ETCC utilizaram maior quantidade de sessões e de tentativas práticas em seus delineamentos. Logo, além da quantidade ideal de sessões de ETCC, um número mínimo de tentativas práticas para que o aprendiz assimile os aspectos básicos necessários para a aprendizagem da tarefa é de fundamental importância. Ciechanski et al. (2017, 2018) utilizaram a mesma quantidade de prática durante a aprendizagem de manipulação de instrumentos cirúrgicos em uma sessão de ETCC e verificaram resultados divergentes. Como, sugerido pelos autores, o efeito da ETCC na retenção de aprendizagem não se verificou devido à necessidade de maior número de prática da tarefa motora (CIECHANSKI et al., 2018). Apesar da importância da quantidade de tentativas práticas no processo de aprendizagem motora, alguns estudos

Figura 2.1.3 - Interação entre as características da tarefa motora e as especificações de montagem da ETCC.



ETCC: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua; AU: Anódica Unihemisférica; AB: Anódica Bihemisférica; M1: córtex motor primário; CC: Córtex Cerebelar. (central): eletrodo posicionado entre os hemisférios cerebelares.

desta revisão não reportam, ou deixam claro, o número de tentativas práticas utilizadas e nem apresentam curvas de desempenho com indicativos de estabilização do desempenho.

A estabilização do desempenho, ou “platô de aprendizagem”, verificado após um primeiro momento de rápido aperfeiçoamento, seguido de outro momento de consistência do desempenho, é entendida como uma fase de transição entre o aprendizado dos aspectos básicos e o aprendizado dos aspectos de hierarquia superior da tarefa motora, que dependem de quantidade elevada de prática para serem aprendidos (BRYAN; HARTER, 1897). Mesmo que a aprendizagem possa prosseguir após essa fase de estabilização do desempenho, o entendimento de que o “platô de aprendizagem” represente a conclusão de uma primeira fase do processo de aprendizagem motora demonstra que esta estabilização de desempenho pode ser utilizada como indicativo de que a quantidade mínima necessária de prática para a aprendizagem dos aspectos básicos da tarefa foi

atingida. Todavia, esse indicativo de aprendizagem não deve substituir o teste de retenção e/ou transferência realizado após período sem prática (ADAMS, 1987; MAGILL, 1998; SCHMIDT; WRISBERG, 2008). Assim, o mesmo cuidado que os estudos demonstram com as especificações de montagem e aplicação da ETCC (NASSERI; NITSCHKE; EKHTIARI, 2015), deve também ser demonstrado na seleção e na descrição da quantidade de tentativas práticas a serem utilizadas nos experimentos de estudos futuros, para que as dúvidas sobre a falta de efeito da ETCC ter ocorrido em função de quantidade insuficiente de prática motora possam ser minimizadas.

Com base nos resultados de alguns estudos desta revisão (CIECHANSKI et al., 2017; COLE et al., 2018b; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018; PARMA et al., 2020), futuros estudos devem considerar, também, a performance inicial dos participantes na tarefa motora como uma variável importante no processo de análise e determinação do efeito da ETCC na aprendizagem motora. Esta variável está diretamente ligada ao grau de dificuldade inicial da tarefa, podendo o mesmo ser menor para alguns participantes e maior para outros. Assim, análises de subgrupos formados de acordo com o desempenho inicial dos participantes dos grupos experimentais e controle podem auxiliar na verificação do efeito da ETCC. Quando o grau de dificuldade da tarefa motora é alto, o desempenho inicial do participante é baixo e a potencialização da aprendizagem por meio da ETCC parece ser facilitada (MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018). Por outro lado, quando o grau de dificuldade da tarefa é baixo para o participante, seu desempenho inicial na tarefa motora é alto e poucas sessões, e tentativas práticas, com a ETCC serão insuficientes para proporcionar aumentos significativos na aprendizagem motora (CIECHANSKI et al., 2017). Um “efeito teto de desempenho” parece ocorrer nos participantes com alto desempenho inicial, pois estes parecem iniciar o processo de aprendizagem já com alguns aspectos básicos da tarefa motora em mente e próximos do “platô de aprendizagem” (fase de transição para aspectos de hierarquia superior da tarefa motora) (BRYAN; HARTER, 1897). Dessa forma, quanto maior o grau de dificuldade da tarefa motora, e mais próximo ao estágio inicial de aprendizagem estiver o participante, maiores serão as possibilidades de melhorias de desempenho e verificação do efeito da ETCC na aprendizagem motora (PARMA et al., 2020; TSENG et al., 2012).

Todos os resultados apresentados e discutidos aqui consideram as limitações desta revisão sistemática, a qual é formada por estudos que apresentam grande variabilidade no tamanho amostral utilizado, nas tarefas motoras aprendidas, no número de sessões e

tentativas práticas, nas medidas de desempenho e de aprendizagem motora, bem como na grande variabilidade das especificações de montagem e aplicação da ETCC (ver Tabela 2.1.1). Outra limitação é que mais de 50% dos estudos apresentam risco incerto de viés em algum dos itens analisados, o que pode ou não interferir negativamente nas considerações finais desta revisão sistemática (ver Figura 2.1.2B). Apesar das limitações, esta revisão sistemática contribui com informações importantes para o melhor entendimento sobre o efeito da ETCC na retenção de aprendizagem motora e sobre os aspectos relacionados às características da tarefa motora e às especificações de montagem da ETCC que interagem e influenciam neste efeito da estimulação. Com base nas evidências compiladas nesta revisão sistemática, recomendamos que pesquisadores e outros profissionais: (1) usem ETCC anódica unihemisférica em M1 na aprendizagem de tarefas unimanuais; (2) use ETCC anódica bihemisférica em ambos M1 na aprendizagem de tarefas uni e bimanuais; (3) use ETCC anódica unihemisférica (unilateral) no CC na aprendizagem de tarefas unimanuais; (4) use ETCC anódica unihemisférica (central) no CC na aprendizagem de tarefas bimanuais; (5) use sessão única de ETCC em tarefas motoras com menor grau de dificuldade; (6) use múltiplas sessões de ETCC em tarefas com maior grau de dificuldade; (7) sempre garanta ao aprendiz a quantidade suficiente de prática na tarefa motora para atingir o "platô" na curva de desempenho.

A partir das evidências compiladas nesta revisão, futuros estudos sobre aprendizagem motora e a ETCC são necessários para preencher algumas lacunas evidenciadas, como a necessidade de mais estudos sobre o efeito da ETCC na aprendizagem motora de crianças (< 13 anos) e idosos, na aprendizagem de tarefas podais, na aprendizagem de tarefas laborais e esportivas. Como a aprendizagem motora é avaliada por meio das variações no comportamento observado do desempenho de uma tarefa motora e as melhorias de desempenho durante a aprendizagem, normalmente, são acompanhadas de modificações no controle de movimento, a compreensão das alterações no controle motor proporcionadas pelo efeito da ETCC durante a aprendizagem motora é um campo que necessita ser mais bem explorado. Futuros estudos que testem a aplicação da ETCC em outras estruturas cerebrais relacionadas ao movimento humano, como o córtex pré-frontal, áreas pré-motoras e área motora suplementar, ou que comparem as estruturas cerebrais mais testadas pelos estudos desta revisão (M1 e cerebelo), também são necessários.

2.1.5 CONCLUSÃO

A ETCC anódica no M1 e no córtex cerebelar potencializa a aprendizagem motora e as melhorias de desempenho proporcionadas pela estimulação permanecem por dias, semanas e meses, mesmo sem a prática motora. O efeito da ETCC na aprendizagem motora parece ser dependente da interação entre as especificações de montagem da ETCC e as características da tarefa motora. Com base nos estudos inclusos nesta revisão, o efeito da ETCC na aprendizagem de tarefas unimanuais ocorre tanto com a aplicação da estimulação anódica uni quanto bihemisférica (bilateral) no M1. Em tarefas bimanuais o efeito da ETCC é verificado quando a estimulação aumenta a ativação cortical nos dois hemisférios, o que é proporcionado quando a ETCC anódica bihemisférica (bilateral) é aplicada no M1 ou quando a ETCC unihemisférica anódica é aplicada centralmente no cerebelo. No entanto, mais estudos são necessários para consolidar essa conclusão. Múltiplas sessões de ETCC e, conseqüentemente, elevadas quantidades de tentativas práticas são determinantes para que o efeito da estimulação ocorra na aprendizagem de tarefas com maior grau de dificuldade. Em contrapartida, uma única sessão de ETCC, com quantidades suficientes de prática, parece proporcionar efeito em tarefas com menor grau de dificuldade. Por fim, como a quantidade de prática motora é determinante para promover a aprendizagem, e como os estudos que não evidenciaram efeito da ETCC parecem ter falhado no controle desta variável, esta revisão sugere que futuros estudos promovam a prática até que a estabilização do desempenho, ou “platô de aprendizagem”, ocorra e que o número de tentativas práticas utilizado seja sempre reportado pelos autores. As informações apresentadas nesta revisão podem auxiliar pesquisadores e profissionais que atuam com a EET na aprendizagem ou na reabilitação de habilidades motoras, na seleção de montagens eficazes da ETCC que interajam positivamente com as características da tarefa motora e potencializem a retenção do desempenho de habilidades motoras laborais, esportivas e cotidianas.

3 ESTUDO 2

3.1 ESTUDO EXPERIMENTAL

Efeito da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua do Córtex Motor Primário e Cerebelo no Controle e Aprendizagem de Tarefas de Contornar Figura Geométrica com Diferentes Demandas Cognitivas

RESUMO

A função do córtex motor primário (M1), juntamente com outras áreas cerebrais, é receber informações sobre o planejamento da ação motora a ser realizada e efetuar os ajustes para sua execução. Por outro lado, o cerebelo (CC), juntamente com outras áreas cerebrais, planeja, compara/corriga e coordena os movimentos. Assim, sua função estaria mais evidente em tarefas com maior demanda cognitiva. O objetivo do presente estudo foi comparar o efeito da ETCC aplicada no M1 e no CC na aprendizagem e no controle de habilidades motoras com diferentes demandas cognitivas (planejamento viso-motor) controladas via *feedback online*. Em dois experimentos (I: tarefa com menor demanda cognitiva; II: tarefa com maior demanda cognitiva), três grupos (M1, cerebelo e sham) receberam a ETCC anódica em sessão única, para desempenhar tarefas de desenho geométrico em uma mesa digitalizadora. A aprendizagem motora foi verificada pelo tempo de movimento (TM) e tempo em erro (TE), enquanto o controle motor foi verificado pelas quantidades de submovimentos corretivos e picos de velocidade (nPico). Tanto na tarefa com menor demanda cognitiva, quanto na tarefa com maior demanda, os grupos reduziram TM, TE, nPico e submovimentos, mantendo estes desempenhos nos tetes de retenção. Entretanto, os desempenhos dos grupos M1 e CC não foram maiores em nenhum momento comparado ao grupo sham. Assim, a ETCC anódica no M1 ou no CC não proporcionou efeitos positivos nos processos de aprendizagem motora e controle de movimento via *feedback online* em tarefas de desenho geométrico com diferentes demandas cognitivas. Isso pode ter ocorrido devido à variabilidade intra e interindividual de sensibilidade dos participantes à estimulação cerebral e ao efeito do próprio processo natural, que parece ser suficiente para garantir as adaptações moleculares necessárias para as melhorias na aprendizagem motora e no controle motor de pessoas pouco sensíveis à ETCC.

Palavras-chave: ETCC; Córtex Motor Primário; Cerebelo; Aprendizagem Motora; Controle Motor, Demandas cognitivas; Mapa viso-motor.

3.1.1 INTRODUÇÃO

A estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) é uma técnica segura e não invasiva de estimulação cerebral (NITSCHKE; PAULUS, 2000). Nesta técnica, correntes de baixa intensidade são aplicadas com a utilização de dois ou mais eletrodos que induzem a despolarização (estimulação anódica) ou hiperpolarização (estimulação catódica) da membrana dos neurônios, alterando seu limiar de resposta, facilitando o início das conexões sinápticas e promovendo a neuroplasticidade sináptica (FERTONANI; MINIUSI, 2017; NITSCHKE et al., 2003b; STAGG; ANTAL; NITSCHKE, 2018; WOODS et al., 2016; ZAGHI et al., 2010). A ETCC tem sido utilizada em estudos envolvendo a aprendizagem de habilidades motoras e tem promovido desempenhos superiores durante e após o período de aquisição da tarefa analisada (BOGGIO et al., 2006; FAN et al., 2017), bem como após períodos de 24 horas (FOERSTER et al., 2018; SRIRAMAN; OISHI; MADHAVAN, 2014), dias (LOPEZ-ALONSO et al., 2018; WATERS-METENIER et al., 2014) ou semanas sem prática da tarefa motora (COLE et al., 2018a; REIS et al., 2009). Apesar das evidências do efeito da ETCC na melhoria de desempenho e na retenção de aprendizagem motora (persistência do desempenho após período sem prática), pouco se sabe sobre o efeito da ETCC nos mecanismos de controle de movimentos.

Waters-Meternier et al. (2014) analisaram a aprendizagem de sequência predeterminada de toques de dedos (p.ex. pressionar teclas em computador ou piano) e toques simultâneos de dedos (p.ex., teclar com dois ou três dedos). Medindo a quantidade de força nas teclas pressionadas e nas teclas que os dedos estavam em repouso, os autores observaram que, além da melhor aprendizagem em comparação ao grupo Sham, os participantes estimulados com a ETCC anódica no córtex motor primário (M1) realizaram os movimentos dos dedos mais rápidos e sincronizados. Além disso, os autores verificaram que os participantes aprenderam novas sinergias musculares que contribuíram para a melhoria e retenção do desempenho na tarefa. Matsuo et al. (2011) compararam os movimentos dos participantes que receberam ETCC anódica no M1, antes de realizarem cinco tentativas da tarefa de desenhar círculo (contornar borda da figura), com os movimentos dos participantes do grupo Sham que receberam estimulação placebo. Os autores observaram menor desvio de área e menor comprimento do trajeto do desenho do grupo ETCC, imediatamente após e 30 minutos depois da estimulação, sugerindo que a ETCC anódica no M1 tem efeito no controle motor e melhora a precisão

de movimentos das mãos. Todavia, os resultados de Matsuo et al. (2011) não permitem afirmar que a diferença na precisão de movimentos entre os grupos ETCC anodal e Sham se mantenha (1) após quantidades maiores de repetições da tarefa, como em um processo de aprendizagem ou reabilitação de habilidades motoras, e (2) após período sem prática igual ou superior a 24 horas, o que caracterizaria efeito na retenção de aprendizagem motora. Apesar das variáveis espaciais utilizadas pelos autores demonstrarem melhorias de desempenho na velocidade e precisão de movimentos, elas não deixam claro se houve também alterações no controle motor dos participantes.

Alterações no controle motor proporcionam movimentos mais rápidos, precisos e podem ser verificadas por meio de análises cinemáticas que forneçam informações temporais (p.ex., velocidade e aceleração) dos movimentos (ELLIOTT et al., 2004; MEYER et al., 1988; PEREIRA; MARQUES; OKAZAKI, 2014). Para explicar o controle de movimentos rápidos e precisos, Meyer et al. (1988) propuseram o modelo estocástico dos submovimentos, o qual sugere que este tipo de movimento seja controlado por pré-programação e *feedback online*. Assim, os parâmetros de amplitude e direção do movimento seriam pré-programados antes do início e, quando necessário, corrigidos durante a realização. Por exemplo, se a velocidade de movimento para desenhar o vértice de um quadrado for pré-programada corretamente, a caneta chegará ao final do vértice da figura em um único movimento (submovimento primário), ou seja, sem correções ao longo da trajetória. Todavia, se a programação não for ideal, será necessário reajustar a velocidade para alcançar o objetivo planejado e correções, representadas pelos submovimentos secundários, serão geradas para garantir o alcance da meta da tarefa.

A análise dos submovimentos também tem sido utilizada para avaliar a reabilitação de movimentos, tal como a recuperação dos movimentos de membros superiores de pacientes pós-acidente vascular cerebral (DIPIETRO et al., 2012; NAGHIBI et al., 2020; ROHRER et al., 2002). A revisão sistemática com metanálise de Naghibi et al. (2020) confirma que alterações na quantidade e na duração dos submovimentos ocorrem durante a recuperação e sugere que os submovimentos poderiam ser utilizados como nova medida de avaliação da reabilitação dos movimentos dos pacientes, o que permitiria acompanhar mudanças no desempenho motor durante o tratamento. Como o estudo de Matsuo et al. (2011), supracitado nesta introdução, demonstra que melhorias no desempenho de precisão dos movimentos para contornar figura geométrica ocorrem após aplicação da ETCC anódica no M1, e os estudos com

participantes pós-acidente vascular cerebral demonstram que os submovimentos sugerem melhorias nos movimentos dos pacientes, aplicar a ETCC durante a aprendizagem de tarefas de contornar figura geométrica e analisar as mudanças nos submovimentos, possivelmente, apresentaria resultados importantes que auxiliassem a compreender se o efeito da ETCC ocorre tanto na aprendizagem motora quanto no controle motor.

No que diz respeito à aplicação da ETCC na aprendizagem motora, o M1 e o cerebelo são as estruturas, que ao serem estimuladas, mais evidenciam o efeito da ETCC (GUIMARÃES et al., 2023). Estas duas estruturas se conectam por meio de projeções no núcleo ventrobaisais do tálamo e no núcleo denteado, trocando informações relevantes entre si e com outras estruturas cerebrais (LATASH, 2008; SPAMPINATO; BLOCK; CELNIK, 2017; SPLITTGERBER, 2019) que colaboram para a realização dos movimentos, aprendizagem motora e para o controle motor. Na realização e controle dos movimentos, o M1 e o cerebelo possuem funções distintas. Segundo Splittgerber (2019), enquanto o M1 é um “centro de comando”, pois, suas funções, juntamente com outras áreas cerebrais, são receber informações sobre o planejamento e fazer os ajustes para a execução da ação motora a ser realizada, o cerebelo é “um planejador, comparador e coordenador de movimentos precisos”. Antes do início da ação motora, a função do cerebelo, juntamente com a área motora suplementar, a área pré-motora e os núcleos da base, é planejar como o movimento será realizado. Durante a ação motora, a função do cerebelo é comparar o estado real da ação com o estado planejado e enviar informações ao córtex motor para que os movimentos sejam corrigidos via *feedback online*. Mesmo diante das diferentes funções e informações eferentes de execução do M1 e de comparação do cerebelo, até onde se tem conhecimento, não há informações na literatura que sugiram em que tipo de habilidade motora a ETCC deveria ser aplicada no M1 ou no cerebelo.

As características executivas das funções do M1 e comparativas das funções do cerebelo lembram as características das habilidades motoras classificadas quanto às suas demandas motoras e cognitivas. Segundo Schmidt (2008), as habilidades em que o sucesso do desempenho depende pouco da cognição/percepção para tomadas de decisão (p.ex., perceber como executar e quando corrigir o movimento) e muito das capacidades motoras/físicas (p.ex., coordenação, velocidade e força), são classificadas como “habilidades com maior demanda motora” (p.ex., salto vertical). Por outro lado, as habilidades em que o sucesso do desempenho depende pouco das capacidades

motoras/físicas e muito da cognição/percepção para tomadas de decisão, são classificadas como “habilidades com maior demanda cognitiva” (p.ex., estacionar carro de ré). Diante das características da classificação das habilidades motoras quanto às demandas cognitivas e diante das características funcionais do M1 e do cerebelo, comparar a aplicação da ETCC nestas áreas cerebrais durante a aprendizagem de tarefas com diferentes demandas cognitivas, possivelmente apresente informações sobre em que tipo de habilidade motora a aplicação da ETCC no M1 ou cerebelo seria mais apropriada para potencializar a aprendizagem motora e, provavelmente, o controle de motor.

