

EFEITO DA TDCS ANÓDICA CEREBELAR NA VELOCIDADE DA MARCHA COM DUPLA TAREFA DE ADULTOS COM NEUROPATIA DIABÉTICA: UM ESTUDO PILOTO RANDOMIZADO, TRIPLO-CEGO E CONTROLADO

EFFECT OF CEREBELLAR ANODAL TDCS ON GAIT SPEED WITH DUAL TASK IN ADULTS WITH DIABETIC NEUROPATHY: A RANDOMIZED, TRIPLE-BLIND, CONTROLLED PILOT STUDY

EFFECTO DE LA TDCS ANÓDICA CEREBELOSA EN LA VELOCIDAD DE LA MARCHA CON DOBLE TAREA EN ADULTOS CON NEUROPATÍA DIABÉTICA: UN ESTUDIO PILOTO ALEATORIZADO, TRIPLE CIEGO Y CONTROLADO

RESUMO

Introdução: Pessoas com neuropatia diabética apresentam comprometimento sensório-motor, prejudicando a velocidade da marcha e o equilíbrio. A tDCS (estimulação transcraniana por corrente contínua) pode melhorar a função neuromuscular e a plasticidade cerebral, auxiliando no controle motor e na estabilidade postural. **Objetivo:** Investigar o efeito da estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) na região do cerebelo sobre a velocidade da marcha de adultos com Diabetes Mellitus Tipo II durante a realização de dupla tarefa motora-cognitiva. **Metodologia:** Este é um ensaio clínico, aleatorizado e triplo-cego. Participaram do estudo, 11 pessoas com diabetes, alocadas em grupo intervenção (GDI) e grupo controle (GDC). Foi avaliado o efeito de uma sessão única de estimulação transcraniana por corrente contínua na velocidade da marcha, equilíbrio estático e dinâmico. A intervenção consistiu em um treinamento de marcha em esteira com obstáculos, associado ou não (sham) a uma tarefa cognitiva de subtração e à tDCS na região cerebelar. As variáveis contínuas foram expressas em média e desvio padrão. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Para a análise comparativa pré e pós-intervenção, utilizou-se o teste ANOVA para medidas repetidas. Para os dados que não apresentaram distribuição normal, aplicou-se o modelo linear generalizado misto (GLMM). **Resultados:** As variáveis velocidade de marcha, tempo de execução do TUG com e sem dupla tarefa e custo da dupla tarefa não apresentaram diferenças significativas entre os grupos. **Conclusão:** Uma única sessão de tDCS cerebelar não promoveu melhora significativa na velocidade da marcha durante dupla tarefa, na mobilidade funcional ou no equilíbrio de adultos com diabetes mellitus tipo 2.

Palavras-chave: Desempenho Físico Funcional; Diabetes Tipo 2; Tarefa de Desempenho Contínuo; Estimulação transcraniana por corrente contínua.

ABSTRACT

Introduction: People with diabetic neuropathy present sensory-motor impairment, which negatively affects gait speed and balance. tDCS (transcranial direct current stimulation) may improve neuromuscular function and brain plasticity, assisting motor control and postural stability. **Objective:** The present study aimed to investigate the effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) applied to the cerebellar region on gait speed in adults with Type 2 Diabetes Mellitus during the performance of a motor-cognitive dual task. **Methodology:** This is a clinical trial, randomized, triple-blind study. Eleven individuals with diabetes participated in the study and were allocated to the intervention group (GDI) and control group (GDC). In this study, we evaluated the effect of a single session of transcranial direct current stimulation on gait speed, static balance, and dynamic balance. The intervention consisted of gait training on a treadmill with obstacles, associated or not (sham) with a cognitive subtraction task and tDCS applied to the cerebellar region. Continuous variables were expressed as mean and standard deviation. Data normality was assessed using the Shapiro-Wilk test. For the pre- and post-intervention comparative analysis, repeated-measures ANOVA was used. For data that did not present normal distribution, the generalized linear mixed model (GLMM) was applied. **Results:** Gait speed, TUG execution time with and without dual task, and dual-

Ismaia Marry Amaral Menezes¹ 

Adriely Vilaça Cruz¹ 

Eva Maria Barbosa Gomes¹ 

Joelson Elesbão de Oliveira Werdam¹ 

Elaine Michele Bentes dos Santos¹ 

Ayrles Silva Gonçalves B. Mendonça¹ 

Aline Arcanjo Gomes¹ 

1. Universidade Federal do Amazonas.

E-mail: ismaia.menezes@ufam.edu.br

Recebido em: 25/09/2025

Revisado em: 29/06/2026

Aceito em: 10/07/2026



Copyright: © 2026. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

task cost did not show significant differences between groups. **Conclusion:** A single session of cerebellar tDCS did not promote significant improvement in gait speed during dual task, functional mobility, or balance in adults with type 2 diabetes mellitus.