Com base no exposto acima, o objetivo do presente estudo é comparar o efeito da ETCC aplicada no M1 e no cerebelo na aprendizagem e no controle de habilidades com diferentes demandas cognitivas (planejamento viso-motor) controladas via *feedback online*. Uma vez que os estudos com a ETCC anódica aplicada no M1 têm demonstrado novas sinergias musculares dos dedos durante a aprendizagem motora (WATERS-METENIER et al., 2014) e que as características funcionais do M1 e do cerebelo parecem se relacionar com as características das habilidades motoras com menor ou maior demanda cognitiva (SPLITTGERBER, 2019), respectivamente, levantam-se as hipóteses que: (H₁) a ETCC anódica no M1 proporcionará melhores desempenho e aprendizagem da tarefa com menor demanda cognitiva, resultando em menor tempo de movimento e tempo em erro comparado à ETCC no cerebelo e ETCC placebo; (H₂) a ETCC anódica no M1 apresentará maiores alterações no controle de movimentos após a aprendizagem da tarefa com menor demanda cognitiva, resultando em menores quantidades de submovimentos comparado à ETCC no cerebelo e ETCC placebo. Por outro lado, na tarefa com maior demanda cognitiva (H₃) a aplicação da ETCC anódica no cerebelo apresentará melhores desempenho e maior aprendizagem motora, com menor tempo de movimento e tempo em erro comparado à ETCC no M1 e ETCC placebo; e (H₄) a aplicação da ETCC anódica no cerebelo apresentará maiores alterações no controle de movimentos após a aprendizagem da tarefa, resultando em menores quantidades de submovimentos comparado à ETCC no M1 e ETCC placebo.

Compreender os efeitos da ETCC aplicada em diferentes áreas cerebrais na aprendizagem e no controle de movimentos de tarefas com diferentes demandas cognitivas pode auxiliar pesquisadores a selecionarem o melhor local de aplicação da ETCC para cada tipo de habilidade motora, bem como auxiliar profissionais do

movimento na potencialização do ensino e da reabilitação de movimentos em habilidades motoras que exijam velocidade e precisão.

3.1.2 MÉTODO

3.1.2.1 Caracterização do Estudo

Este estudo é uma pesquisa do tipo experimental com delineamento de grupos aleatorizados, com testes pré e pós-tratamento (THOMAS; NELSON; SILVERMAN, 2007), um ensaio clínico aleatorizado comparando os efeitos de uma intervenção em grupos experimentais e grupo controle (FRIEDMAN et al., 2015). O estudo contém dois experimentos que diferem em relação às características das tarefas realizadas nas intervenções dos grupos experimentais e do grupo controle em cada experimento.

3.1.2.2 Local de Realização do Estudo

O estudo foi realizado no Centro de Educação Física e Esporte (CEFE) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), na cidade de Londrina-Pr./Brasil. A proposta metodológica foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da universidade, com o número CAAE: 46151921.0.0000.5231 - Parecer: 4.796.161 (ANEXO A).

3.1.2.3 Participantes

O tamanho da amostra sugerido pelo cálculo amostral (Figura 3.1.1) realizado no *software GPower* (v. 3.1.9.2) (FAUL et al., 2007), com o efeito estimado em 0,25, alfa de 0,05 e poder (1-beta) de 80% (COHEN, 1988), foi de 30 participantes em cada experimento. Entretanto, pensando nas possíveis perdas ao longo das fases dos experimentos, a amostra de 36 participantes foi determinada para cada experimento. Nos dois experimentos, os participantes foram recrutados por conveniência, avaliados quanto aos critérios de elegibilidade para inclusão no estudo, aleatorizados e alocados por procedimento duplamente cego (participante e pesquisador) em três grupos (M1: estimulação do córtex motor primário; CC: estimulação do córtex cerebelar; Sham: estimulação placebo), de acordo com o *Consort-Statement* (BARBOUR et al., 2017). No grupo Sham, o posicionamento dos eletrodos para a ETCC anódica no M1 foi realizado na metade dos participantes do grupo, enquanto na outra metade dos participantes o posicionamento dos eletrodos foi realizado para a ETCC anódica no CC. Todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE B) para confirmarem sua participação no estudo.

Figura 3.1.1 - Cálculo amostral a priori para a ANOVA com medidas repetidas.

F tests – ANOVA: Repeated measures, within-between interaction		
Analysis: A priori: Compute required sample size		
Input:	Effect size f	= 0.25
	α err prob	= 0.05
	Power (1- β err prob)	= 0.80
	Number of groups	= 3
	Number of measurements	= 4
	Corr among rep measures	= 0.5
	Nonsphericity correction ϵ	= 1
Output:	Noncentrality parameter λ	= 15.0000000
	Critical F	= 2.2127295
	Numerator df	= 6.0000000
	Denominator df	= 81.0000000
	Total sample size	= 30
	Actual power	= 0.8090000

3.1.2.3.1 Critérios de Elegibilidade

Foram incluídos homens e mulheres com idade entre 18 e 30 anos, sem comprometimento neurológico e que não faziam uso contínuo de medicamentos com ação no sistema nervoso central (p. ex. medicamentos para depressão, ansiedade, insônia, convulsões e hiperatividade). Os participantes não deveriam ter experiência com estimulação transcraniana nos 30 dias anteriores ao primeiro dia do experimento, ter preferência para a escrita com a mão direita e não ter experiência em utilizar a mão esquerda para desenhar com uma caneta eletrônica em uma mesa digitalizadora (Slim Tablet 12.1” C3 Tech – TB012). Os participantes que não completaram todas as tentativas práticas do período de aquisição, ou que não completaram os cinco momentos de avaliação da aprendizagem motora (pré-teste, pós-teste, retenção 1, retenção 2 e transferência), foram excluídos do estudo.

3.1.2.3.1.1 Inclusão e Exclusão no Experimento 1

Os 36 participantes (18 homens e 18 mulheres; idade média: 22±4 anos) recrutados para o experimento compareceram em todas as sessões e realizaram todas as avaliações de aprendizagem motora, não havendo exclusão de participantes. Assim, cada um dos três grupos analisados neste experimento foi composto por 12 participantes (6 homens e 6 mulheres).

3.1.2.3.1.2 Inclusão e Exclusão no Experimento 2

Dentre os 36 novos participantes recrutados para este experimento, 32 compareceram na primeira sessão do experimento e destes, dois foram excluídos. Um

participante completou o período de aquisição e os dois momentos de avaliação da aprendizagem motora da primeira sessão (pré-teste e pós-teste), mas não retornou para realizar os demais momentos de avaliação da aprendizagem motora (retenção 1, retenção 2 e transferência). O outro participante excluído do experimento realizou o pré-teste, mas não conseguiu realizar a aquisição da habilidade motora, pois não se alimentou direito e passou mal no início da prática. Mesmo após novo convite para continuar sua participação no experimento, o participante não retornou ao laboratório. Assim, 30 participantes (14 homens e 16 mulheres; idade média: 22 ± 3 anos) completaram todas as fases do experimento e, após os procedimentos de alocação e cegamento, os grupos foram compostos da seguinte forma: M1= 10 participantes (5 homens e 5 mulheres); CC= 10 participantes (5 homens e 5 mulheres); Sham= 10 participantes (4 homens e 6 mulheres).

3.1.2.3.1.3 Aleatorização, Alocação e Cegamento

A geração de sequência aleatória dos números foi realizada no programa *random.org* (HAAHR; HAAHR, 1998) por um dos pesquisadores. Para equilibrar a alocação dos participantes homens e mulheres, o mesmo pesquisador criou no *software Excel* uma planilha com duas listas numéricas organizadas sequencialmente em números pares (mulheres) e ímpares (homens) para a realização do processo de ocultação e alocação dos participantes. Cada número destas listas representava um dos três grupos e uma das duas condições de ETCC (real ou placebo) deste estudo. Os números das listas foram selecionados aleatoriamente pelos participantes e confrontados com a sequência gerada pelo pesquisador responsável pela aleatorização, para que a alocação do participante em um dos grupos deste estudo fosse a realizada. Assim, cada participante selecionou, cegamente, a sua alocação em um dos grupos. O pesquisador principal, e responsável pelo processo de aprendizagem motora, também foi cego quanto à alocação dos participantes, pois, em nenhum momento teve conhecimento da sequência numérica aleatória que caracterizava cada grupo experimental deste estudo. Somente os pesquisadores responsáveis pela aleatorização e pela estimulação cerebral tiveram ciência da alocação dos participantes.

3.1.2.4 Instrumentos/Equipamentos

Um estimulador elétrico customizado (DIY/0-3mA) e dois eletrodos de borracha (NKL-MicroEstim – A) colocados em esponjas (NKL-MicroEstim) embebidas em solução salina de 0,9% foram utilizados para a aplicação da ETCC anódica. Os eletrodos

foram posicionados na cabeça dos participantes e mantidos fixos ao local por faixas elásticas ajustáveis. Para identificação e marcação dos locais para o posicionamento dos eletrodos, utilizou-se uma fita métrica e um marcador (BRW) de quadro branco (Figura 3.1.2). Durante a estimulação, a figura geométrica de um quadrado foi gerada no *software* “*Draw Task v.2.0*” em um *notebook* (Acer Aspire-V5-471-6620) e apresentada ao participante por um monitor de computador de 17 polegadas (Positivo-L1742PT). Os participantes utilizaram uma caneta eletrônica para contornar a figura em uma mesa digitalizadora de 18 x 21 cm, conectada ao *notebook*. O tempo de movimento (TM) e as variáveis cinemáticas de deslocamento (coordenadas x e y) do cursor da caneta eletrônica são algumas das informações fornecidas pelo *software*. Todos os procedimentos de processamentos de sinais e cálculo das variáveis dependentes foram executados no *software* MATLAB (R2020a, Mathworks, Natick, USA). A estatística das variáveis dependentes do estudo foi realizada no *software* SPSS (IBM SPSS *Statistics* 24).

Figura 3.1.2 - Instrumentos e equipamentos utilizados para a ETCC.



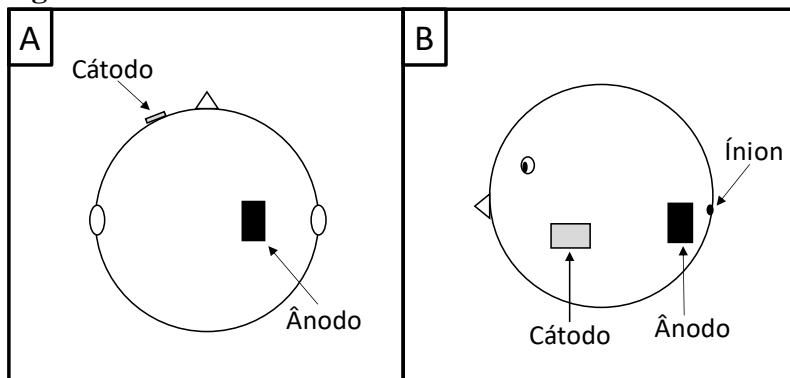
1: estimulador elétrico; 2: par de eletrodos; 3: par de esponjas; 4: faixas elásticas ajustáveis; 5: solução salina; 6: fita métrica; 7: marcador de quadro.

3.2.2.5 ETCC

Na montagem para aplicação da ETCC anódica e sham do M1 (Figura 3.1.3A), o eletrodo alvo (35 cm²) foi posicionado no M1 direito (C4 no sistema internacional 10/20 de encefalografia), contralateral ao membro utilizado na realização da tarefa motora, e o eletrodo de referência (35 cm²) foi posicionado na região supra orbital esquerda (Fp1 no sistema internacional 10/20 de encefalografia), seguindo recomendações da Federação

Internacional de Eletroencefalografia (KLEM; LÜDERS; JASPER, 1999). Na montagem para a estimulação anódica e sham do CC (Figura 3.1.3B), o eletrodo alvo foi posicionado 1 cm abaixo e 3 cm à esquerda do ínion, e o eletrodo de referência foi posicionado no músculo bucinador ipsilateral ao eletrodo alvo e ao membro utilizado na tarefa motora (FERRUCCI; CORTESE; PRIORI, 2015). Em metade dos participantes do grupo sham, a montagem dos eletrodos foi para a ETCC do M1 e a outra metade foi para a estimulação do CC (Figura 3.1.3). Durante a ETCC anódica, a corrente elétrica foi manualmente aumentada de forma gradual (0,5 mA a cada 10 s) até 1,5 mA (densidade da corrente= 0,042 mA/cm²) e mantida, durante os 20 minutos de estimulação. O mesmo procedimento manual de aumento gradativo da corrente foi realizado para a ETCC sham, seguido de redução manual e gradativa da corrente até 0 mA, e desligamento do estimulador. Este procedimento da ETCC sham causa sensações idênticas de estimulação real, sem provocar excitabilidade cortical, e proporciona cegamento eficiente em pessoas sem experiência em ETCC (AMBRUS et al., 2012). A ETCC foi aplicada durante a prática da tarefa e ao longo de todo o tempo de estimulação, o aparelho estimulador ficou posicionado fora do campo de visão (atrás) do participante.

Figura 3.1.3 - Posicionamento dos eletrodos na ETCC anódica e sham.



Painel A: Vista superior da ilustração de montagem para ETCC anódica no córtex motor primário direito; Painel B: Vista lateral da ilustração de montagem para ETCC anódica no córtex cerebelar esquerdo; Ânodo: eletrodo alvo que estimula a atividade cortical no local; Cátodo: eletrodo de referência que suprime a atividade cortical no local; Ínion: protuberância óssea.

3.1.2.6 Tarefa de Desenho Geométrico

Utilizando uma caneta eletrônica de mesa digitalizadora, o cursor é posicionado na parte inferior esquerda da figura mostrada no monitor (Figura 3.1.4). Tocando e deslocando a caneta na mesa (parte inferior da borda lateral esquerda do quadrado), a

tarefa e o TM são iniciados. Em seguida, o cursor deve ser movido (sentido horário) o mais rápido e preciso possível, tentando não ultrapassar os limites da borda da figura geométrica. A tarefa é finalizada quando o cursor passa pelo ponto de partida e, em seguida, cruza a borda lateral esquerda do quadrado. Como a maioria das pessoas possui alguma experiência para desenhar figuras geométricas, os participantes executaram esta tarefa motora com o membro não preferido nos dois experimentos.

Figura 3.1.4 - Participante realizando a tarefa de desenho geométrico.



3.1.2.6.1 Características de Execução da Tarefa no Experimento 1

No experimento 1, a tarefa de desenho geométrico foi desempenhada em sua forma padrão, na qual os movimentos do cursor da caneta eletrônica, apresentados no monitor do computador, representavam exatamente os movimentos executados pela mão esquerda do participante. Assim, quando o participante movia sua mão e a caneta para cima (ou para baixo), para direita (ou para a esquerda), o movimento do cursor da caneta representava o mesmo sentido da trajetória da mão. Dessa forma, os participantes não necessitaram pensar muito em quando e como deveriam executar os movimentos (p.ex., maior necessidade de planejamento viso-motor), caracterizando menor demanda cognitiva na execução da tarefa deste experimento, em relação às suas demandas motoras (SCHMIDT; WRISBERG, 2008).

3.1.2.6.2 Características de Execução da Tarefa no Experimento 2

No experimento 2, os participantes realizaram a tarefa de desenho geométrico com a mão não preferida e com o tablete invertido. Assim, a trajetória dos movimentos da mão e da caneta eletrônica foram invertidos em relação à trajetória do cursor da caneta no

monitor do computador. Para mover o cursor para cima (ou para baixo), o participante teve que movimentar sua mão e a caneta para baixo (ou para cima). Semelhantemente, para mover o cursor para a direita (ou para a esquerda), o movimento da mão e da caneta teve que ser para a esquerda (ou para a direita). Em comparação à execução da tarefa no experimento 1, as características da tarefa no experimento 2 exigiram maior necessidade de planejamento viso-motor dos participantes. Dessa forma, a tarefa deste experimento possui maiores demandas cognitivas em comparação à tarefa do experimento 1.

3.1.2.7 Processamento de Sinais

Nos dois experimentos, os dados de deslocamento do cursor da caneta eletrônica foram captados em uma frequência de amostragem de 70 Hz e filtrados com um filtro *Butterworth* recursivo de 4ª ordem em uma frequência de corte de 2Hz. Após os cálculos para aquisição da velocidade derivada do deslocamento do cursor da caneta, a série temporal da velocidade foi filtrada com um filtro *Butterworth* recursivo de 4ª ordem em uma frequência de corte de 6Hz e a aceleração foi calculada. Este procedimento de filtragem do deslocamento, derivada da primeira variável e filtragem da mesma antes de derivar as seguintes variáveis, é sugerido para reduzir os ruídos que são transferidos do deslocamento para suas derivadas, mesmo após a primeira filtragem (GIAKAS; BALTZOPOULOS, 1997; OKAZAKI; TEIXEIRA; RODACKI, 2007). Assim, tal procedimento de processamento de sinais foi realizado para reduzir os ruídos de sinal na derivada aceleração e, conseqüentemente, reduzir possíveis erros nos cálculos dos submovimentos derivados da aceleração. As frequências de corte supracitadas foram determinadas após análises espectral e residual dos sinais provenientes do movimento (WINTER, 2009).

3.1.2.8 Variáveis do Estudo

As variáveis independentes deste estudo, são: o tipo de estimulação (ETCC anódica no M1, ETCC anódica no CC e ETCC sham) e a demanda da tarefa (menor demanda cognitiva – experimento 1 e maior demanda cognitiva com mapa viso-motor invertido – experimento 2). As variáveis dependentes nos dois experimentos deste estudo, são: (a) TM, identificado pela variação de tempo (em segundos) entre o movimento inicial de deslocamento da caneta eletrônica e o momento (*frame*) anterior ao cruzamento da borda lateral esquerda do quadrado pelo cursor da caneta; (b) tempo em erro (TE), identificado pela soma da quantidade de tempo que o cursor da caneta permanece fora da borda do quadrado em cada erro cometido pelo participante; (c) tempo de movimento

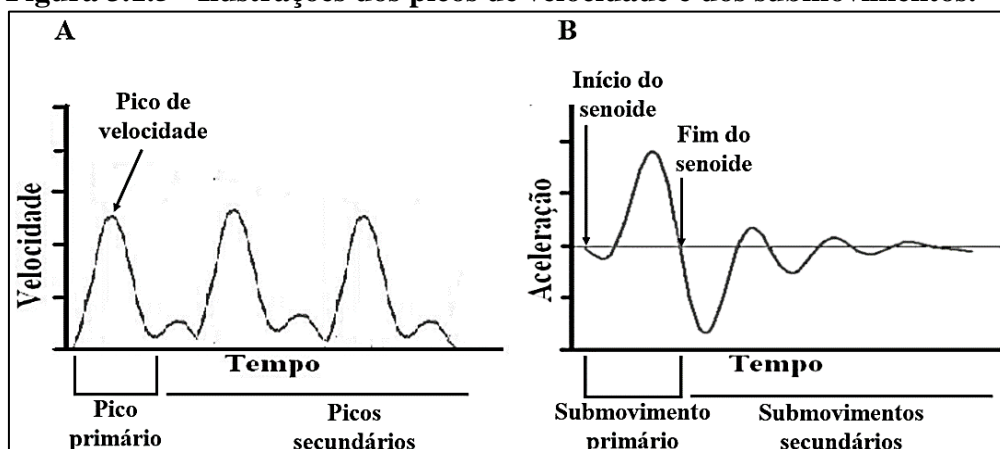
com penalidade (TMP), identificado pela soma do TM com o TE; (d) número de picos de velocidade (nPico), identificado pela quantidade de maiores valores de magnitude da velocidade (mm/s) observados no deslocamento do cursor; (e) submovimentos no eixo x da aceleração do cursor da caneta (Sub_x) e (f) submovimentos no eixo y da aceleração do cursor da caneta (Sub_y), identificados pela variação do perfil da aceleração linear (em x ou em y), a qual inicia em um valor nulo (Zero), torna-se positivo, retorna e cruza o valor nulo, tornando-se negativo e posteriormente retornando ao valor nulo. O submovimento é caracterizado pelo perfil da aceleração em forma de onda senoidal (MEYER et al., 1988; OKAZAKI et al., 2008). As variáveis dependentes dos dois experimentos estão divididas em variáveis relacionadas ao desempenho e à aprendizagem motora dos participantes (TM, TE e TMP), e em variáveis relacionadas aos mecanismos de controle motor dos participantes (nPico, Sub_x e Sub_y).

Enquanto a variável TM está relacionada à velocidade de execução dos movimentos pelo participante, a variável TE está relacionada à precisão do participante para se manter dentro da borda do quadrado. Assim, quanto menor o TE, maior a precisão do participante. Uma vez que menores TM (maior velocidade) ou menores TE (maior precisão) não, necessariamente, representam o participante mais habilidoso, pois, a maioria do TM poderia representar o TE ou o menor TE poderia ter sido alcançado devido à redução na velocidade para não sair da borda, o que aumentaria o TM, a variável TMP foi criada para considerar a velocidade e a precisão em uma mesma variável. Para verificar se os participantes com menores desempenhos iniciais são mais responsivos à ETCC em comparação aos participantes com maiores desempenhos iniciais (CIECHANSKI et al., 2017; COLE et al., 2018b; PARMA et al., 2021), os grupos experimentais e controle serão subdivididos pelo desempenho inicial e as variáveis TM e TMP serão analisadas entre os subgrupos de menor desempenho (M1-, CC- e Sham-) e os subgrupos de maior desempenho (M1+, CC+ e Sham+).

A variável nPico se relaciona com a quantidade de correções de movimento realizadas pelo participante. É a soma dos picos de velocidade no eixo x e y do deslocamento da caneta (Figura 3.1.5A). As variáveis Sub_x e Sub_y se relacionam com as correções de movimentos realizadas. São a soma entre a quantidade de senoide na aceleração em eixo x e em eixo y, respectivamente (Figura 3.1.5B). Nos dois experimentos do estudo, as variáveis supracitadas foram analisadas intra e/ou intergrupos.

Menores valores, nos valores das variáveis relacionadas à aprendizagem motora e ao controle motor representam melhor desempenho.

Figura 3.1.5 - Ilustrações dos picos de velocidade e dos submovimentos.



Fonte: Adaptado de Okazaki et al. (2008).

Painel A: Ilustração dos picos de velocidade; Painel B: Ilustração dos submovimentos.

3.1.2.9 Análise Estatística

Nos dois experimentos, a homogeneidade e a esfericidade das variâncias das medidas foram analisadas por meio dos testes de *Levene* e de *Mauchly*, respectivamente. Quando a homogeneidade das variâncias não foi violada, a estatística descritiva foi efetuada por meio de média e desvio padrão (DP), e a estatística inferencial foi executada com o teste ANOVA de dois fatores (3 GRUPOS [ETCC anódica no M1, ETCC anódica no CC e ETCC sham] x 4 TEMPOS: [pré-teste, pós-teste, retenção1 e retenção2]) com medidas repetidas no último fator. Quando a esfericidade das variâncias foi violada, utilizou-se a correção de *Greenhouse-Geisser*. Valores do *Partical Eta Squared* (pequeno= <0,06; moderado= <0,14; grande \geq 0,14) para o tamanho de efeito das variâncias também foram reportados (COHEN, 1973). Quando necessário, as comparações pareadas foram efetuadas com o post hoc de *Bonferroni*. A ANOVA de um fator (GRUPOS [ETCC anódica no M1, ETCC anódica no CC e ETCC sham]), a correção de *Greenhouse-Geisser* e o post hoc de *Bonferroni*, quando necessários, bem como os valores do *Partical Eta Squared*, foram executados nas análises do teste de transferência. Para todas estas análises, a significância estabelecida foi de $p < 0,05$ ($\alpha < 5\%$).

Quando a homogeneidade das variâncias foi violada, a mediana, o primeiro e o terceiro quartil (Q1-Q3) foram reportados na estatística descritiva. O teste ANOVA de *Friedman* foi executado na estatística inferencial para análise das medidas dependentes

(intragrupos). Para o tamanho de efeito das variâncias, valores de W de *Kendall* (pequeno= $<0,3$; moderado= $<0,5$; grande $\geq 0,5$) foram reportados (COHEN, 2008; TOMCZAK; TOMCZAK, 2014) e o post hoc de *Wilcoxon* foi utilizado nas comparações pareadas, quando necessário. Na estatística inferencial para análise das medidas independentes (intergrupos), o teste *Kruskal Wallis* foi realizado e o tamanho de efeito das variâncias, verificado pelos valores do *Eta Squared (H)* (pequeno= $<0,06$; moderado= $<0,14$; grande $\geq 0,14$), foram reportados (COHEN, 2008; TOMCZAK; TOMCZAK, 2014). Quando necessário, o post hoc de *Mann-Whitney* foi utilizado nas comparações pareadas. Tanto nas estatísticas paramétricas quanto nas não-paramétricas, o valor de significância (valor de p) das comparações executadas foi ajustado pela correção de *Bonferroni*.

3.1.2.10 Procedimentos do Experimento 1

Após ler e assinar o TCLE, o participante conheceu os equipamentos utilizados para a ETCC (aparelho, estimulador, eletrodos, esponjas, solução salina e faixas elásticas). Em seguida, foi instruído a sentar-se em uma cadeira posicionada em frente uma mesa, na qual estavam posicionados a mesa digitalizadora, a caneta eletrônica e o monitor com a imagem do “*Draw Task v.2.0*”, e instruído a ajustar a altura da cadeira e o posicionamento da mesa digitalizadora, conforme preferisse. A planilha com os números referentes à alocação foi apresentada ao participante (rever o tópico 3.1.2.3.1.3), que selecionou o seu número e foi informado pelo pesquisador responsável pela estimulação sobre qual a estrutura cerebral (M1 ou CC) ele receberia a estimulação. Em nenhum momento o participante ou o pesquisador principal foram informados sobre o tipo de estimulação (real ou placebo) que seria realizada.

Sobre a tarefa motora, o pesquisador principal explicou que a figura geométrica seria desenhada na mesa digitalizadora e que durante toda a tarefa o participante deveria observar a imagem do quadrado no monitor e tentar contornar a figura, mantendo o cursor da caneta dentro da borda. O participante foi orientado a contornar o quadrado o mais rápido e preciso possível com a mão esquerda, evitando sair da borda da figura. O pesquisador explicou, que se o cursor saísse da borda, o participante deveria corrigir o movimento de sua mão e retornar o cursor para dentro da borda, o mais rápido possível. Ao participante foi explicado que se o cursor da caneta realizasse um percurso muito grande fora da borda (aproximadamente metade do vértice do quadrado), àquela tentativa seria invalidada e repetida. Em média, os participantes realizaram 6 tentativas além da

quantidade de prática pré-estabelecida para este experimento e o tempo de duração da aquisição da tarefa foi de 22 minutos.

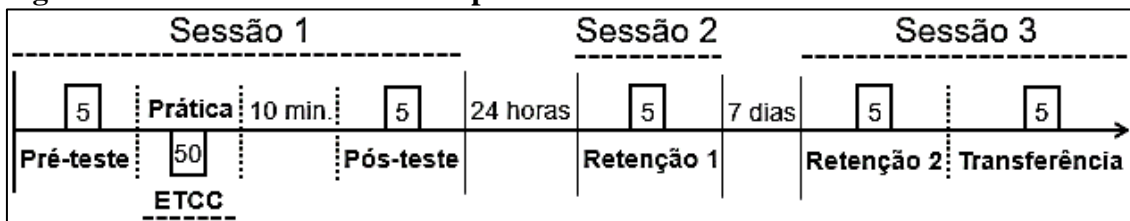
Após receber as informações e orientações, o participante realizou uma tentativa de familiarização da tarefa e, sem intervalo de repouso, realizou as cinco tentativas do pré-teste (sem estimulação). Entre as tentativas do pré-teste, o participante teve entre 10-15 segundo de repouso (tempo para o pesquisador registrar as informações da tentativa (tempo e coordenadas x e y) e liberar a tentativa seguinte. Em cada tentativa, os participantes puderam visualizar o seu TM no monitor. Finalizado o teste, os locais para a colocação dos eletrodos da ETCC foram identificados pelo pesquisador principal, conforme a área cerebral correspondente ao número escolhido anteriormente pelo participante e as recomendações do sistema internacional 10/20 de encefalografia (KLEM; LÜDERS; JASPER, 1999). O mesmo pesquisador preparou os equipamentos para a montagem da ETCC, posicionando os eletrodos nas esponjas e umedecendo as esponjas com solução salina. Na sequência, o pesquisador principal realizou a colocação dos eletrodos na cabeça do participante e sentou-se ao lado do mesmo para o início da aquisição da tarefa. O pesquisador principal foi único responsável por identificar os locais e por posicionar os eletrodos na cabeça de todos os participantes.

Na aquisição da tarefa, o pesquisador responsável pela estimulação iniciou os procedimentos e, ao seu sinal, o participante foi liberado para realizar a primeira tentativa. Entre as tentativas houve intervalo de 10-15 segundos. Após as 30 primeiras tentativas, um intervalo de 120 segundos foi dado ao participante. A aquisição da tarefa neste experimento foi composta por um total de 50 tentativas, que foram posteriormente agrupadas em blocos de cinco tentativas para as análises. O total de tentativas práticas deste experimento foi determinado após testes pilotos que demonstraram a estabilização do desempenho antes desta quantidade de tentativas. Finalizada a aquisição, os eletrodos foram retirados da cabeça e o participante respondeu ao questionário (APENDICE C) sobre sensações e efeitos adversos à ETCC, adaptado de Brunoni et al. (2011) (ANEXO B).

As cinco tentativas do pós-teste, com as mesmas características do pré-teste, foram realizadas 10 minutos após a última tentativa da aquisição da tarefa. No dia seguinte (24h depois) o participante retornou ao laboratório e realizou as cinco tentativas do teste de retenção 1, com as mesmas características do pós-teste. Após sete dias do período de aquisição da tarefa, o participante retornou e realizou o teste de retenção 2,

com as mesmas características do teste de retenção 1, e cinco tentativas do teste de transferência de aprendizagem (sem estimulação). O teste de transferência foi realizado em tarefa semelhante, que diferia da tarefa aprendida pelo participante por possuir menor espessura da borda do quadrado, o que conferiu maior dificuldade para a execução da tarefa do teste de transferência. A figura 3.1.6 apresenta uma ilustração do delineamento deste experimento.

Figura 3.1.6 - Delineamento do Experimento 1.



ETCC: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua.

3.1.2.11 Procedimentos do Experimento 2

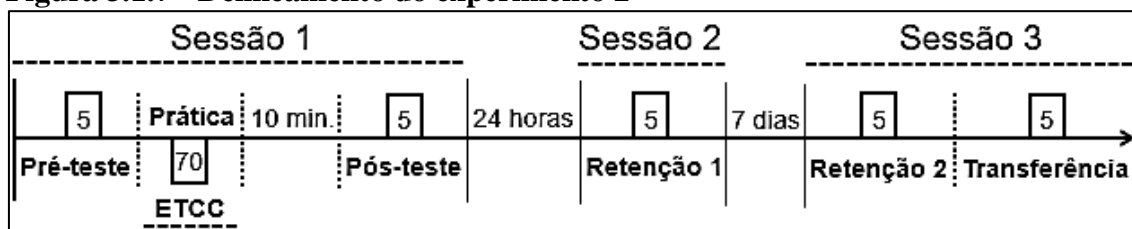
A maioria dos procedimentos adotados no experimento 2 são semelhantes aos procedimentos do experimento 1, diferenciando por alguns detalhes na execução da tarefa e na quantidade de tentativas práticas para a aquisição da mesma. Inicialmente, ao chegar ao laboratório, o participante leu e assinou o TCLE, conheceu os equipamentos utilizados para a ETCC, foi acomodado na cadeira em frente uma mesa com o monitor, a mesa digitalizadora e a caneta eletrônica e instruído a ajustar a altura da cadeira e o posicionamento da mesa digitalizadora, conforme preferisse. Selecionou o seu número e foi informado sobre em que estrutura cerebral receberia a estimulação.

O pesquisador principal explicou os procedimentos de realização da tarefa, deixando claro que a tarefa seria executada com a mão esquerda, com controles invertidos dos movimentos (ver tópico 3.1.6.2) e que o participante deveria tentar manter o cursor da caneta dentro da borda. Assim como no experimento 1, o participante foi orientado sobre o objetivo da tarefa (contornar o quadrado o mais rápido e preciso possível, evitando sair da borda da figura) e sobre os critérios para invalidação e repetição das tentativas. Em média, os participantes deste experimento realizaram 5 tentativas além da quantidade de prática pré-estabelecida e o tempo de duração da aquisição da tarefa foi de 28 minutos. Após receber as informações e orientações, o participante realizou uma tentativa de familiarização da tarefa, realizou as cinco tentativas do pré-teste e recebeu em sua cabeça a identificação e a colocação dos eletrodos da ETCC pelo pesquisador principal. O

pesquisador principal foi único responsável por identificar os locais e por posicionar os eletrodos na cabeça de todos os participantes.

Na aquisição da tarefa, o pesquisador responsável pela estimulação iniciou os procedimentos e o participante foi liberado para realizar a primeira tentativa. Após as 40 primeiras tentativas, um intervalo de 120 segundos foi dado ao participante. A aquisição da tarefa neste experimento foi composta por um total de 70 tentativas, que foram posteriormente agrupadas em blocos de cinco tentativas para as análises. O total de tentativas práticas deste experimento também foi determinado após testes pilotos. Finalizada a aquisição, os eletrodos foram retirados da cabeça e o participante respondeu ao questionário sobre sensações e efeitos adversos à ETCC. As cinco tentativas do pós-teste, foram realizadas 10 minutos após a última tentativa da aquisição da tarefa, as cinco tentativas do teste de retenção 1 foram realizadas após 24h e sete dias depois do período de aquisição da tarefa, as cinco tentativas do teste de retenção 2 e do teste de transferência foram realizadas. Assim, como no experimento 1, a tarefa do teste de transferência diferia da tarefa do período de aquisição, por possuir menor espessura da borda do quadrado. A figura 3.1.7 apresenta uma ilustração do delineamento deste experimento.

Figura 3.1.7 - Delineamento do experimento 2



ETCC: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua.

3.1.3 RESULTADOS

3.1.3.1 Resultados do Experimento 1

Cegamento e questionário de efeitos adversos da ETCC

Para avaliar a realização dos procedimentos de cegamento dos participantes, ao final do período de aquisição da tarefa motora e retirada dos eletrodos, todos os 12 participantes de cada grupo foram perguntados sobre qual o tipo de estimulação eles acreditavam ter recebido (estimulação real ou placebo). Nos grupos M1 e CC, 83% e 50%

Quadro 3.1.1 - Frequência absoluta de respostas dos participantes no questionário de efeitos adversos da ETCC (n=12 participantes por grupo) do experimento 1.

Grupo	Sensação	n de respostas sobre a sensação	n de respostas sobre a intensidade				
			Muito baixa	Baixa	Moderada	Forte	Muito baixa
M1	Dor de cabeça	1	-	-	1	-	-
	Dor de pescoço	1	-	1	-	-	-
	Dor no couro cabeludo	1	-	-	3	-	-
	Formigamento	9	3	5	1	-	-
	Coceira	5	1	2	1	1	-
	Sensação de queimadura	2	1	1	-	-	-
	Vermelhidão da pele	2	-	1	1	-	-
	Sonolência	2	-	2	-	-	-
	Problema de concentração	-	-	-	-	-	-
	Mudança aguda de humor	-	-	-	-	-	-
CC	Dor de cabeça	1	-	1	-	-	-
	Dor de pescoço	-	-	-	-	-	-
	Dor no couro cabeludo	-	-	-	-	-	-
	Formigamento	10	3	5	2	-	-
	Coceira	6	1	1	3	1	-
	Sensação de queimadura	2	1	1	-	-	-
	Vermelhidão da pele	9	1	6	2	-	-
	Sonolência	1	-	1	-	-	-
	Problema de concentração	3	-	1	2	-	-
	Mudança aguda de humor	1	-	-	1	-	-
Sham	Dor de cabeça	2	-	2	-	-	-
	Dor de pescoço	2	-	-	3	-	-
	Dor no couro cabeludo	-	-	-	-	-	-
	Formigamento	8	2	3	2	1	-
	Coceira	4	-	2	1	1	-
	Sensação de queimadura	4	1	2	1	-	-
	Vermelhidão da pele	9	2	2	5	-	-
	Sonolência	2	1	1	-	-	-
	Problema de concentração	-	-	-	-	-	-
	Mudança aguda de humor	-	-	-	-	-	-

M1: *Córtex motor primário*; CC: *Córtex cerebelar*; Sham: *grupo controle*.

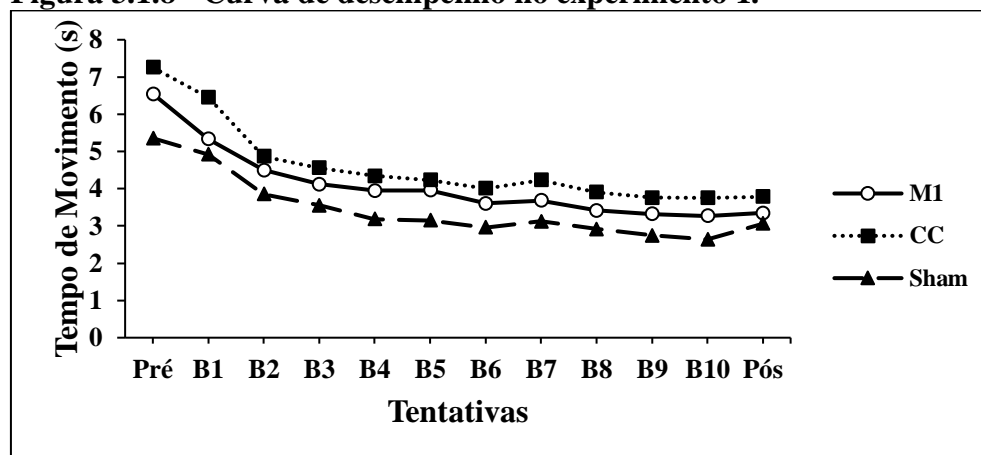
dos participantes acreditavam ter recebido a estimulação real, respectivamente. No grupo Sham, 92% dos participantes disseram que receberam a estimulação real e não a placebo. As respostas dos participantes do grupo Sham demonstram que o procedimento de rampa ascendente e descendente da corrente elétrica, realizado no início da aplicação da ETCC

para o procedimento de cegamento, foi executado adequadamente e a maioria dos participantes não soube se estavam ou não recendo a estimulação placebo. Em seguida, os participantes responderam ao questionário sobre as sensações associadas à ETCC. A frequência absoluta das respostas dos participantes demonstrou que as duas sensações mais associadas por eles à ETCC foram: formigamento abaixo do eletrodo e coceira no local. As intensidades mais reportadas para estas sensações foram muito “muito baixa”, “baixa” e “moderada”. O quadro 3.1.1 apresenta a frequência absoluta de respostas dos participantes de cada grupo para as demais sensações perguntadas no questionário e apresenta, também, as intensidades reportadas pelos participantes para cada sensação.

Desempenho e aprendizagem motora

A figura 3.1.8 apresenta a curva de desempenho, em função do bloco de tentativas de prática dos participantes de cada grupo, na variável TM. As 50 tentativas foram agrupadas em blocos contendo a mesma quantidade de cinco tentativas realizadas nos momentos de teste. O comportamento das curvas entre os resultados do pré e pós-teste demonstram que a quantidade de tentativas práticas estabelecidas para a aquisição da tarefa motora foi suficiente para promover a estabilização do desempenho dos participantes.

Figura 3.1.8 - Curva de desempenho no experimento 1.



M1: Córtex motor primário; CC: Córtex cerebelar; Sham: grupo controle; Pré: pré-teste com cinco tentativas; B1-B10: blocos de cinco tentativas; Pós: pós-teste com cinco tentativas.