Key- words: Physical Functional Performance, Diabetes Mellitus, Type 2, Continuous Performance Task, Transcranial Direct Current Stimulation

RESUMEN

Introducción: Las personas con neuropatía diabética presentan deterioro sensoriomotor, lo que perjudica la velocidad de la marcha y el equilibrio. La tDCS (estimulación transcraneal por corriente continua) puede mejorar la función neuromuscular y la plasticidad cerebral, contribuyendo al control motor y a la estabilidad postural. **Objetivo:** El presente estudio tuvo como objetivo investigar el efecto de la estimulación transcraneal por corriente continua (tDCS) aplicada en la región del cerebelo sobre la velocidad de la marcha en adultos con Diabetes Mellitus Tipo 2 durante la realización de una doble tarea motora-cognitiva. **Metodología:** Este es un estudio piloto, aleatorizado y triple ciego. Participaron en el estudio 11 personas con diabetes, asignadas al grupo de intervención (GDI) y al grupo control (GDC). En este estudio, evaluamos el efecto de una única sesión de estimulación transcraneal por corriente continua sobre la velocidad de la marcha, el equilibrio estático y el equilibrio dinámico. La intervención consistió en un entrenamiento de marcha en cinta con obstáculos, asociado o no (sham/simulado) a una tarea cognitiva de sustracción y a la tDCS en la región cerebelosa. Las variables continuas se expresaron como media y desviación estándar. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para el análisis comparativo pre y postintervención, se utilizó ANOVA de medidas repetidas. Para los datos que no presentaron distribución normal, se aplicó el modelo lineal generalizado mixto (GLMM). **Resultados:** Las variables velocidad de la marcha, tiempo de ejecución del TUG con y sin doble tarea y costo de la doble tarea no presentaron diferencias significativas entre los grupos. **Conclusión:** Una única sesión de tDCS cerebelosa no promovió una mejora significativa en la velocidad de la marcha durante la doble tarea, en la movilidad funcional ni en el equilibrio de adultos con diabetes mellitus tipo 2.

Palabras clave: Rendimiento funcional físico, diabetes mellitus tipo 2, tarea de rendimiento continuo, estimulación transcraneal por corriente continua.

INTRODUÇÃO

O Diabetes Mellitus (DM) é uma doença metabólica crônica não transmissível, diagnosticada por níveis anormalmente elevados de glicose no sangue, sendo responsável por alta morbidade e mortalidade devido a complicações como insuficiência renal, cegueira, amputações, doenças cardiovasculares, eventos cerebrovasculares e neuropatia diabética^(1,2). Nos estágios mais avançados da neuropatia diabética, a disfunção de fibras nervosas de grande calibre pode causar desequilíbrio, prejuízo da coordenação e alterações na marcha, enquanto a neuropatia motora pode levar à atrofia muscular dos membros inferiores⁽³⁾, agravando ainda mais a instabilidade postural⁽⁴⁾. Pessoas com diabetes mellitus tendem a apresentar velocidades de marcha mais lentas, menor comprimento da passada, maior variabilidade no comprimento e na largura do passo, além de alterações nos

tempos de apoio e oscilação, o que pode impactar diretamente sua mobilidade funcional e qualidade de vida⁽⁵⁾.

Uma das estratégias atualmente investigadas para modular o desempenho motor em diferentes populações é a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS), uma técnica não invasiva capaz de modificar temporariamente a excitabilidade neuronal e modular processos corticais e subcorticais relacionados ao controle motor^(1,6-8). Entre os possíveis alvos de estimulação, o cerebelo tem recebido destaque por sua participação no controle postural, na coordenação motora, na adaptação da marcha, na aprendizagem motora e na integração entre informações sensoriais e motoras⁽¹⁾.

A tDCS cerebelar tem demonstrado potencial para influenciar o comportamento motor e cognitivo quando aplicada antes ou durante a execução de tarefas motoras⁽⁹⁾.

Estudos prévios sugerem efeitos positivos da estimulação cerebelar sobre controle postural, equilíbrio e mobilidade, especialmente quando associada ao desempenho de tarefas funcionais^(5,9). Entretanto, grande parte dessas evidências deriva de estudos realizados em indivíduos saudáveis ou em populações neurológicas, como pacientes com doença de Parkinson e acidente vascular cerebral, cujos déficits motores estão frequentemente relacionados a alterações centrais dos circuitos cortico-cerebelares^(7,8,10). Dessa forma, ainda não está claro se os efeitos observados nessas populações podem ser extrapolados para indivíduos com diabetes mellitus tipo 2, nos quais as alterações de marcha e equilíbrio podem estar fortemente associadas a mecanismos periféricos^(3,4).

Assim, permanece uma lacuna no conhecimento sobre os efeitos imediatos da tDCS cerebelar na marcha, no equilíbrio e na mobilidade funcional de adultos com diabetes mellitus tipo 2, especialmente durante situações de maior demanda motora e cognitiva, como a dupla tarefa.

Diante desse contexto, o presente estudo apresentou como objetivo investigar o efeito de uma única sessão de tDCS anodal aplicada à região cerebelar sobre a velocidade da marcha durante dupla tarefa motora-cognitiva, bem como sobre medidas de mobilidade funcional e equilíbrio, em adultos com diabetes mellitus tipo 2.

A hipótese do estudo foi que uma única sessão de tDCS cerebelar associada ao treinamento de marcha com dupla tarefa promoveria melhora na velocidade da marcha, na mobilidade funcional e no equilíbrio quando

comparada à condição sham/placebo.

MATERIAIS E MÉTODOS

DESENHO DO ESTUDO

Foi conduzido um ensaio clínico, piloto, paralelo, simulado, aleatorizado e triplo-cego. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Amazonas (CEP/UFAM), sob Parecer Consubstanciado nº 6.124.973 e CAAE nº 65682222.5.0000.5020. Todos os participantes do estudo foram notificados de que poderiam ser randomizados para qualquer um dos grupos de estudo. Além disso, foi fornecido um termo de consentimento por escrito Consentimento informado de acordo com a Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e a Declaração de Helsinque. Entre dezembro de 2023 e setembro de 2024, os participantes foram recrutados no Setor de Fisioterapia do Ambulatório Araújo Lima do Hospital Universitário da Universidade Federal do Amazonas, na cidade de Manaus, Brasil. Todos foram considerados aptos a participar deste estudo se preenchessem os seguintes critérios:

- (1)** Diagnóstico clínico de Diabetes Mellitus Tipo 2 com ou sem polineuropatia sensorio-motora simétrica crônica dependente do comprimento;
- (2)** Idade entre 35 e 59 anos;
- (3)** Sem história de amputações, vestibulopatia, retinopatia, nefropatia, doença neurológica ou ortopédica.
- (4)** Ausência de materiais implantados cirurgicamente na cabeça ou pescoço, uso de medicação psicotrópica, marca-passo, gravidez, alergias conhecidas aos materiais

de preparação da tDCS, histórico de doença psiquiátrica, demência, alterações cognitivas severas e procedimentos neurocirúrgicos anteriores.

Nesta intervenção, o paciente, avaliador, o terapeuta e o analista estatístico foram cegos. Os grupos do estudo foram formados por 11 voluntários adultos, de ambos os sexos, estratificados aleatoriamente em dois grupos: Grupo de indivíduos com Diabetes Intervenção (GDI) e Grupo de indivíduos com Diabetes Controle (GDC). O cálculo amostral foi realizado no programa GPower, considerando alfa de 0,05, poder de 0,95 e tamanho de efeito 0,5.

Foram convidados a participar do estudo 22 indivíduos, dos quais 8 recusaram a participação. Os 14 participantes elegíveis foram randomizados, por amostragem aleatória simples, para os grupos Ativo e Sham/Controle. Durante o acompanhamento, ocorreram 3 perdas: 1 participante foi excluído devido à instabilidade hemodinâmica e 2 desistiram voluntariamente antes da reavaliação. Dessa forma, a análise final incluiu 11 participantes. O cálculo amostral inicial indicou a necessidade de 52 participantes; entretanto, esse número não foi alcançado devido a dificuldades de recrutamento e perdas durante o seguimento. Essa redução pode ter comprometido o poder estatístico do estudo, aumentando o risco de erro do tipo II e limitando a interpretação dos resultados.

Dados demográficos e clínicos, incluindo idade, Índice de Massa Corporal (IMC), doenças associadas, prevalência/classificação de doença arterial obstrutiva periférica, sexo, etilismo, Pressão Arterial (PA), tabagismo (prevalência) e níveis de atividade física de

todos os participantes foram registrados. Além do diagnóstico clínico prévio de Diabetes Mellitus Tipo 2, todos os indivíduos foram entrevistados com o auxílio do Michigan Neuropathy Screening Instrument – questionnaire (MNSI) e do Montreal Cognitive Assessment (MoCA). O MoCA foi aplicado com o objetivo de identificar participantes com comprometimento cognitivo leve. O equilíbrio funcional foi avaliado por meio da Escala de Equilíbrio de Berg (EEB), versão brasileira, composta por 14 tarefas que avaliam o equilíbrio estático e dinâmico durante atividades funcionais. A pontuação total varia de 0 a 56 pontos, sendo que escores mais elevados indicam melhor desempenho do equilíbrio funcional(11) . Os instrumentos MNSI e MoCA podem ser encontrados no Material Suplementar.