A Tabela 3.1.1 apresenta a comparação das medianas de desempenho intra e intergrupo nas variáveis relacionadas à aprendizagem motora. Para a variável TM, relacionada à velocidade dos participantes para executar a tarefa motora, houve efeito de tempo nos grupos M1 ($X^2 = 25,300(3)$; $p < 0,01$; $W = 0,7$), CC ($X^2 = 22,900(3)$; $p < 0,01$; $W =$

0,6) e Sham ($X^2= 22,800(3)$; $p<0,01$; $W= 0,6$), demonstrando que os participantes de todos os grupos melhoraram o desempenho no período de aquisição e que houve retenção de aprendizagem motora após 24h e sete dias sem prática da tarefa. Houve, também, efeito de grupo, mas, diferentemente do esperado, não houve efeito da ETCC no desempenho e na aprendizagem motora. Em comparação ao grupo CC, o grupo Sham apresentou menor TM em todos os testes (pré: $X^2= 5,410(2)$; $p= 0,04$; $\eta^2(H)= 0,08$; pós: $X^2= 10,479(2)$; $p<0,01$; $\eta^2(H)= 0,21$; retenção 1: $X^2= 9,356(2)$; $p<0,01$; $\eta^2(H)= 0,18$; retenção 2: $X^2= 7,368(2)$; $p= 0,02$; $\eta^2(H)= 0,13$) e transferência: $X^2= 6,585(2)$; $p= 0,03$; $\eta^2(H)= 0,11$). Em nenhum momento houve diferença na comparação entre os TM dos grupos M1 e Sham ($p>0,05$) e os grupos M1 e CC ($p>0,05$).

Tabela 3.1.1 - Comparação entre as medianas (Q1-Q3) das variáveis de aprendizagem motora do experimento 1.

Variável	Grupos	Pré-teste	Pós-teste	Retenção1	Retenção2	Transferência*
TM	M1	6,547 (5,489-8,369)	3,347 ^a (3,215-3,798)	3,702 ^a (3,429-4,276)	3,409 ^a (2,896-4,209)	6,041 (4,478-6,382)
	CC	7,254 ^s (6,289-11,559)	3,781 ^{a,s} (3,419-4,615)	4,591 ^{a,s} (3,439-5,779)	4,251 ^{a,s} (3,768-5,008)	7,081 ^s (6,007-10,774)
	Sham	5,355 ^c (4,486-7,289)	3,067 ^{a,c} (2,649-3,468)	3,185 ^{a,c} (2,844-3,624)	3,062 ^{a,c} (2,706-3,701)	4,698 ^c (3,928-6,053)
TE	M1	0,211 (0,152-0,255)	0,269 (0,223-0,355)	0,253 (0,204-0,304)	0,256 (0,185-0,304)	0,196 (0,101-0,221)
	CC	0,196 (0,147-0,265)	0,294 (0,191-0,349)	0,302 ^a (0,240-0,416)	0,284 (0,228-0,361)	0,221 (0,185-0,248)
	Sham	0,142 (0,96-0,359)	0,257 (0,208-0,448)	0,314 (0,268-0,429)	0,315 (0,224-0,478)	0,158 (0,111-0,262)
TMP	M1	6,719 (5,800-8,569)	3,623 ^a (3,513-4,060)	3,871 ^a (3,660-4,542)	3,666 ^a (3,157-4,495)	6,119 (4,603-6,607)
	CC	7,529 ^s (6,480-11,689)	4,013 ^{a,s} (3,746-4,949)	4,923 ^{a,c} (3,747-6,004)	4,534 ^{a,s} (4,053-5,288)	7,302 ^s (6,255-10,977)
	Sham	5,517 ^c (4,558-7,441)	3,512 ^{a,c} (2,913-3,703)	3,571 ^{a,c} (3,157-3,828)	3,388 ^{a,c} (2,975-3,985)	4,912 ^c (4,210-6,153)

TM: Tempo de Movimento; TE: Tempo em Erro; TMP: Tempo de Movimento somado ao TE (Penalidade); M1: Córtex motor primário; CC: Córtex cerebelar; Sham; grupo controle; Retenção1: teste 24h após aquisição; Retenção2: teste 7 dias após aquisição; diferença comparando * grupos, ^a pré-teste, ^c CC e ^s Sham.

Na variável TE, relacionada à precisão dos participantes, houve efeito de tempo para o grupo CC ($X^2= 13,900(3)$; $p>0,01$; $W= 0,3$), mas não para os demais grupos (M1: $X^2= 7,000(3)$; $p>0,05$; Sham: $X^2= 8,193(3)$; $p>0,05$). A diferença no TE do grupo CC foi verificada na comparação do teste de retenção 1 com o pré-teste (Tabela 3.1.1). Não houve efeito de grupo em nenhum momento de teste ($p>0,05$), demonstrando que a ETCC não influenciou na variável TE. Para o TMP, relacionado tanto à velocidade quanto à precisão dos participantes, o efeito de tempo ocorreu em todos os grupos (M1: $X^2=$

25,588(3); $p < 0,01$; $W = 0,7$; $CC: X^2 = 23,200(3)$; $p < 0,01$; $W = 0,6$; $Sham: X^2 = 23,500(3)$; $p < 0,01$; $W = 0,6$). Melhorias no desempenho ocorreram após o período de aquisição (pós-teste) e se mantiveram após 24h e sete dias. Assim como no TM, no TMP não houve efeito da ETCC no desempenho e na aprendizagem motora. Novamente, o grupo Sham apresentou melhor desempenho (TMP menor) comparado ao grupo CC, em todos os testes (pré: $X^2 = 6,056(2)$; $p = 0,04$; $\eta^2(H) = 0,10$; pós: $X^2 = 8,984(2)$; $p = 0,01$; $\eta^2(H) = 0,17$; retenção 1: $X^2 = 9,722(2)$; $p < 0,01$; $\eta^2(H) = 0,19$; retenção 2: $X^2 = 6,877(2)$; $p = 0,03$; $\eta^2(H) = 0,12$) e transferência: $X^2 = 6,743(2)$; $p = 0,03$; $\eta^2(H) = 0,12$) e em nenhum momento houve diferença entre os grupos M1 e Sham ($p > 0,05$) e os grupos M1 e CC ($p > 0,05$).

Tabela 3.1.2 - Comparação entre as medianas (Q1-Q3) das variáveis de aprendizagem motora dos grupos com os melhores e os piores desempenhos do experimento 1.

Variável	Grupos	Pré-teste	Pós-teste	Retenção1	Retenção2
TM	M1-	8,369 (7,037-10,840)	3,798 (3,277-4,125)	4,276 (3,431-4,688)	4,209 (2,985-4,751)
	CC-	11,559 (9,851-11,617)	4,051 (3,694-4,905)	5,779 (4,543-5,848)	5,008 (4,220-5,822)
	Sham-	7,289 (5,771-10,045)	3,247 (3,020-3,557)	3,624 (3,282-3,905)	3,701 (3,497-4,002)
	M1+	5,489 (4,756-6,199)	3,281 (3,205-3,357)	3,522 (3,005-3,794)	3,258 (2,808-3,485)
	CC+	6,289 (5,700-6,760)	3,629 (6,574-8,369)	3,439 (3,194-4,639)	3,807 (3,334-4,283)
	Sham+	4,486 (3,414-4,677)	4,051 (3,694-4,905)	2,844 (2,108-3,008)	2,706 (2,488-2,851)
TMP	M1-	8,569 (7,188-11,088)	4,060 (3,645-4,522)	4,542 (3,736-5,128)	4,495 (3,367-5,074)
	CC-	11,689 (9,994-12,056)	4,367 (3,939-5,222)	6,004 (4,968-6,253)	5,288 (4,500-6,111)
	Sham-	7,441 (5,919-10,153)	3,620 (3,328-3,785)	3,828 (3,616-4,387)	3,985 (3,819-4,185)
	M1+	5,800 (4,996-6,347)	3,519 (3,431-3,602)	3,743 (3,305-3,936)	3,480 (2,953-3,705)
	CC+	6,480 (5,979-6,896)	3,873 (3,456-4,499)	3,747 (3,639-4,879)	4,053 (3,694-4,568)
	Sham+	4,558 (4,071-5,202)	3,056 (7,188-11,088)	3,157 (2,379-3,359)	2,975 (2,896-3,365)

TM: Tempo de Movimento; TMP: Tempo de Movimento somado ao Tempo em Erro (Penalidade); M1-: grupo Córtex motor primário com pior desempenho; M1+: grupo Córtex motor primário com melhor desempenho; CC-: grupo Córtex cerebelar com pior desempenho; CC+: grupo Córtex cerebelar com melhor desempenho; Sham-: grupo controle com pior desempenho; Sham+: grupo controle com melhor desempenho; Retenção1: teste 24h após aquisição; Retenção2: teste 7 dias após aquisição.

A Tabela 3.1.2 apresenta a divisão dos grupos em subgrupos com maiores e menores desempenhos iniciais. Como apenas um momento de teste demonstrou efeito de tempo na variável TE e nenhum efeito de grupo foi verificado, esta variável foi retirada das análises entre os subgrupos. As análises para verificar se os participantes com menores desempenhos seriam mais responsivos à ETCC, revelaram que não houve diferença na comparação entre os subgrupos com maiores ($p > 0,05$) e nem entre os grupos com menores desempenhos iniciais ($p > 0,05$). Assim, não houve efeito da ETCC no desempenho e na aprendizagem motora dos participantes de nenhum dos subgrupos.

Controle motor

A Tabela 3.1.3 apresenta as médias (DP) dos picos de velocidade (considerando juntos os eixos x e y da velocidade) e dos submovimentos no eixo x e no eixo y da aceleração (considerando os eixos separadamente). Houve efeito de tempo nas variáveis nPico ($F(1,334; 44,019) = 38,247; p < 0,01; \eta_p^2 = 0,53$), Sub_x ($F(1,415; 46,710) = 80,028; p < 0,01; \eta_p^2 = 0,70$) e Sub_y ($F(1,355; 44,717) = 76,119; p < 0,01; \eta_p^2 = 0,69$) de todos os grupos. As melhorias evidenciadas no controle de movimento dos participantes ocorreram ao longo da prática da tarefa motora, foram mantidas após 24h (exceção para o nPico na Retenção 1 do grupo M1) e após sete dias. Todavia, em nenhuma das variáveis e em nenhum dos momentos de teste dos grupos houve efeito de grupo ($p > 0,05$).

Tabela 3.1.3 - Médias (DP) das variáveis de controle motor do experimento 1.

Variável	Grupos	Pré-teste	Pós-teste	Retenção1	Retenção2	Transferência*
nPico	M1	13 (4)	6 ^a (3)	8 (6)	6 ^a (4)	11 (5)
	CC	17 (10)	6 ^a (2)	7 ^a (4)	7 ^a (3)	13 (10)
	Sham	12 (6)	5 ^a (2)	5 ^a (2)	5 ^a (2)	10 (4)
SUB_x	M1	13 (5)	5 ^a (3)	6 ^a (4)	5 ^a (3)	9 (4)
	CC	14 (6)	5 ^a (2)	7 ^a (3)	5 ^a (3)	12 (9)
	Sham	10 (5)	3 ^a (2)	4 ^a (2)	4 ^a (2)	9 (4)
SUB_y	M1	13 (6)	5 ^a (3)	7 ^a (5)	5 ^a (3)	9 (4)
	CC	15 (7)	5 ^a (2)	6 ^a (3)	5 ^a (2)	13 (9)
	Sham	10 (6)	4 ^a (2)	4 ^a (1)	4 ^a (2)	9 (4)

nPico: número de picos de velocidade; SUB_x: submovimentos na aceleração em eixo X; SUB_y: submovimentos na aceleração em eixo Y; M1: Córtex motor primário; CC: Córtex cerebelar; Sham; grupo controle; Retenção1: teste 24h após aquisição; Retenção2: teste 7 dias após aquisição; diferença comparando * grupos e ^a pré-teste.

3.1.3.2 Resultados do Experimento 2

Quadro 3.1.2 - Frequência absoluta de respostas dos participantes no questionário de efeitos adversos da ETCC (n=10 participantes por grupo) do experimento 2.

Grupo	Sensação	n de respostas sobre a sensação	n de respostas sobre a intensidade				
			Muito baixa	Baixa	Moderada	Forte	Muito forte
M1	Dor de cabeça	2	1	1	-	-	-
	Dor de pescoço	-	-	-	-	-	-
	Dor no couro cabeludo	1	1	-	-	-	-
	Formigamento	7	2	5	-	-	-
	Coceira	4	1	2	1	-	-
	Sensação de queimadura	3	1	1	1	-	-
	Vermelhidão da pele	8	1	3	4	-	-
	Sonolência	2	-	2	-	-	-
	Problema de concentração	2	1	1	-	-	-
	Mudança aguda de humor	-	-	-	-	-	-
CC	Dor de cabeça	-	-	-	-	-	-
	Dor de pescoço	-	-	-	-	-	-
	Dor no couro cabeludo	1	1	-	-	-	-
	Formigamento	6	2	3	1	-	-
	Coceira	5	1	1	3	-	-
	Sensação de queimadura	1	-	-	1	-	-
	Vermelhidão da pele	8	-	6	2	-	-
	Sonolência	-	-	-	-	-	-
	Problema de concentração	3	-	3	-	-	-
	Mudança aguda de humor	-	-	-	-	-	-
Sham	Dor de cabeça	1	-	-	1	-	-
	Dor de pescoço	-	-	-	-	-	-
	Dor no couro cabeludo	-	-	-	-	-	-
	Formigamento	2	-	2	-	-	-
	Coceira	1	1	-	-	-	-
	Sensação de queimadura	-	-	-	-	-	-
	Vermelhidão da pele	6	3	2	1	-	-
	Sonolência	2	-	2	-	-	-
	Problema de concentração	1	-	1	-	-	-
	Mudança aguda de humor	-	-	-	-	-	-

M1: Córtex motor primário; CC: Córtex cerebelar; Sham: grupo controle.

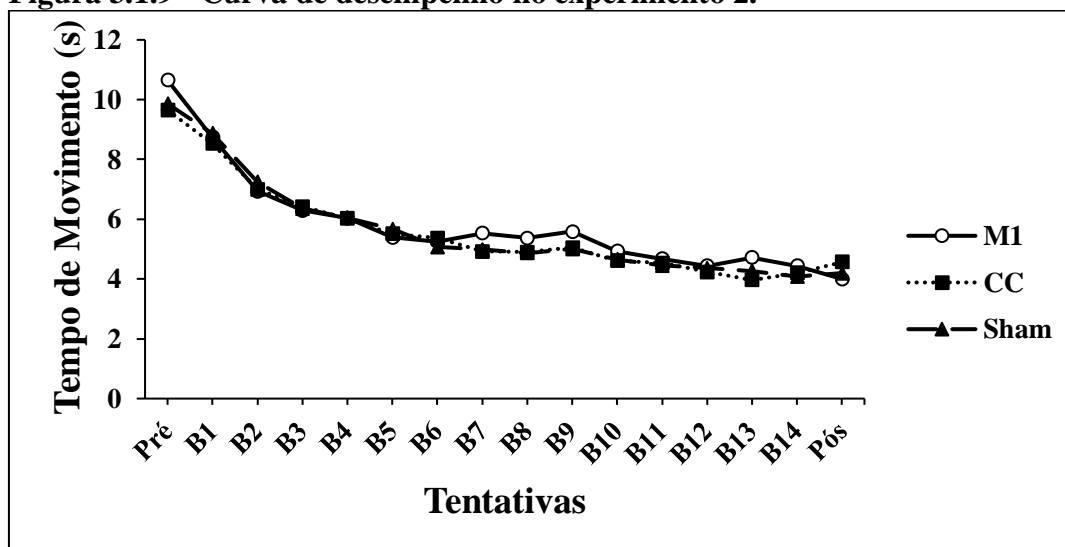
Cegamento e questionário de efeitos adversos da ETCC

Dentre os 10 participantes que formaram cada grupo deste experimento, a maioria disse ter recebido a estimulação real. No grupo M1 70%, no CC 80% e no Sham 60% dos participantes. Como no experimento 1, em nenhum momento do experimento 2 os participantes foram informados a respeito da estimulação (real ou placebo) que receberam. Os resultados do grupo Sham sugerem que o procedimento de cegamento foi adequado e que os participantes não foram capazes de distinguir se estavam ou não recebendo a estimulação placebo. O Quadro 3.1.2 apresenta a frequência absoluta de respostas dos participantes no questionário de efeitos adversos da ETCC. Assim como no experimento 1, as duas sensações mais associadas à ETCC pelos participantes deste experimento, foram: formigamento abaixo do eletrodo e coceira no local. As intensidades mais reportadas para estas duas sensações foram: muito baixa e baixa.

Desempenho e aprendizagem motora

Semelhantemente ao experimento 1, a curva de desempenho e aprendizagem motora para a variável TM dos participantes dos grupos deste experimento, revela que a quantidade total de 70 tentativas práticas pré-determinada para o período de aquisição da tarefa motora com maior demanda cognitivas parece não ter sido suficiente para proporcionar a estabilização do desempenho dos participantes. A figura 3.1.9 apresenta os momentos pré-teste e pós teste, bem como a divisão das 70 tentativas práticas em blocos de cinco tentativas.

Figura 3.1.9 - Curva de desempenho no experimento 2.



M1: Córtex motor primário; CC: Córtex cerebelar; Sham: grupo controle; Pré: pré-teste com cinco tentativas; B1-B10: Blocos de cinco tentativas; Pós: pós-teste com cinco tentativas.

Assim como no experimento 1, para as análises do TM houve efeito de tempo em todos os grupos deste experimento M1 ($X^2= 18,840(3)$; $p<0,01$; $W= 0,6$), CC ($X^2= 20,520(3)$; $p<0,01$; $W= 0,6$) e Sham ($X^2= 19,364(3)$; $p<0,01$; $W= 0,6$). O desempenho dos participantes melhorou ao longo da aquisição da tarefa motora e a aprendizagem motora foi verificada com a manutenção deste desempenho após 24h e 7 dias sem prática motora. Todavia, não houve efeito de grupo ($p>0,05$) em nenhum momento dos testes (pré-teste, pós-teste, retenção 1, retenção 2 e transferência). Assim, o efeito da ETCC na Aprendizagem motora não foi verificado no TM. A Tabela 3.1.4 apresenta a comparação das medianas (Q1-Q3) das variáveis relacionadas à aprendizagem motora.

Tabela 3.1.4 - Comparação entre as medianas (Q1-Q3) das variáveis de aprendizagem motora do experimento 2.

Variável	Grupos	Pré-teste	Pós-teste	Retenção1	Retenção2	Transferência*
TM	M1	10,651 (7,865-13,448)	4,002 ^a (3,482-4,788)	4,237 ^a (3,728-4,959)	4,165 ^a (3,971-5,023)	7,151 (6,302-8,114)
	CC	9,651 (8,863-13,931)	4,562 ^a (3,754-6,128)	5,114 ^a (3,859-6,437)	5,071 ^a (4,005-5,500)	6,957 (5,588-7,448)
	Sham	9,862 (8,863-12,177)	4,194 ^a (3,980-4,937)	5,143 ^a (3,877-5,291)	4,628 ^a (3,648-5,462)	6,297 (5,002-6,688)
TE	M1	0,540 (0,334-1,571)	0,702 (0,511-0,883)	0,722 (0,457-1,262)	0,826 (0,560-0,974)	0,457 (0,251-0,611)
	CC	0,614 (0,432-0,951)	0,711 (0,366-0,751)	0,734 (0,574-0,928)	0,565 (0,465-0,759)	0,400 (0,260-568)
	Sham	0,503 (0,368-1,162)	0,668 (0,483-0,771)	0,468 (0,391-0,748)	0,694 (0,468-0,774)	0,340 (0,200-0,740)
TMP	M1	12,208 (9,153-14,359)	4,716 ^a (4,171-5,733)	5,334 ^a (4,228-5,499)	5,356 ^a (4,651-5,617)	7,648 (6,913-8,345)
	CC	9,842 (9,434-15,293)	5,273 ^a (4,219-6,768)	5,848 ^a (4,891-6,928)	5,622 ^a (5,022-5,965)	7,522 (6,085-7,605)
	Sham	10,239 (8,976-12,402)	4,862 ^a (4,462-5,611)	5,473 ^a (4,625-5,853)	5,242 ^a (4,239-6,233)	6,462 (5,542-7,631)

TM: Tempo de Movimento; TE: Tempo em Erro; TMP: Tempo de Movimento somado ao TE (Penalidade); M1: Córtex motor primário; CC: Córtex cerebelar; Sham; grupo controle; Retenção1: teste 24h após aquisição; Retenção2: teste 7 dias após aquisição; diferença comparando * grupos e ^a pré-teste..

Nenhum efeito de tempo ou de grupo ($p>0,05$) foi verificado nas análises do TE. Todos os grupos mantiveram TE semelhantes (na comparação intra e intergrupo) ao longo de todo o processo de aprendizagem motora. Assim, em nenhum momento deste processo houve efeito da ETCC na aprendizagem motora (Tabela 3.1.4). As análises do TMP apresentaram efeito de tempo em todos os grupos (M1: $X^2= 19,440(3)$; $p<0,01$; $W= 0,6$; CC: $X^2= 21,360(3)$; $p<0,01$; $W= 0,7$; Sham: $X^2= 18,480(3)$; $p<0,01$; $W= 0,6$). Os participantes melhoraram o desempenho reduzindo o TMP ao longo da aquisição da tarefa motora e essa melhoria de desempenho permaneceu após 24h e sete dias. Entretanto, o

efeito de grupo não foi verificado nas análises do TMP ($p > 0,05$) em nenhum dos momentos de teste, demonstrando que não houve efeito da ETCC na aprendizagem motora.

A Tabela 3.1.5 mostra que, em conformidade com o experimento 1, as comparações entre os subgrupos com menores ou maiores desempenhos iniciais, formados a partir dos grupos M1, CC, e Sham deste experimento, não evidenciaram efeito de tempo ou de grupo ($p > 0,05$) para as variáveis TM e TMP, em nenhum dos testes.

Tabela 3.1.5 - Comparação entre as medianas (Q1-Q3) das variáveis de aprendizagem motora dos grupos com os melhores e os piores desempenhos do experimento 2.

Variável	Grupos	Pré-teste	Pós-teste	Retenção1	Retenção2
TM	M1-	14,600 (13,448-17,225)	5,888 (4,145-6,214)	4,959 (4,900-6,285)	5,023 (4,791-5,234)
	CC-	14,680 (13,931-16,608)	6,282 (6,128-6,402)	6,791 (6,437-7,477)	6,068 (5,500-6,211)
	Sham-	14,531 (12,177-16,228)	4,788 (3,980-4,937)	5,202 (4,525-5,462)	4,774 (4,340-4,997)
	M1+	7,865 (7,345-8,748)	3,482 (3,139-3,742)	3,728 (3,191-3,799)	3,971 (3,259-4,091)
	CC+	8,863 (8,308-8,960)	3,754 (2,665-4,045)	3,859 (3,045-4,485)	4,005 (2,802-5,071)
	Sham+	8,863 (7,505-9,048)	4,194 (4,117-5,120)	5,143 (3,877-5,268)	4,628 (3,302-5,891)
TMP	M1-	14,771 (14,359-17,765)	6,351 (5,142-6,496)	5,499 (5,416-6,745)	5,617 (5,445-5,816)
	CC-	16,259 (15,293-16,922)	6,768 (6,616-7,273)	7,739 (6,928-7,931)	6,576 (5,965-6,970)
	Sham-	15,033 (12,402-16,659)	5,559 (4,462-5,611)	5,853 (5,208-6,048)	5,242 (4,791-5,682)
	M1+	9,153 (7,679-10,788)	4,171 (3,842-4,253)	4,228 (4,150-5,133)	4,945 (3,819-5,356)
	CC+	9,434 (8,359-9,739)	4,219 (3,416-4,719)	4,891 (3,690-4,925)	5,022 (3,516-5,530)
	Sham+	8,976 (8,694-9,428)	4,862 (4,599-5,725)	5,473 (4,625-5,705)	5,322 (4,031-6,779)

TM: Tempo de Movimento; TMP: Tempo de Movimento somado ao Tempo em Erro (Penalidade); M1-: grupo Córtex motor primário com pior desempenho; M1+: grupo Córtex motor primário com melhor desempenho CC-: grupo Córtex cerebelar com pior desempenho; CC+: grupo Córtex cerebelar com melhor desempenho; Sham-: grupo controle com pior desempenho; Sham+: grupo controle com melhor desempenho; Retenção1: teste 24h após aquisição; Retenção2: teste 7 dias após aquisição.

Controle motor

O comportamento dos resultados nas variáveis de controle deste experimento é muito próximo ao comportamento dos resultados observados no experimento 1. A Tabela 3.1.6 demonstra que o efeito de tempo foi verificado no nPico ($F(1,315; 35,515) = 39,955$; $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,59$), Sub_x ($F(1,235; 33,358) = 58,328$; $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,68$) e Sub_y ($F(1,307; 35,287) = 66,460$; $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,71$). Todos os grupos melhoraram o controle

de movimentos durante o período de aquisição e mantiveram as melhorias no controle motor após 24h e 7 dias sem prática da tarefa motora. A única exceção ocorreu no desempenho do nPico do grupo M1, que apresentou melhorias, apenas, no pós-teste. Semelhantemente ao experimento 1, as análises das variáveis relacionadas ao controle motor não apresentaram efeito de grupo em nenhum dos momentos dos testes ($p>0,05$).

Tabela 3.1.6 - Médias (DP) das variáveis de controle motor do experimento 2.

Variável	Grupos	Pré-teste	Pós-teste	Retenção1	Retenção2	Transferência*
nPico	M1	21 (14)	9 ^a (8)	11 (12)	11 (10)	17 (9)
	CC	23 (8)	9 ^a (3)	10 ^a (4)	8 ^a (4)	14 (6)
	Sham	23 (19)	8 ^a (6)	8 ^a (4)	8 ^a (4)	11 (6)
SUB_x	M1	20 (13)	7 ^a (7)	9 ^a (9)	8 ^a (8)	14 (7)
	CC	20 (6)	7 ^a (2)	8 ^a (4)	7 ^a (3)	12 (5)
	Sham	21 (16)	6 ^a (4)	7 ^a (3)	6 ^a (3)	11 (9)
SUB_y	M1	20 (12)	7 ^a (6)	9 ^a (9)	8 ^a (7)	14 (8)
	CC	20 (5)	7 ^a (2)	8 ^a (4)	8 ^a (3)	12 (6)
	Sham	20 (15)	7 ^a (5)	7 ^a (3)	6 ^a (3)	11 (6)

*nPico: número de picos de velocidade; SUB_x: submovimentos na aceleração em eixo X; SUB_y: submovimentos na aceleração em eixo Y; M1: Córtex motor primário; CC: Córtex cerebelar; Sham: grupo controle; Retenção1: teste 24h após aquisição; Retenção2: teste 7 dias após aquisição; diferença comparando * grupos e^a pré-teste.*

3.1.4 DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi comparar o efeito da aplicação da ETCC no M1 e no córtex cerebelar (CC), na aprendizagem motora e no controle de movimentos em duas tarefas de desenho geométrico com diferentes demandas cognitivas (planejamento visomotor) e com controle via *feedback online*. As hipóteses levantadas apontaram que, devido às características das funções motoras do M1 (enviar informações de execução dos movimentos) e do cerebelo (enviar informações de planejamento e correções *online* dos movimentos), a ETCC anódica no M1 seria mais apropriada para proporcionar melhores desempenho e aprendizagem (menor tempo de movimento e tempo em erro), além de maiores alterações no controle de movimentos (menor quantidade de picos de velocidade e de submovimentos) na tarefa com menor demanda cognitivas, enquanto a ETCC anódica no CC seria mais apropriada para proporcionar estas mesmas melhorias de desempenho e alterações no controle motor da tarefa com maior demanda cognitivas. As hipóteses também sugeriam que a estimulação do M1 e do CC resultariam em

aprendizagem motora e controle de movimentos melhores nas duas tarefas motoras, quando comparado à estimulação placebo destas áreas. Os principais resultados na tarefa com menor demanda cognitiva não demonstram diferenças na aprendizagem motora e no controle de movimentos entre a ETCC no M1 ou no cerebelo, mas demonstram que, inesperadamente, a aprendizagem motora com a ETCC placebo foi melhor em todos os momentos de teste, comparado à ETCC no CC. Na tarefa motora com maior demanda cognitiva, nenhuma diferença na aprendizagem motora ou no controle de movimentos foi verificada entre as estimulações no M1 e no CC ou entre as estimulações e o placebo.

Efeito da ETCC na aprendizagem motora

Os dois experimentos demonstraram que, no geral, não há diferenças na contribuição fornecida pela estimulação do M1 e do cerebelo nas melhorias de desempenho ao longo do período de aquisição das habilidades motoras, na retenção e na transferência de aprendizagem motora. Relacionado aos poucos estudos que compararam as contribuições do M1 e do cerebelo na aprendizagem motora, os resultados deste presente estudo contrastam com as evidências reportadas por Galea et al. (2011) e por Herzfeld et al. (2014), mas corroboram com os resultados reportados por Ehsani et al. (2016). Os primeiros autores verificaram diferenças entre M1 e o cerebelo na retenção de aprendizagem em tarefas relacionadas ao paradigma de adaptação da habilidade motora (adaptação a mudanças no ambiente durante a execução de tarefas em que a experiência prévia existe), mas estas diferenças não foram confirmadas pelos outros autores que analisaram a retenção de aprendizagem em tarefas ligadas ao paradigma de novas habilidades motoras (aquisição e retenção de tarefas sem experiência prévia existente e sem mudança no ambiente de execução) (BUCH et al., 2017; DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003; KRAKAUER; MAZZONI, 2011).

Galea et al. (2011), verificaram que a ETCC do cerebelo contribuiu mais que a ETCC do M1 no período de aquisição da tarefa motora, reduzindo o número de erros, mas a estimulação do M1 contribuiu mais que o cerebelo na retenção de aprendizagem da tarefa motora. Para os autores, neste tipo de tarefa de adaptação motora, o cerebelo formaria um modelo interno de predição de erro gerado a partir de estimativas do estado real dos eventos ocorridos durante a prática. Isso facilitaria a identificação de erros no movimento planejado, quando mudanças inesperadas no ambiente de execução da tarefa ocorressem, facilitando a realização de correções no movimento e reduzindo o número de erros durante a aquisição (GALEA et al., 2011; MIALL; WOLPERT, 1996;

SHADMEHR; KRAKAUER, 2008). Assim, as semelhanças de contribuições do M1 e do cerebelo nos dois experimentos deste presente estudo poderiam ser explicadas por possíveis variações em suas funções durante o processo de aprendizagem motora, variações que parecem depender, principalmente, das alterações no ambiente de execução da tarefa.

Em resumo, as mudanças inesperadas no ambiente de execução das tarefas aprendidas no paradigma de adaptação da habilidade motora parecem aumentar muito as demandas cognitivas, exigindo do cerebelo funções relacionadas às melhorias de desempenho e formação do modelo interno de predição durante a prática. As funções exigidas no M1 seriam relacionadas à neuroplasticidade e consolidação da aprendizagem (GALEA et al., 2011). Por outro lado, em tarefas motoras que não possuem mudanças inesperadas no ambiente de execução, como as duas tarefas de desenho geométrico utilizadas neste presente estudo, possivelmente, a demanda cognitiva seria muito inferior e o modelo interno formado pelo cerebelo seria utilizado somente nas tentativas iniciais de execução da tarefa. Com isso, após algumas tentativas iniciais o executante compreenderia como executar a tarefa e não mais haveria motivos para os papéis do M1 e do cerebelo diferirem durante a aprendizagem motora. Isso parece ter acontecido nos três primeiros blocos de tentativas das tarefas dos dois experimentos (ver Figuras 3.1.8 e 3.1.9). A estratégia de inverter os controles de movimentos na execução da tarefa motora do segundo experimento, aparentemente, não foi suficiente para elevar o nível de demanda cognitiva, comparado à tarefa do primeiro experimento, a ponto de o M1 e o cerebelo apresentarem diferenças no desempenho e nos mecanismos de controle para execução da tarefa. Assim, novos estudos que comparem tarefas com grandes diferenças no nível de demanda cognitiva são necessários para testar as hipóteses supracitadas.

A ETCC não proporcionou efeito na aprendizagem das tarefas de desenho geométrico utilizadas nos dois experimentos, ou seja, os grupos M1 e CC não apresentaram melhor desempenho comparado ao grupo Sham, em nenhum dos momentos de testes. Estes resultados refutam as hipóteses H₁ e H₃ do presente estudo. O efeito nulo da ETCC, possivelmente, também seja uma das razões que colaboraram para que o M1 e o CC não apresentassem desempenhos diferentes entre si em cada experimento, uma vez que suas funções motoras não foram potencializadas pela ETCC. Apesar de inesperado, o efeito nulo da ETCC unihemisférica na aprendizagem motora não é exclusividade do presente estudo e foi, também, verificado por estudos que estimularam o M1

(CIECHANSKI et al., 2018; LOPEZ-ALONSO et al., 2018; MOONEY; CIRILLO; BYBLOW, 2019; SAUCEDO MARQUEZ et al., 2013; VANCLEEF et al., 2016) ou o CC (KATAGIRI et al., 2021; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2018). Uma das possíveis explicações para o efeito nulo da ETCC no presente estudo seria a quantidade insuficiente de prática no período de aquisição da tarefa motora, como sugerido por Cischanski et al. (2018). Entretanto, o comportamento das curvas de desempenho dos participantes no experimento 1 do presente estudo demonstra que o platô de desempenho foi alcançado (ver Figura 3.1.8). O platô de desempenho é considerado um indicativo de que a quantidade de prática foi suficiente para proporcionar a aprendizagem motora (ADAMS, 1987; BRYAN; HARTER, 1897; MAGILL, 1998; SCHMIDT; WRISBERG, 2008). No experimento 2, as curvas de desempenho, principalmente do grupo M1, sugerem a necessidade de mais tentativas práticas para que o platô de desempenho fosse alcançado (ver Figura 3.1.9). Isso, possivelmente, pode ter contribuído para que o efeito da ETCC não tenha sido confirmado neste experimento.

Como sugerido por Mizuguchi et al. (2018), o desempenho inicial na tarefa seria outra possível explicação para o efeito nulo da ETCC. Os autores verificaram efeito da ETCC na aprendizagem motora, somente quando subdividiram os grupos experimentais em participantes com maior ou menor desempenho inicial. Como em outros estudos que também subdividiram e analisaram os grupos experimentais (CIECHANSKI et al., 2017; COLE et al., 2018b; PARMA et al., 2021), o efeito da ETCC foi verificado nos participantes com menor desempenho inicial na tarefa. Todavia, o efeito da ETCC no presente estudo não foi verificado nas comparações entre os subgrupos com menor desempenho inicial, considerando os dois experimentos (ver Tabelas 3.1.2 e 3.1.3). Dentre as possíveis explicações para o efeito nulo da ETCC, a única não controlada ou testada no presente estudo foi a variabilidade intra e interindividual de sensibilidade cortical à estimulação cerebral (LABRUNA et al., 2016; LÓPEZ-ALONSO et al., 2015; LOPEZ-ALONSO et al., 2018).

Labruna et al. (2016) verificaram que indivíduos mais sensíveis à estimulação transcranial magnética (ETM) demonstram maiores alterações nos potenciais evocados motores (sinais elétricos gerados pelo sistema nervoso a partir de um estímulo) após a ETCC anódica, quando comparados com indivíduos menos sensíveis à ETM. Os autores observaram que a eficácia da ETCC anódica é dependente da sensibilidade inicial do participante à estimulação cerebral e sugerem que esta sensibilidade depende de fatores

como, espessura do crânio, formato do cérebro, padrão cortical, disponibilidade de transmissores e de receptores para a neuromodulação. Assim, a explicação mais plausível para o efeito nulo da ETCC no presente estudo seria a, possível, baixa sensibilidade inicial dos participantes deste estudo à ETCC. Assim, os efeitos neuromoduladores da ETCC parecem não ser generalizados a todas as pessoas. Entretanto, estas explicações são apenas especulações, pois os potenciais evocados motores não foram avaliados com ETM no início do presente estudo. Utilizar a avaliação com a ETM como critério de inclusão dos participantes nos estudos pode reduzir a variabilidade intra e interindividual de sensibilidade à estimulação cerebral e aumentar a chance de aplicação da ETCC em participantes responsivos (LABRUNA et al., 2016; LOPEZ-ALONSO et al., 2018). Além do efeito nulo da ETCC no presente estudo, o grupo Sham do primeiro experimento demonstrou superioridade de desempenho em relação ao grupo CC, em todos os momentos de teste. Este resultado, possivelmente, esteja relacionado à diferença de desempenho entre os grupos no pré-teste. Diferença esta que se manteve ao longo de todo o processo de aprendizagem motora (Tabela 3.1.2).

Efeito da ETCC no controle motor

Diferentes áreas cerebrais, como a área pré-motora, a área motora suplementar, os núcleos da base, o cerebelo e o M1, colaboram para a execução e controle dos movimentos (LATASH, 2008; SPLITTGERBER, 2019). Dentre estas áreas cerebrais, o M1 estaria diretamente relacionado à função de enviar informações eferentes de comando para os músculos, enquanto o cerebelo estaria diretamente relacionado às funções de enviar informações eferentes de planejamento e de correções dos movimentos ao córtex motor (SPLITTGERBER, 2019). Entretanto, as hipóteses do presente estudo (H₂) de que a ETCC aplicada no M1 potencializaria o controle de movimentos para a realização de tarefa motora com baixas demandas cognitivas (o sucesso do movimento depende exclusivamente de sua execução) e que (H₄) a ETCC no CC potencializaria o controle para correções dos movimentos durante a realização de tarefa motora com maiores demandas cognitivas (o sucesso do movimento depende em perceber quando e como executar o movimento) foram refutadas.

Poucos estudos analisaram, direta ou indiretamente, o efeito da ETCC no controle de movimentos, após a retenção de aprendizagem motora (COLE et al., 2018a; WATERS-METENIER et al., 2014), e os resultados destes estudos, diferentemente dos resultados do presente estudo, sugerem que a ETCC provoca melhorias no controle de

movimentos dos aprendizes que recebem a estimulação cerebral. Os resultados sobre possíveis efeitos da ETCC no controle de movimentos só foram verificados por Cole et al. (2018a) e Waters-Metenier et al. (2014) após o processo de aprendizagem motora, ou seja, somente após a confirmação que a ETCC real proporcionou superioridade de desempenho comparado à estimulação placebo. Assim, pode-se entender que a ocorrência do efeito da ETCC na aprendizagem motora seja condição fundamental para que o efeito da ETCC no controle motor possa ser analisado. A explicação para os resultados do presente estudo sobre o efeito da ETCC no controle de movimentos parece estar relacionada ao efeito nulo da ETCC na aprendizagem motora, discutido previamente. Assim, a ETCC, possivelmente, tenha proporcionado um estímulo neuromodulador menor em comparação ao estímulo proporcionado pelo próprio processo natural de aprendizagem motora e por esse motivo as alterações nas variáveis relacionadas ao controle de movimentos não foram potencializadas. As adaptações moleculares do processo natural de aprendizagem motora parecem ser suficientes para garantir melhorias na aprendizagem e no controle motor de pessoas pouco sensíveis à ETCC.

No processo natural de aprendizagem motora, alterações moleculares, como aumento de neurotransmissores pré-sinápticos e de receptores pós-sinápticos, aumento da atividade dos receptores NMDA e redução da atividade dos receptores GABA, e aumento da concentração de Ca^{2+} no neurônio pós-sináptico, provocam a neuroplasticidade sináptica PLP que colabora com os processos de memorização e de aprendizagem (APOLINÁRIO-SOUZA et al., 2020; CLASSEN et al., 1998; KLEIM et al., 1996; TABONE; RAMASWAMI, 2012; WHITLOCK et al., 2006). Para a análise e determinação da aprendizagem motora, melhorias de desempenho, relativamente, permanentes, como redução no TM para o desempenho da tarefa motora, são avaliadas (MAGILL, 1998; SCHMIDT; WRISBERG, 2008). Vários estudos demonstram que alterações nas variáveis relacionadas ao controle de movimentos, como os submovimentos, ocorrem durante o processo de aprendizagem motora e contribuem diretamente para as melhorias de desempenho (DIPIETRO et al., 2012; ELLIOTT et al., 2004; ELLIOTT; BINSTED; HEATH, 1999; MEYER et al., 1988; PEREIRA; MARQUES; OKAZAKI, 2014; ROHRER et al., 2002).

Como os submovimentos podem ser caracterizados pela formação de sinos no comportamento da série temporal de velocidade do movimento e pela formação de senos no comportamento da série temporal da aceleração, reduções na quantidade de picos de

velocidade e de submovimentos refletem reduções na quantidade de correções do movimento e alterações positivas no controle motor via *feedback online* durante o processo de aprendizagem motora (ELLIOTT et al., 2004; ELLIOTT; BINSTED; HEATH, 1999; MEYER et al., 1988; PEREIRA; MARQUES; OKAZAKI, 2014). O fato que as alterações moleculares potencializadas pela ETCC na aprendizagem motora são semelhantes às alterações que ocorrem no processo natural de aprendizagem, levaram a formação das hipóteses de que a ETCC também potencializaria as alterações no controle de movimentos via *feedback online*, que ocorrem naturalmente no processo de aprendizagem de tarefas motoras. Entretanto, estas hipóteses foram refutadas no presente estudo, pois as alterações moleculares e neuromoduladoras do processo natural de aprendizagem motora parecem ter sido mais marcantes que as alterações proporcionadas pela ETCC.

Limitações

Algumas limitações foram verificadas neste estudo e estas podem ter contribuído para que o efeito da ETCC na aprendizagem motora e no controle motor não ocorressem. Primeiramente, o equipamento utilizado foi um estimulador customizado que não foi utilizado em nenhum dos estudos citados no presente estudo. Apesar de o equipamento possuir um multímetro que facilitou o acompanhamento e o controle da emissão da corrente elétrica ao longo de cada sessão experimental, nos testes pilotos prévios não foi possível manter uma estimulação com corrente de 2 mA. Assim, para evitar problemas ao longo dos experimentos, a corrente elétrica estabelecida para este estudo foi de 1,5 mA. Como demonstrado em recente revisão sistemática (GUIMARÃES et al., 2023), utilizar a corrente de 1,5 mA não seria um problema para que o efeito da ETCC fosse evidenciado. Em segundo lugar, como a variabilidade intra e interindividual de sensibilidade à estimulação cerebral é a explicação mais plausível para o efeito nulo da ETCC neste estudo (LABRUNA et al., 2016; LÓPEZ-ALONSO et al., 2015; LOPEZ-ALONSO et al., 2018), a não realização prévia desta análise é uma importante limitação deste estudo.

Com base nas limitações e nos resultados do presente estudo, futuros experimentos para análise do efeito da ETCC na aprendizagem e no controle motor deveriam utilizar a sensibilidade à estimulação cerebral como critério de inclusão dos participantes. Novos estudos que analisem a estimulação de outras estruturas cerebrais relacionadas aos processos de aprendizagem motora e de controle motor, estimulando

uma área isoladamente ou estimulando duas áreas simultaneamente, também são necessários para maior compreensão das possibilidades de utilização da ETCC para a potencialização destes processos.

3.1.5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados do presente estudo, a ETCC anódica no M1 ou no cerebelo não proporciona efeitos positivos nos processos de aprendizagem motora e controle de movimento via *feedback online* em tarefas de desenho geométrico com diferentes demandas cognitivas. O efeito nulo da ETCC neste estudo, possivelmente, tenha acontecido devido à quantidade inferior de prática no experimento 2, devido à variabilidade intra e interindividual de sensibilidade à estimulação cerebral dos participantes dos dois experimentos e, provavelmente, devido ao próprio efeito neuromodulador do processo de aprendizagem motora. As adaptações moleculares ocorridas no processo natural de prática motora parecem ser suficientes para proporcionar melhorias na aprendizagem motora e no controle de movimentos de pessoas pouco sensíveis à estimulação cerebral.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese teve como objetivos, identificar os fatores que influenciam no efeito da ETCC na aprendizagem motora e analisar o efeito da ETCC na aprendizagem e no controle de habilidades com diferentes demandas cognitivas (planejamento visomotor) e movimentos regulados via *feedback online*. A hipótese (H1) que o efeito da ETCC na aprendizagem motora é dependente da interação entre características da tarefa motora e especificações de montagem para aplicação da ETCC, e a hipótese (H2) que o efeito da ETCC é verificado tanto na aprendizagem motora quanto no controle de movimentos via *feedback online* foram formuladas. Um estudo de revisão sistemática e um estudo experimental (delineado a partir das conclusões do estudo de revisão sistemática) foram realizados para testar as hipóteses desta tese. Com base nos resultados dos estudos, a hipótese H1 foi confirmada, enquanto a hipótese H2 foi refutada.

A presente tese demonstra que o efeito da ETCC anódica na aprendizagem motora é dependente da interação entre as características da tarefa motora e as especificações de montagem e aplicação da ETCC. O efeito é verificado quando a ETCC para tarefas motoras unimanuais são aplicadas no M1, tanto com a montagem unihemisférica quanto com a montagem bihemisférica (bilateral). Por outro lado, o efeito em tarefas motoras bimanuais é verificado quando a ETCC bihemisférica (bilateral) é aplicada no M1 e quando a ETCC unihemisférica é aplicada centralmente no cerebelo. Assim, a ETCC anódica no M1 e no cerebelo podem potencializar a aprendizagem motora por dias, semanas e meses sem prática da tarefa. Entretanto, a quantidade de prática durante a aprendizagem motora e a sensibilidade intra e interindividual dos participantes à estimulação, também, parecem ser fatores importantes para estabelecimento do efeito da ETCC. Este efeito na aprendizagem de tarefas motoras com maior grau de dificuldade é verificado quando a aplicação da estimulação ocorre em múltiplas sessões e, conseqüentemente, com maior quantidade de prática motora. Por outro lado, o efeito da ETCC na aprendizagem de tarefas com menor grau de dificuldade pode ser verificado em sessão única de ETCC que garanta quantidade adequada de prática motora até o estabelecimento do platô da curva de desempenho.

A presente tese, também, demonstra que a aplicação da ETCC anódica, tanto no M1 quanto no cerebelo, não proporciona efeitos positivos na aprendizagem motora ou no controle de habilidades com diferentes demandas cognitivas, reguladas

predominantemente por movimentos via *feedback online*, para desenhar/contornar figura geométrica (quadrado). O efeito nulo da ETCC na aprendizagem motora e controle motor, possivelmente, aconteceu devido à quantidade insuficiente de prática motora no experimento 2, devido à variabilidade intra e interindividual de sensibilidade à estimulação cerebral dos participantes dos dois experimentos e, possivelmente, devido ao próprio efeito neuromodulador. Assim, em pessoas pouco sensíveis aos efeitos da estimulação cerebral, o efeito do próprio processo de aprendizagem seria suficiente para elevar ao máximo as melhorias de desempenho na tarefa motora e no controle de movimentos.

Em suma, a presente tese demonstra que além do efeito da ETCC ser dependente da interação entre as especificações de montagem da ETCC e as características da tarefa motora, bem como da quantidade suficiente de prática para proporcionar a aprendizagem de tarefas motoras com maior ou menor grau de dificuldade, o efeito da ETCC na aprendizagem motora e, possivelmente, no controle motor, parece também depender da sensibilidade intra e interindividual dos participantes à estimulação cerebral também. O efeito do processo natural de prática motora parece ser suficiente para que as adaptações necessárias ao estabelecimento da aprendizagem motora e das melhorias no controle motor em pessoas pouco sensíveis à estimulação cerebral ocorra.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J. A. Historical Review and Appraisal of Research on the Learning, Retention, and Transfer of Human Motor Skills. **Psychological Bulletin**, v. 101, n. 1, p. 41–74, 1987.
- AMBRUS, G. G. et al. The fade-in - Short stimulation - Fade out approach to sham tDCS - Reliable at 1 mA for naïve and experienced subjects, but not investigators. **Brain Stimulation**, v. 5, n. 4, p. 499–504, 2012.
- AMMANN, C.; SPAMPINATO, D.; MÁRQUEZ-RUIZ, J. Modulating Motor Learning through Transcranial Direct-Current Stimulation: An Integrative View. **Front Psychol**, v. 7: 1981, p. 1981, 2016.
- ANTAL, A. et al. Towards unravelling task-related modulations of neuroplastic changes induced in the human motor cortex. **The European journal of neuroscience**, v. 26, n. 9, p. 2687–2691, nov. 2007.
- APOLINÁRIO-SOUZA, T. et al. The primary motor cortex is associated with learning the absolute, but not relative, timing dimension of a task: A tDCS study. **Physiology & behavior**, v. 160, p. 18–25, jun. 2016.

APOLINÁRIO-SOUZA, T. et al. Molecular Mechanisms Associated with the Benefits of Variable Practice in Motor Learning. **Journal of Motor Behavior**, v. 52, n. 5, p. 515–526, 2 set. 2020.

BARBOUR, V. et al. CONSORT Statement for randomized Trials of nonpharmacologic treatments: A 2017 update and a CONSORT extension for nonpharmacologic Trial Abstracts. **Annals of Internal Medicine**, v. 167, n. 1, p. 40–47, 2017.

BIENENSTOCK, E. L.; COOPER, L. N.; MUNRO, P. W. Theory for the development of neuron selectivity: orientation specificity and binocular interaction in visual cortex. **Journal of Neuroscience**, v. 2, n. 1, p. 32–48, 1982.

BIKSON, M. et al. Transcranial electrical stimulation nomenclature. **Brain Stimulation**, v. 12, n. 6, p. 1349–1366, 2019.

BOGGIO, P. S. et al. Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current stimulation. **Neuroscience letters**, v. 404, n. 1–2, p. 232–236, 2006.

BRAGANHOLO, W. et al. Efeito da quantidade de prática sobre a interferência contextual no aprendizado de tarefa motora manipulativa. **Interamerican Journal of Psychology**, v. 47, n. 1, p. 25–31, 2013.

BRUNONI, A. R. et al. **A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation. International Journal of Neuropsychopharmacology**, set. 2011.

BRYAN, W. L.; HARTER, N. Studies in the physiology and psychology of the telegraphic language. **Psychological Review**, v. 4, n. 1, p. 27–53, 1897.

BUCH, E. R. et al. Effects of tDCS on motor learning and memory formation: A consensus and critical position paper. **Clinical Neurophysiology**, v. 128, n. 4, p. 589–603, abr. 2017.

CANTARERO, G. et al. Cerebellar direct current stimulation enhances on-line motor skill acquisition through an effect on accuracy. **The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience**, v. 35, n. 7, p. 3285–3290, fev. 2015.

CELNIK, P. Understanding and Modulating Motor Learning with Cerebellar Stimulation. **The Cerebellum**, v. 14, n. 2, p. 171–174, abr. 2015.

CIECHANSKI, P. et al. Effects of Transcranial Direct-Current Stimulation on Neurosurgical Skill Acquisition: A Randomized Controlled Trial. **World Neurosurgery**, v. 108, p. 876- 884.e4, dez. 2017.

CIECHANSKI, P. et al. Effects of transcranial direct-current stimulation on laparoscopic surgical skill acquisition. **BJS Open**, v. 2, n. 2, p. 70–78, 2018.

CIECHANSKI, P.; KIRTON, A. Transcranial Direct-Current Stimulation Can Enhance Motor Learning in Children. **Cerebral Cortex**, v. 27, n. 5, p. 2758–2767, maio 2016.

CLASSEN, J. et al. Rapid Plasticity of Human Cortical Movement Representation Induced by Practice. **Journal of Neurophysiology**, v. 79, n. 2, p. 1117–1123, 1 fev. 1998.

- COHEN, B. H. **Explaining psychological statistics**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2008.
- COHEN, J. Eta-squared and partial eta-squared in fixed factor anova designs. **Educational and Psychological Measurement**, v. 33, n. 1, p. 107–112, 1973.
- COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2nd ed. ed. New York: L. Erlbaum Associates, 1988.
- COLE, L. et al. Sensorimotor robotic measures of tDCS- and HD-TDCS-enhanced motor learning in children. **Neural Plasticity**, v. 2018, p. 1–13, 2018a.
- COLE, L. et al. Effects of High-Definition and Conventional Transcranial Direct-Current Stimulation on Motor Learning in Children. **Front Neurosci**, v. 12:787, p. 1–12, 2018b.
- DIPIETRO, L. et al. Changing motor synergies in chronic stroke. **Journal of Neurophysiology**, v. 98, n. 2, p. 757–768, ago. 2007.
- DIPIETRO, L. et al. Learning, not adaptation, characterizes stroke motor recovery: Evidence from kinematic changes induced by robot-assisted therapy in trained and untrained task in the same workspace. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 20, n. 1, p. 48–57, 2012.
- DOYON, J. et al. Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. **Behavioural Brain Research**, v. 199, n. 1, p. 61–75, 2009.
- DOYON, J.; PENHUNE, V.; UNGERLEIDER, L. G. Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. **Neuropsychologia**. v. 43, n. 3, p. 252–262, 2003.
- EHSANI, F. et al. Differential effects of primary motor cortex and cerebellar transcranial direct current stimulation on motor learning in healthy individuals: A randomized double-blind sham-controlled study. **Neuroscience research**, v. 112, p. 10–19, nov. 2016.
- ELLIOTT, D. et al. Learning to optimize speed, accuracy, and energy expenditure: A framework for understanding speed-accuracy relations in goal-directed aiming. **Journal of Motor Behavior**, v. 36, n. 3, p. 339–351, 2004.
- ELLIOTT, D.; BINSTED, G.; HEATH, M. The control of goal-directed limb movements: Correcting errors in the trajectory. **Human Movement Science**, v. 18, n. 2-3, p. 121–136, 1999.
- FAN, J. et al. Transcranial direct current stimulation over multiple days enhances motor performance of a grip task. **Annals of Physical and Rehabilitation Medicine**, v. 60, n. 5, p. 329–333, set. 2017.
- FAUL, F. et al. G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behavior research methods**, v. 39, n. 2, p. 175–191, 2007.
- FERRUCCI, R.; CORTESE, F.; PRIORI, A. Cerebellar tDCS: How to Do It. **Cerebellum**, v. 14, p. 27–30, 2015.
- FERTONANI, A.; MINIUSI, C. Transcranial electrical stimulation: What we know and do not know about mechanisms. **Neuroscientist**, v. 23, n. 2, p. 109–123, 2017.

FOERSTER, Á. et al. Effects of anodal transcranial direct current stimulation over lower limb primary motor cortex on motor learning in healthy individuals. **European Journal of Neuroscience**, v. 47, n. 7, p. 779–789, 2018.

FREGNI, F.; BOGGIO, P.; BRUNONI, A. **Neuromodulação Terapêutica: princípios e avanços da estimulação cerebral não invasiva em neurologia, reabilitação, psiquiatria e neuropsicologia**. 1. ed. São Paulo: SARVIER, 2012.

FRIEDMAN, L. M. et al. **Fundamentals of clinical trials**. Springer, 2015.

GALEA, J. M. et al. Dissociating the roles of the cerebellum and motor cortex during adaptive learning: the motor cortex retains what the cerebellum learns. **Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)**, v. 21, n. 8, p. 1761–1770, ago. 2011.

GIAKAS, G.; BALTZOPOULOS, V. Optimal digital filtering requires a different cut-off frequency strategy for the determination of the higher derivatives. **Journal of biomechanics**, v. 30, n. 8, p. 851–855, 1997.

GOMES-OSMAN, J.; FIELD-FOTE, E. C. Bihemispheric anodal corticomotor stimulation using transcranial direct current stimulation improves bimanual typing task performance. **Journal of Motor Behavior**, v. 45, n. 4, p. 361–367, 2013.

GREFKES, C. et al. Dynamic intra- and interhemispheric interactions during unilateral and bilateral hand movements assessed with fMRI and DCM. **NeuroImage**, v. 41, n. 4, p. 1382–1394, 2008.

GRIMALDI, G. et al. Non-invasive cerebellar stimulation--a consensus paper. **Cerebellum**, v. 13, n. 1, p. 121–138, 2014.

GUIMARÃES, A. N. et al. Motor learning and tDCS: A systematic review on the dependency of the stimulation effect on motor task characteristics or tDCS assembly specifications. **Neuropsychologia**, v. 179, p. 108463, 28 jan. 2023.

HAAHR, M.; HAAHR, S. Random. org. **School of Computer Science and Statistics, Trinity College, Dublin, Ireland. Website (<http://www.random.org>)**. Accessed, 1998.

HARDWICK, R. M. et al. A quantitative meta-analysis and review of motor learning in the human brain. **NeuroImage**, v. 67, p. 283–297, 15 fev. 2013.

HASHEMIRAD, F. et al. The effect of anodal transcranial direct current stimulation on motor sequence learning in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. **Brain and Cognition**, v. 102, p. 1–12, fev. 2016.

HAYWOOD, K.; GETCHELL, N. **Life span motor development**. 5th. ed. Champaign, Illinois: Human kinetics, 2009.

HERZFELD, D. J. et al. Contributions of the cerebellum and the motor cortex to acquisition and retention of motor memories. **NeuroImage**, v. 98, p. 147–158, set. 2014.

HIGGINS, J. P. T.; GREEN, S. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0 [updated March 2011]. **The Cochrane Collaboration, 2011. Available from www.cochrane-handbook.org**, v. 5, n. 0, 2011.

- JACKSON, A. K. et al. Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Motor Learning in a Complex Overhand Throwing Task. **Cerebellum**, v. 18, n. 4, p. 813–816, 2019.
- KAMI, A. et al. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. **Nature**, v. 377, n. 6545, p. 155–158, 1995.
- KANG, E. K.; PAIK, N.-J. Effect of a tDCS electrode montage on implicit motor sequence learning in healthy subjects. **Experimental & translational stroke medicine**, v. 3, n. 4, p. 1–6, 2011.
- KANTAK, S. S.; MUMMIDISETTY, C. K.; STINEAR, J. W. Primary motor and premotor cortex in implicit sequence learning--evidence for competition between implicit and explicit human motor memory systems. **The European journal of neuroscience**, v. 36, n. 5, p. 2710–2715, set. 2012.
- KARNI, A. et al. Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill. **Science**, v. 265, n. 5172, p. 679–682, 1994.
- KAROK, S.; FLETCHER, D.; WITNEY, A. G. Task-specificity of unilateral anodal and dual-M1 tDCS effects on motor learning. **Neuropsychologia**, v. 94, p. 84–95, jan. 2017.
- KATAGIRI, N. et al. Single-Session Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation Affects Postural Control Learning and Cerebellar Brain Inhibition in Healthy Individuals. **Cerebellum**, v. 20, p. 203–211, 2021.
- KHAN, M. A.; FRANKS, I. M.; GOODMAN, D. The Effect of Practice on the Control of Rapid Aiming Movements: Evidence for an Interdependency between Programming and Feedback Processing. **Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology**, v. 51, n. 2, p. 425–443, 1998.
- KLEIM, J. A. et al. Synaptogenesis and Fos expression in the motor cortex of the adult rat after motor skill learning. **Journal of Neuroscience**, v. 16, n. 14, p. 4529–4535, 1996.
- KLEM, G. H.; LÜDERS, H. O.; JASPER, H. H. The ten-twenty electrode system of the international federation. the international federation of clinical neurophysiology. **Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Suppl.**, v. 52, p. 3–6, 1999.
- KRAKAUER, J. W.; MAZZONI, P. Human sensorimotor learning: adaptation, skill, and beyond. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 21, n. 4, p. 636–644, 2011.
- KUMARI, N.; TAYLOR, D.; SIGNAL, N. The Effect of Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation on Motor Learning: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 13: 328, n. October, 2019.
- LABRUNA, L. et al. Efficacy of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation is Related to Sensitivity to Transcranial Magnetic Stimulation. **Brain Stimulation**, v. 9, n. 1, p. 8–15, 1 jan. 2016.
- LATASH, M. L. **Neurophysiological basis of movement**. 2th. ed. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2008.

- LÓPEZ-ALONSO, V. et al. Intra-individual variability in the response to anodal transcranial direct current stimulation. **Clinical Neurophysiology**, v. 126, n. 12, p. 2342–2347, 2015.
- LOPEZ-ALONSO, V. et al. A Preliminary Comparison of Motor Learning Across Different Non-invasive Brain Stimulation Paradigms Shows No Consistent Modulations. **Front Neurosci**, v. 12:253, p. 253, 2018.
- LUFT, A. R. et al. Motor skill learning depends on protein synthesis in motor cortex after training. **Journal of Neuroscience**, v. 24, n. 29, p. 6515–6520, 2004.
- LUFT, A. R.; BUITRAGO, M. M. Stages of motor skill learning. **Molecular Neurobiology**, v. 32, n. 3, p. 205–216, 2005.
- MAGILL, R. A. **Motor learning: concepts and applications**. 5th. BostonThe McGraw-Hill Companies, Inc., , 1998.
- MAGILL, R. A.; HALL, K. G. A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. **Human Movement Science**, v. 9, n. 3–5, p. 241–289, 1990.
- MARCHANT, D. C.; CLOUGH, P. J.; CRAWSHAW, M. The effects of attentional focusing strategies on novice dart throwing performance and Their task experiences. **International Journal of Sport and Exercise Psychology**, v. 5, n. 3, p. 291–303, 2007.
- MATSUO, A. et al. Enhancement of precise hand movement by transcranial direct current stimulation. **NeuroReport**, v. 22, n. 2, p. 78–82, 2011.
- MCCOMBE WALLER, S. et al. Intracortical inhibition and facilitation with unilateral dominant, unilateral nondominant and bilateral movement tasks in left- and right-handed adults. **Journal of the Neurological Sciences**, v. 269, n. 1–2, p. 96–104, 2008.
- MEYER, D. E. et al. Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. **Psychological Review**, v. 95, n. 3, p. 340–370, 1988.
- MIALL, R. C.; WOLPERT, D. M. Forward Models for Physiological Motor Control. **Neural Networks**, v. 9, n. 8, p. 1265–1279, 1996.
- MIZUGUCHI, N.; KATAYAMA, T.; KANOSUE, K. The Effect of Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation on A Throwing Task Depends on Individual Level of Task Performance. **Neuroscience**, v. 371, n. December, p. 119–125, fev. 2018.
- MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of internal medicine**, v. 151, n. 4, p. 264–269, 2009.
- MOONEY, R. A.; CIRILLO, J.; BYBLOW, W. D. Neurophysiological mechanisms underlying motor skill learning in young and older adults. **Exp. brain res**, v. 237, p. 2331–2344, 2019.
- MORETTO, N. A.; MARCORI, A. J.; OKAZAKI, V. H. A. Contextual interference effects on motor skill acquisition, retention and transfer in sport rifle shooting. **Human Movement**, v. 19, n. 2, p. 99–104, 2018.

- NAGHIBI, S. S. et al. The Effects of Upper Limb Motor Recovery on Submovement Characteristics among the Patients with Stroke: A Meta-Analysis. **PM and R**, v. 12, n. 6, p. 589–601, 2020.
- NASSERI, P.; NITSCHKE, M. A.; EKHTIARI, H. A framework for categorizing electrode montages in transcranial direct current stimulation. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 9: 54, p. 1–5, 2015.
- NEVA, J. L.; LEGON, W.; STAINES, W. R. Primary motor cortex excitability is modulated with bimanual training. **Neuroscience Letters**, v. 514, n. 2, p. 147–151, 2012.
- NEWELL, K. M. Motor skill acquisition. **Annual review of psychology**, v. 42, n. 1, p. 213–237, 1991.
- NITSCHKE, M. A. et al. Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans. **The Journal of physiology**, v. 553, n. 1, p. 293–301, 2003a.
- 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, maio 2003b.
- NITSCHKE, M. A. et al. Consolidation of human motor cortical neuroplasticity by D-cycloserine. **Neuropsychopharmacology**, v. 29, n. 8, p. 1573–1578, 2004.
- NITSCHKE, M. A. et al. Transcranial Direct Current Stimulation: Protocols and Physiological Mechanisms of Action. Em: **Textbook of Neuromodulation**. New York: Springer, 2015. p. 101–111.
- NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. **Journal of Physiology**, v. 527, n. 3, p. 633–639, 2000.
- OKAZAKI, V. H. A. et al. MODELO ESTOCÁSTICO DE SUB-MOVIMENTOS OTIMIZADOS EM MOVIMENTOS COM RESTRIÇÃO ESPACIAL SIMULADOS EM COMPUTADOR. **Revista Brasileira de Biomecânica**, v. 9, n. 16, 2008.
- OKAZAKI, V. H. A.; TEIXEIRA, L. A.; RODACKI, A. L. F. **Tipo de filtro e cálculo das derivadas na análise cinemática**. XII Congresso Brasileiro de Biomecânica. **Anais...**2007.
- PARMA, J. O. et al. TDCS of the Primary Motor Cortex: Learning the Absolute Dimension of a Complex Motor Task. **Journal of Motor Behavior**, v. 53, n. 4, p. 431–444, 2021.
- PEREIRA, C. F.; MARQUES, I.; OKAZAKI, V. H. A. Practice effects on fast and accurate spatially constrained movements. **Human Movement**, v. 15, n. 1, p. 4–11, 2014.
- PIXA, N. H.; STEINBERG, F.; DOPPELMAYR, M. High-definition transcranial direct current stimulation to both primary motor cortices improves unimanual and bimanual dexterity. **Neuroscience Letters**, v. 643, p. 84–88, 2017a.

PIXA, N. H.; STEINBERG, F.; DOPPELMAYR, M. Effects of High-Definition Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Applied Simultaneously to Both Primary Motor Cortices on Bimanual Sensorimotor Performance. **Front Behav Neurosci**, v. 11:130, p. 130, 2017b.

PORTE, M. C. et al. Verbal feedback from an expert is more effective than self-accessed feedback about motion efficiency in learning new surgical skills. **American Journal of Surgery**, v. 193, n. 1, p. 105–110, 2007.

REIS, J. et al. Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 106, n. 5, p. 1590–1595, 2009.

REIS, J.; FRITSCH, B. Modulation of motor performance and motor learning by transcranial direct current stimulation. **Current Opinion in Neurology**, v. 24, n. 6, p. 590–596, dez. 2011.

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

ROBERTSON, E. M. The serial reaction time task: Implicit motor skill learning? **Journal of Neuroscience**, v. 27, n. 38, p. 10073–10075, 2007.

ROBERTSON, E. M.; PASCUAL-LEONE, A.; PRESS, D. Z. Awareness Modifies the Skill-Learning Benefits of Sleep. **Current Biology**, v. 14, n. 3, p. 208–212, 2004.

ROHRER, B. et al. Movement smoothness changes during stroke recovery. **Journal of Neuroscience**, v. 22, n. 18, p. 8297–8304, 2002.

SALMONI, A. W.; SCHMIDT, R. A.; WALTER, C. B. Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. **Psychological bulletin**, v. 95, n. 3, p. 355–386, 1984.

SANES, J. N.; DONOGHUE, J. P. Plasticity and primary motor cortex. **Annual Review of Neuroscience**, v. 23, n. 1, p. 393–415, 2000.

SAUCEDO MARQUEZ, C. M. et al. Task-specific effect of transcranial direct current stimulation on motor learning. **FRONTIERS IN HUMAN NEUROSCIENCE**, v. 7:333, n. July, p. 1–12, jul. 2013.

SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C. A. **Motor learning and performance: A situation-based learning approach**. 4th. ed. champaign, illinois: Human kinetics, 2008.

SHADMEHR, R.; KRAKAUER, J. W. A computational neuroanatomy for motor control. **Experimental Brain Research**, v. 185, n. 3, p. 359–381, 2008.

SHEA, J. B.; MORGAN, R. L. Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. **Journal of Experimental psychology: Human Learning and memory**, v. 5, n. 2, p. 179–187, 1979.

SIEBNER, H. R. et al. Preconditioning of Low-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation with Transcranial Direct Current Stimulation: Evidence for

Homeostatic Plasticity in the Human Motor Cortex. **Journal of Neuroscience**, v. 24, n. 13, p. 3379–3385, 2004.

SPAMPINATO, D. A.; BLOCK, H. J.; CELNIK, P. A. Cerebellar–M1 Connectivity Changes Associated with Motor Learning Are Somatotopic Specific. **The Journal of Neuroscience**, v. 37, n. 9, p. 2377, 1 mar. 2017.

SPLITTGERBER, R. **SNELL'S CLINICAL NEUROANATOMY**. 8th. ed. Philadelphia: Williams & Wilkins, 2019.

SRIRAMAN, A.; OISHI, T.; MADHAVAN, S. Timing-dependent priming effects of tDCS on ankle motor skill learning. **Brain research**, v. 1581, p. 23–29, set. 2014.

STAGG, C. J.; ANTAL, A.; NITSCHKE, M. A. Physiology of Transcranial Direct Current Stimulation. **Journal of ECT**, v. 34, n. 3, p. 144–152, 2018.

STAGG, C. J.; NITSCHKE, M. A. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. **The Neuroscientist : a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry**, v. 17, n. 1, p. 37–53, fev. 2011.

TABONE, C. J.; RAMASWAMI, M. Is NMDA Receptor-Coincidence Detection Required for Learning and Memory? **Neuron**, v. 74, n. 5, p. 767–769, 2012.

THOMAS, J. R.; NELSON, J. K.; SILVERMAN, S. J. Métodos de pesquisa em educação física. **Porto Alegre: Editora ArteMed**, 2007.

TOMCZAK, M.; TOMCZAK, E. The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size. **Trends in Sport Sciences**. v. 21, n. 1, p. 19–26, 2014.

VANCLEEF, K. et al. tDCS over left M1 or DLPFC does not improve learning of a bimanual coordination task. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1–111, out. 2016.

WATERS-METENIER, S. et al. Bihemispheric transcranial direct current stimulation enhances effector-independent representations of motor synergy and sequence learning. **The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience**, v. 34, n. 3, p. 1037–1050, jan. 2014.

WHITLOCK, J. R. et al. Learning Induces Long-Term Potentiation in the Hippocampus. **Science**, v. 313, n. 5790, p. 1093–1097, 25 ago. 2006.

WINTER, D. A. **Biomechanics and motor control of human movement**. John Wiley & Sons, 2009.

WOODS, A. J. et al. A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. **Clinical Neurophysiology**, v. 127, n. 2, p. 1031–1048, 2016.

WULF, G.; LEWTHWAITE, R. Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning. **Psychonomic Bulletin and Review**, v. 23, n. 5, p. 1382–1414, 2016.

WULF, G.; SHEA, C.; LEWTHWAITE, R. Motor skill learning and performance: A review of influential factors. **Medical Education**, v. 44, n. 1, p. 75–84, 2010.

WULF, G.; SU, J. An external focus of attention enhances golf shot accuracy in beginners and experts. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 78, n. 4, p. 384–389, 2007.

ZAGHI, S. et al. Noninvasive brain stimulation with low-intensity electrical currents: Putative mechanisms of action for direct and alternating current stimulation. **Neuroscientist**, v. 16, n. 3, p. 285–307, 2010.

APÊNDICES

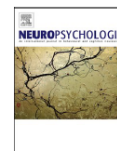
APÊNDICE A – Artigo publicado (Revisão Sistemática)

Neuropsychologia 179 (2023) 108463



Contents lists available at ScienceDirect

Neuropsychologia

journal homepage: www.elsevier.com/locate/neuropsychologia

Review article

Motor learning and tDCS: A systematic review on the dependency of the stimulation effect on motor task characteristics or tDCS assembly specifications

Anderson Nascimento Guimarães^{a,*}, Alessandra Beggiato Porto^a, Alexandre Jehan Marcori^b,
Guilherme Menezes Lage^c, Leandro Ricardo Altimari^a, Victor Hugo Alves Okazaki^a

^a State University of Londrina, Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid - Pr 445, Km 380, Cx. Postal 10.011, CEP 86057-970, Campus Universitário, Londrina, PR, Brazil

^b University of São Paulo, Av. Professor Mello Moraes 65, CEP 05508-030, Vila Universitaria, São Paulo, SP, Brazil

^c Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brazil



ARTICLE INFO

Keywords:

Transcranial direct current stimulation
Brain stimulation
Motor skills learning
Learning retention
Amount of practice

ABSTRACT

TDCS is one of the most commonly used methods among studies with transcranial electrical stimulation and motor skills learning. Differences between study results suggest that the effect of tDCS on motor learning is dependent on the motor task performed or on the tDCS assembly specification used in the learning process. This systematic review aimed to analyze the tDCS effect on motor learning and verify whether this effect is dependent on the task or tDCS assembly specifications. Searches were performed in PubMed, Scielo, LILACS, Web of Science, CINAHL, Scopus, SPORTDiscus, Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), Embase, and PsycINFO. Articles were included that analyzed the effect of tDCS on motor learning through pre-practice, post-practice, retention, and/or transfer tests (period ≥ 24 h). The tDCS was most frequently applied to the primary motor cortex (M1) or the cerebellar cortex (CC) and the majority of studies found significant stimulation effects. Studies that analyzed identical or similar motor tasks show divergent results for the tDCS effect, even when the assembly specifications are the same. The tDCS effect is not dependent on motor task characteristics or tDCS assembly specifications alone but is dependent on the interaction between these factors. This interaction occurs between uni and bimanual tasks with anodal uni and bihemispheric (bilateral) stimulations at M1 or with anodal unihemispheric stimulations (unilateral and centrally) at CC, and between tasks of greater or lesser difficulty with single or multiple tDCS sessions. Movement time seems to be more sensitive than errors to indicate the effects of tDCS on motor learning, and a sufficient amount of motor practice to reach the “learning plateau” also seems to determine the effect of tDCS on motor learning.

1. Introduction

Movement is present throughout human development (Haywood and Getchell, 2009) and its skillful execution is essential for the realization of simple daily tasks, cultural and sporting tasks of greater complexity, and work tasks (Wulf et al., 2010; Wulf and Lewthwaite, 2016). The way we learn motor skills and the factors which intervene in this process are questions investigated in the motor learning area (Adams, 1987; Magill and Hall, 1990; Newell, 1991; Wulf et al., 2010). Several factors influence motor learning, such as the number of attempts and task practice sessions (Braganholo et al., 2013), the focus of

attention (Marchant et al., 2007; Wulf and Su, 2007), feedback (O'Connor et al., 2008; Porte et al., 2007; Salmoni et al., 1984), and contextual interference (Braganholo et al., 2013; Moretto et al., 2018; Shea and Morgan, 1979). Another factor that has gained attention to facilitate motor learning is transcranial electrical stimulation (Buch et al., 2017; Celnik, 2015; Grimaldi et al., 2014; Reis and Fritsch, 2011).

Transcranial electrical stimulation (tES) aims to alter brain function in a non-invasive way, by applying different types of current to electrodes on the scalp (Bikson et al., 2019; Fertonani and Miniussi, 2017; Woods et al., 2016; Zaghi et al., 2010). One of the most widely used methods in motor learning studies is transcranial direct current

* Corresponding author. Rodovia Celso Garcia Cid - Pr 445, Km 380, Cx. Postal 10.011, 86057-970, Campus Universitário, Londrina, Paraná, Brazil.

E-mail addresses: guimaraes188@hotmail.com (A.N. Guimarães), porto_ale@hotmail.com (A.B. Porto), alexandremarcori@gmail.com (A.J. Marcori), menezeslage@gmail.com (G.M. Lage), altimari@uel.br (L.R. Altimari), vhaokazaki@gmail.com (V.H. Alves Okazaki).

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108463>

Received 20 June 2022; Received in revised form 21 November 2022; Accepted 19 December 2022

Available online 23 December 2022

0028-3932/© 2022 Elsevier Ltd. All rights reserved.

APÊNDICE B – Termo de consentimento livre e esclarecido

Efeito da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua do Córtex Motor Primário e Cerebelo no Controle e Aprendizagem de Tarefas de Contornar Figura Geométrica com Diferentes Demandas Cognitivas

Prezado (a) Senhor (a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) para participar da pesquisa **“Efeito da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua do Córtex Motor Primário ou do Cerebelo no Controle Motor e na Aprendizagem de Contornar Figura Geométrica com diferentes demandas cognitivas”**, a ser realizada no **Laboratório de Ensino e Pesquisa em Biomecânica (LAPEB) da Universidade Estadual de Londrina (UEL)**. O objetivo da pesquisa é **“analisar o efeito da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) do córtex motor primário ou do cerebelo no controle dos movimentos realizados de forma padrão, ou invertida, durante a aprendizagem da tarefa de contornar a figura de um quadrado”**. Para participar você precisa preencher os seguintes critérios de inclusão do estudo: ter idade entre 18 e 30 anos; ter preferência pelo uso da mão direita para desenhar; não possuir comprometimento neurológico; não utilizar medicamentos com ação no sistema nervoso central (p. ex. medicamentos para depressão, ansiedade, insônia, convulsões e hiperatividade); não usar marcapasso ou qualquer outro tipo de dispositivo implantado no corpo; não ter experiência com estimulação transcraniana; e não ter experiência na tarefa de contornar figura geométrica com a mão esquerda em mesa digitalizadora. Caso você não preencha algum destes critérios apresentados, avise o pesquisador responsável e não assine este termo de consentimento.

Sua participação é muito importante e ela se dará da seguinte forma: participar de uma sessão prática para a aprendizagem da **tarefa de contornar figura geométrica, simulada em computador (contornar um quadrado, controlando de forma padrão, ou invertida, o cursor de uma caneta de mesa digitalizadora)**, realizando 50 repetições (experimento I), ou 70 repetições (experimento II), válidas da tarefa e participar de quatro momentos de análise do desempenho na tarefa, com cinco repetições validas. O primeiro momento de análise (pré-teste) será realizado antes do início da sessão prática e o segundo momento será realizado após 10 minutos do término da sessão prática (pós-teste). Os dois últimos momentos de análise (testes de retenção/transferência) serão realizados após 24

horas e após sete dias do término da sessão prática, respectivamente. Em cada um dos quatro momentos de análise, você realizará cinco tentativas válidas da tarefa.

Durante a realização da tarefa, você receberá 20 minutos de um dos três tipos de estimulação cerebral não invasiva a ser utilizada neste estudo. O primeiro tipo de estimulação consiste em correntes contínuas de baixa intensidade (1,5 mA) aplicadas no córtex motor primário direito, o segundo tipo de estimulação consiste em mesma intensidade de corrente contínua aplicada no hemisfério cerebelar esquerdo e o terceiro tipo de estimulação será um placebo do primeiro ou do segundo tipo (mesmos procedimentos, mas sem ocorrência de estimulação). Em todos os tipos de estimulação, um eletrodo será afixado no couro cabeludo da cabeça (região do córtex motor primário ou do cerebelo) e outro eletrodo será posicionado na testa, acima do olho (região supraorbital), ou na bochecha (músculo bucinador). Nos quatro momentos de avaliação do desempenho da tarefa (pré-teste, pós-teste, retenção 1 e retenção 2), cinco repetições válidas da tarefa de desenho geométrico será realizada sem estimulação cerebral. O tempo previsto de duração da coleta na sessão prática (pré-teste + prática com estimulação + pós-teste) é de 60 minutos e nas duas últimas sessões (teste de retenção 1 e 2) é de 10 minutos, respectivamente.

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade. Esclarecemos ainda, que você não pagará e nem será remunerado(a) por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação.

Os benefícios esperados com esta pesquisa são: (1) contribuir para o aumento do conhecimento relacionado aos efeitos da ETCC na aprendizagem e no controle de movimentos; (2) compreender as semelhanças e as diferenças nas funções do córtex motor primário e do cerebelo no controle motor e na aprendizagem de tarefas com diferentes demandas cognitivas; (3) proporcionar à instrutores e terapeutas, indicativos metodológicos (relação entre característica da tarefa e estrutura cerebral estimulada) que possam potencializar o ensino e a reabilitação de tarefas com diferentes demandas cognitivas. Quanto aos riscos, garantimos que a existência é mínima. Entretanto, apesar de ser uma técnica segura por utilizar correntes de baixa intensidade, algumas pessoas

podem sentir algum efeito adverso da estimulação por corrente contínua. Os efeitos adversos mais comuns são: coceira no local, formigamento no local e dor de cabeça passageira. O efeito menos comum é a queimadura no local. Este efeito ocorre quando a solução salina não é utilizada para reduzir o contato direto do eletrodo com a pele, quando a corrente elétrica utilizada é superior ao máximo recomendado (2 mA) ou quando a estimulação ocorre em tempo superior a 25 minutos. Para proteger a integridade do participante e evitar efeitos adversos, será utilizada solução salina para embeber os eletrodos, correntes elétricas de até 1,5 mA e tempo máximo de 20 minutos de estimulação. Caso algum dos efeitos adversos mencionados ocorra, o pesquisador responsável se compromete em realizar os primeiros atendimentos com aplicação de gelo e compressa de água fria no local (nos casos mais comuns de formigamento e dor de cabeça passageira), bem como arcar com todos os gastos provenientes da necessidade de um possível atendimento médico e compra de medicamentos para o participante (no caso menos comum de queimadura no local).

Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos, poderá entrar em contato com o pesquisador Anderson Nascimento Guimarães por meio do número de telefone (43) 99951-5807, do e-mail guimaraes188@hotmail.com, do endereço Rua Jaime Moura de Lima, 699 – CEP 86086-050, Londrina – PR, ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto ao LABESC – Laboratório Escola, sala 14, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: cep268@uel.br.

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma devidamente preenchida, assinada e entregue a você.

Londrina, 2022.

Pesquisador Responsável

RG: _____

APÊNDICE C – Questionário adaptado sobre sensações e efeitos adversos à ETCC

Questionário sobre sensações e efeitos adversos à ETCC

Participante Nº _____ Data: ___/___/_____.

Prezado (a) Senhor (a):

A seguir você encontrará algumas perguntas relacionadas aos dois tipos de estimulação cerebral utilizadas neste estudo, a saber: **estimulação por Corrente Contínua (ETCC) real e estimulação placebo (sham)**. Por gentileza, responda as perguntas com o máximo de sinceridade. Suas respostas são fundamentais para a interpretação dos resultados desta pesquisa e, certamente, contribuirão para o avanço desta área de conhecimento.

1. Você acredita ter recebido a estimulação ETCC real ou placebo?

- ETCC real ()
- Placebo ()

2. Você sentiu DOR DE CABEÇA e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

• **Se sentiu, qual foi a intensidade?**

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

3. Você sentiu DOR DE PESCOÇO e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

• **Se sentiu, qual foi a intensidade?**

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

4. Você sentiu DOR NO COURO CABELUDO e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

• **Se sentiu, qual foi a intensidade?**

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

5. Você sentiu FORMIGAMENTO e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

• **Se sentiu, qual foi a intensidade?**

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

6. Você sentiu COCEIRA e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

• **Se sentiu, qual foi a intensidade?**

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

7. Você sentiu SENSACÃO DE QUEIMADURA e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

• **Se sentiu, qual foi a intensidade?**

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

8. Você teve VERMELHIDÃO NA PELE e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

• Se sentiu, qual foi a intensidade?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

9. Você sentiu SONOLÊNCIA e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

• Se sentiu, qual foi a intensidade?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

10. Você teve PROBLEMAS DE CONCENTRAÇÃO e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

• Se sentiu, qual foi a intensidade?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

11. Você sentiu MUDANÇA AGUDA DE HUMOR e acredita estar relacionado à ETCC?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= não senti; 2= remotamente relacionado; 3= possivelmente relacionado; 4= provavelmente relacionado; 5= definitivamente relacionado.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

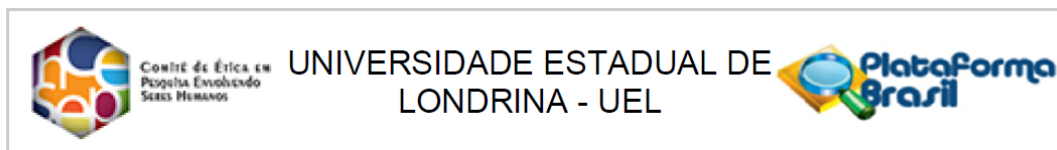
• Se sentiu, qual foi a intensidade?

Utilize a escala de 1 até 5 para indicar sua resposta, onde 1= muito baixa; 2= baixa; 3= moderada; 4= forte; 5= muito forte.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

ANEXOS

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa.



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DA ELETROESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA NA APRENDIZAGEM E NO CONTROLE DE HABILIDADES MOTORAS

Pesquisador: Anderson Nascimento Guimarães

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 46151921.0.0000.5231

Instituição Proponente: CEFE - PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA UEM/UEL

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.796.161

Apresentação do Projeto:

As informações elencadas foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1737045.pdf" de 17/06/2021.

A eletroestimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) é uma técnica não invasiva de estimulação cerebral por meio de correntes elétricas de baixa intensidade (0,5–2 mA) que são mantidas a uma determinada frequência durante o período de estimulação. Os efeitos neurofisiológicos proporcionados pela ETCC têm aumentado o interesse sobre o efeito da ETCC na aprendizagem motora. Algumas divergências sugerem que o efeito desta técnica possa ser dependente das características da tarefa motora e/ou das diferentes especificações de montagem e aplicação das ETCC. Além disso, não há informações na literatura da ETCC e aprendizagem motora sobre alterações no controle de movimentos, como as alterações no controle por pré-programação e por feedback online. Assim, o objetivo deste projeto de tese será analisar o efeito da ETCC na aprendizagem e no controle de movimentos de habilidades motoras de diferentes naturezas (tarefas discretas e contínuas) e diferentes restrições (tarefas fechadas e abertas; movimentos uni e bidimensionais). A ETCC anodal unihemisférica será aplicada no córtex motor primário durante a prática das tarefas motoras de cada experimento (I- tarefa discreta, fechada e unidimensional; II- tarefa contínua, fechada e bidimensional; III- tarefa contínua, aberta e bidimensional). Compreender os efeitos da ETCC na aprendizagem e no controle de movimentos pode auxiliar instrutores e terapeutas na potencialização do ensino e da reabilitação de tarefas

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

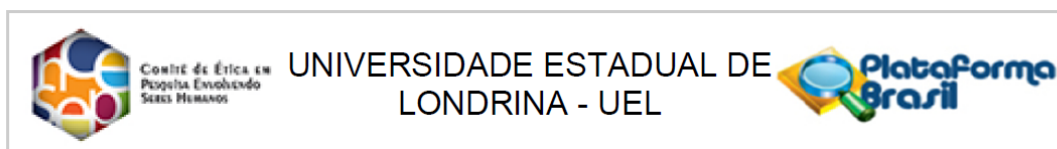
CEP: 86.057-970

UF: PR

Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 4.796.161

motoras, de diferentes naturezas e restrições, utilizadas em contextos esportivos, laborais ou do cotidiano.

Critério de Inclusão:

Em cada experimento serão utilizados diferentes participantes, sendo incluídos homens e mulheres com idade entre 18 e 30 anos, sem comprometimento neurológico, que não utilizem medicamentos com ação no sistema nervoso central (p. ex. medicamentos para depressão, ansiedade, insônia, convulsões e hiperatividade), sem experiência com eletroestimulação transcraniana e sem experiência nas tarefas motoras de cada experimento.

Critério de Exclusão:

Pessoas que apresentem no dia seguinte à estimulação, sintomas adversos menos comuns à ETCC (queimadura no local), ou assinale valor superior ou igual à 4 para a intensidade dos sintomas adversos mais comuns à ETCC (ver questionário no apêndice 6.5), e que não completem todas as sessões práticas, ou os três primeiros momentos de avaliação de aprendizagem da tarefa motora, serão excluídas do estudo.

Tamanho da amostra: 84 participantes.

Objetivo da Pesquisa:

As informações elencadas foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1737045.pdf" de 17/06/2021.

- Analisar o efeito da ETCC na aprendizagem e no controle dos movimentos de habilidade motoras de diferentes naturezas (tarefas discretas e contínuas) e diferentes restrições (tarefas fechadas e abertas; movimentos uni e bidimensionais).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

As informações elencadas foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1737045.pdf" de 17/06/2021.

Quanto aos riscos, os pesquisadores garantem que a existência é mínima. Entretanto, apesar de ser uma técnica segura, por utilizar correntes de baixa intensidade, algumas pessoas podem sentir algum efeito adverso da eletroestimulação por corrente contínua. Os efeitos adversos mais

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

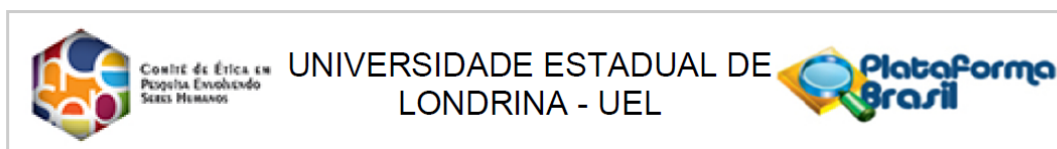
UF: PR

Telefone: (43)3371-5455

Município: LONDRINA

CEP: 86.057-970

E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 4.796.161

comuns são: coceira no local, formigamento no local e dor de cabeça. Os menos comuns são: desconforto no local e queimadura no local. O pesquisador responsável assume o compromisso de prestar toda a assistência necessária para os participantes, como os primeiros atendimentos no local, transporte para o hospital mais próximo e gastos financeiros possíveis, caso algum dos riscos mencionados acima ocorra.

Os benefícios esperados são: contribuir para o aumento do conhecimento relacionado aos efeitos da ETCC na aprendizagem e no controle de movimentos de uma tarefa contínua realizada em ambiente instável, que exige velocidade e precisão de movimentos, bem como proporcionar indicativos à instrutores e terapeutas para a potencialização do ensino e da reabilitação de tarefas que possuam estas restrições e sejam aplicadas em situações esportivas, laborais ou cotidianas.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de um projeto de pesquisa de Tese do Programa de Pós-Graduação em Educação Física UEL/UEM.

A pesquisa será realizada no Laboratório de Pesquisa e Ensino em Biomecânica da UEL e consistirá em três experimentos sobre o efeito da eletroestimulação transcraniana por corrente contínua na aprendizagem e no controle de movimentos de diferentes habilidades motoras. Em cada experimento os participantes realizarão um teste antes do início do período de prática da tarefa motora (pré-teste), seguido de uma sessão prática da tarefa motora. Após 24 horas os participantes realizarão a segunda sessão prática e um teste pós prática (pós-teste) realizado após 10 minutos do fim da sessão prática. Os participantes serão, ainda, avaliados em testes de retenção de aprendizagem motora, um realizado após 24 horas do término da segunda sessão prática e outro realizado após 7 dias depois do fim do primeiro teste de retenção.

Projeto relevante que busca contribuir para o aumento do conhecimento relacionado aos efeitos da ETCC na aprendizagem e no controle de movimentos, bem como proporcionar indicativos à instrutores e terapeutas para a potencialização do ensino e da reabilitação de tarefas que possuam estas restrições e sejam aplicadas em situações esportivas, laborais ou cotidianas.

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

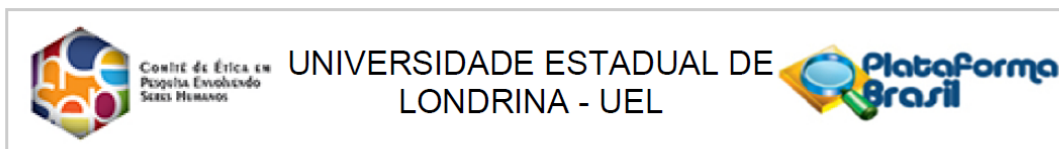
CEP: 86.057-970

UF: PR

Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 4.796.161

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

- Apresentou folha de rosto adequadamente preenchida e assinada pelo coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação Física UEL.

- Apresentou 03 modelos de TCLE:

- a) TCLE - Estudo experimental I
- b) TCLE - Estudo experimental II
- c) TCLE - Estudo experimental III.

- Apresentou instrumento de coleta de dados.

- Apresentou projeto de pesquisa completo.

- Apresentou Declaração de compromisso do pesquisador.

- Cronograma: Data prevista para início do 1º experimento: 12/07/2021.

- Orçamento:

a) Tipo "OUTROS", no valor total de R\$65,00 com materiais de escritório e solução salina.

b) Outras justificativas: Não haverá gastos com os equipamentos para eletroestimulação e para a realização das tarefas motoras, uma vez que o pesquisador responsável possui estes equipamentos. Também não haverá gastos dos participantes com transporte, uma vez que todos são estudantes da instituição e estarão no local de realização do estudo. Caso as coletas iniciem, ainda, neste momento de pandemia que estamos vivendo, o pesquisador responsável garantirá o transporte de ida e de volta para todos os participantes do estudo.

Recomendações:

O Comitê de Ética alerta e recomenda que, mesmo analisando o protocolo da pesquisa, a etapa de coleta de dados presenciais deve estar de acordo com os decretos nacionais, estaduais, municipais e das instituições públicas ou privadas envolvidas, seguindo as regras no tocante às exigências sanitárias em tempos pandêmicos estabelecidas pelo local de realização da pesquisa. A autorização para realização da pesquisa presencial é de responsabilidade do representante legal

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

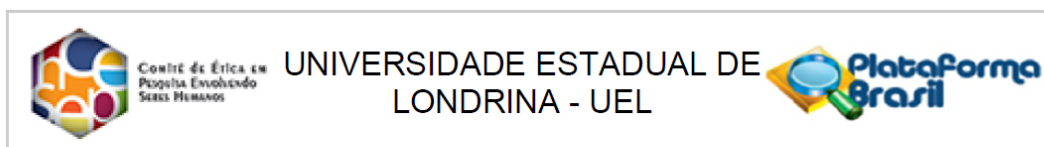
UF: PR

Município: LONDRINA

CEP: 86.057-970

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 4.796.161

pela instituição. Caso não seja possível iniciar/realizar a coleta de dados dentro do período previsto, a alteração e solicitação de novas datas podem ser solicitadas via emenda ao projeto.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Prezado pesquisador, após análise desta versão do projeto de pesquisa, damos parecer favorável para início da coleta de dados.

Considerações Finais a critério do CEP:

Prezado(a) Pesquisador(a),

Este é seu parecer final de aprovação, vinculado ao Comitê de Ética em Pesquisas Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina. É sua responsabilidade apresentá-lo aos órgãos e/ou instituições pertinentes.

Ressaltamos, para início da pesquisa, as seguintes atribuições do pesquisador, conforme Resolução CNS 466/2012 e 510/2016:

A responsabilidade do pesquisador é indelegável e indeclinável e compreende os aspectos éticos e legais, cabendo-lhe:

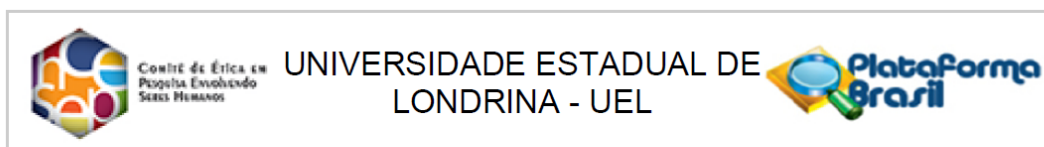
- conduzir o processo de Consentimento e de Assentimento Livre e Esclarecido;
- apresentar dados solicitados pelo sistema CEP/CONEP a qualquer momento;
- desenvolver o projeto conforme delineado, justificando, quando ocorridas, a sua mudança ou interrupção;
- elaborar e apresentar os relatórios parciais e final;
- manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa;
- encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores e pessoal técnico integrante do projeto;
- justificar fundamentadamente, perante o sistema CEP/CONEP, interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

Coordenação CEP/UEL.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
----------------	---------	----------	-------	----------

Endereço: LABESC - Sala 14	CEP: 86.057-970
Bairro: Campus Universitário	
UF: PR	Município: LONDRINA
Telefone: (43)3371-5455	E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 4.796.161

pela instituição. Caso não seja possível iniciar/realizar a coleta de dados dentro do período previsto, a alteração e solicitação de novas datas podem ser solicitadas via emenda ao projeto.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Prezado pesquisador, após análise desta versão do projeto de pesquisa, damos parecer favorável para início da coleta de dados.

Considerações Finais a critério do CEP:

Prezado(a) Pesquisador(a),

Este é seu parecer final de aprovação, vinculado ao Comitê de Ética em Pesquisas Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina. É sua responsabilidade apresentá-lo aos órgãos e/ou instituições pertinentes.

Ressaltamos, para início da pesquisa, as seguintes atribuições do pesquisador, conforme Resolução CNS 466/2012 e 510/2016:

A responsabilidade do pesquisador é indelegável e indeclinável e compreende os aspectos éticos e legais, cabendo-lhe:

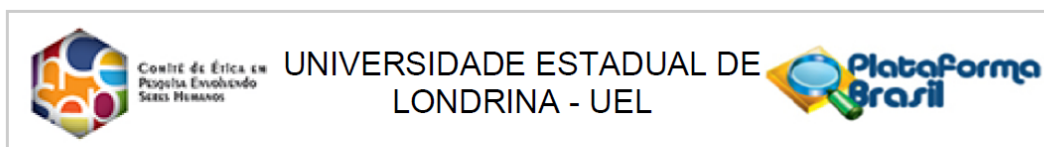
- conduzir o processo de Consentimento e de Assentimento Livre e Esclarecido;
- apresentar dados solicitados pelo sistema CEP/CONEP a qualquer momento;
- desenvolver o projeto conforme delineado, justificando, quando ocorridas, a sua mudança ou interrupção;
- elaborar e apresentar os relatórios parciais e final;
- manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa;
- encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores e pessoal técnico integrante do projeto;
- justificar fundamentadamente, perante o sistema CEP/CONEP, interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

Coordenação CEP/UUEL.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
----------------	---------	----------	-------	----------

Endereço: LABESC - Sala 14	CEP: 86.057-970
Bairro: Campus Universitário	
UF: PR	Município: LONDRINA
Telefone: (43)3371-5455	E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 4.796.161

pela instituição. Caso não seja possível iniciar/realizar a coleta de dados dentro do período previsto, a alteração e solicitação de novas datas podem ser solicitadas via emenda ao projeto.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Prezado pesquisador, após análise desta versão do projeto de pesquisa, damos parecer favorável para início da coleta de dados.

Considerações Finais a critério do CEP:

Prezado(a) Pesquisador(a),

Este é seu parecer final de aprovação, vinculado ao Comitê de Ética em Pesquisas Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina. É sua responsabilidade apresentá-lo aos órgãos e/ou instituições pertinentes.

Ressaltamos, para início da pesquisa, as seguintes atribuições do pesquisador, conforme Resolução CNS 466/2012 e 510/2016:

A responsabilidade do pesquisador é indelegável e indeclinável e compreende os aspectos éticos e legais, cabendo-lhe:

- conduzir o processo de Consentimento e de Assentimento Livre e Esclarecido;
- apresentar dados solicitados pelo sistema CEP/CONEP a qualquer momento;
- desenvolver o projeto conforme delineado, justificando, quando ocorridas, a sua mudança ou interrupção;
- elaborar e apresentar os relatórios parciais e final;
- manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa;
- encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores e pessoal técnico integrante do projeto;
- justificar fundamentadamente, perante o sistema CEP/CONEP, interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

Coordenação CEP/UEL.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
----------------	---------	----------	-------	----------

Endereço: LABESC - Sala 14	CEP: 86.057-970
Bairro: Campus Universitário	
UF: PR	Município: LONDRINA
Telefone: (43)3371-5455	E-mail: cep268@uel.br

ANEXO B – Questionário sobre sensações e efeitos adversos à ETCC.

International Journal of Neuropsychopharmacology (2011), 14, 1133–1145. © CINP 2011
doi:10.1017/S1461145710001690

A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation

Andre Russowsky Brunoni^{1,2,3}, Joao Amadera¹, Bruna Berbel¹, Magdalena Sarah Volz¹, Brenno Gomes Rizzerio¹ and Felipe Fregni^{1,2}

¹ *Laboratory of Neuromodulation, Department of Physical Medicine & Rehabilitation, Spaulding Rehabilitation Hospital and Massachusetts General Hospital, Harvard Medical School, Boston, MA, USA*

² *Department of Neurosciences and behavior, Institute of Psychology, University of São Paulo, São Paulo, Brazil*

³ *Centro de Pesquisas Clínicas, Hospital Universitário, University of São Paulo, São Paulo, Brazil*

Proposal of a questionnaire surveying for tDCS adverse effects

tDCS Adverse Effects Questionnaire – Session _____

Do you experience any of the following symptoms or side-effects?	Enter a value (1–4) in the space below (1, absent; 2, mild; 3, moderate; 4, severe)	If present: Is this related to tDCS? (1, none; 2, remote; 3, possible; 4, probable; 5, definite)	Notes
Headache			
Neck pain			
Scalp pain			
Tingling			
Itching			
Burning sensation			
Skin redness			
Sleepiness			
Trouble concentrating			
Acute mood change			
Others (specify)			