INTERVENÇÃO

A intervenção foi conduzida por meio de um estimulador programável MicroEstim® (NKL, Brasil). Os 11 participantes receberam tDCS anodal ativa ou sham/placebo, de acordo com o grupo em que foram alocados. O aparelho utiliza códigos que diferenciam a condição sham da estimulação ativa. Esse procedimento permitiu configurar o equipamento sem revelar a condição experimental ao terapeuta ou participante, contribuindo para a manutenção do cegamento.

Os códigos foram escritos em envelopes opacos, selados e numerados sequencialmente por um pesquisador independente. Esses códigos foram abertos pelo próprio participante no momento da aplicação, e o terapeuta configurou o aparelho com o código

correspondente e iniciou o tratamento.

O eletrodo anodal de 7 cm, embebido em solução salina, foi posicionado na região cerebelar/occipital ("O0"), e o eletrodo catodal foi posicionado na região frontal da cabeça, acima da glabella ("F0"). A escolha da região cerebelar como alvo terapêutico foi baseada no papel do cerebelo no controle postural, na coordenação motora, na aprendizagem motora e nos ajustes relacionados ao equilíbrio e à marcha. Assim, a estimulação cerebelar foi considerada adequada para investigar possíveis efeitos sobre o desempenho da marcha associado a demandas motoras e cognitivas.

A corrente aplicada foi de 2,0 mA durante 20 minutos. A intensidade e a duração da estimulação foram definidas com base em protocolos prévios de tDCS cerebelar, nos quais correntes entre 1 e 2 mA, aplicadas por aproximadamente 20 minutos, foram utilizadas para promover modulação neural de forma não invasiva e segura^(1,7,9). Considerando a área do eletrodo, a estimulação resultou em densidade de carga de aproximadamente 0,07 C/cm².

Na condição sham/placebo, a rampa de subida foi executada normalmente e, após um período de 30 segundos, a rampa de descida foi iniciada sem qualquer indicação no aparelho. Esse procedimento buscou simular as sensações iniciais da estimulação ativa, favorecendo o cegamento dos participantes. Os indivíduos realizaram uma sessão de tDCS anodal ativa ou sham/placebo. Ao final da sessão, todos os participantes preencheram um breve questionário para registrar possíveis efeitos adversos leves associados à tDCS, como formigamento, prurido e vermelhidão no local

dos eletrodos.

As sessões de treinamento de caminhada com tarefas cognitivas e cognitivo-motoras tiveram duração de 20 minutos. A primeira tarefa consistia em jogar bolas coloridas em cestos posicionados a uma distância de 1 metro. As bolas eram das cores azul, amarela e vermelha; cada cor representava um número, e o comando dado ao participante era jogar a bola de cor correspondente ao número informado. A segunda tarefa consistia em realizar subtrações seriadas de 3, iniciando em 600 e subtraindo sucessivamente o valor 3 até atingir aproximadamente 500. O protocolo das atividades realizadas pode ser encontrado no Material Suplementar, no "Questionário de Dupla Tarefa".

DESFECHOS

O desfecho primário foi a Velocidade de Marcha e os desfechos secundários foram equilíbrio unipodal, teste *Time Up and Go* e teste de velocidade de marcha com Dupla Tarefa. Todos os testes foram realizados com o software Baiobit®.

RANDOMIZAÇÃO E CEGAMENTO

A randomização dos participantes foi realizada por um pesquisador independente, não envolvido nas etapas de avaliação, intervenção ou análise dos dados. A sequência de alocação foi gerada previamente no Microsoft Excel, por meio de randomização em blocos permutados de quatro participantes, distribuídos aleatoriamente entre os grupos intervenção e sham/placebo, totalizando 13 blocos de randomização.

A ocultação da alocação foi assegurada

por meio de envelopes opacos, selados e numerados sequencialmente. Cada envelope continha o código correspondente à programação do equipamento de estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS), necessário para configurar o aparelho no modo ativo ou sham/placebo, sem identificação direta do grupo de alocação. Os envelopes foram mantidos fechados até o momento da alocação de cada participante, reduzindo o risco de previsão ou influência na distribuição entre os grupos.

O cegamento foi mantido por meio da utilização dos códigos de programação da tDCS, que permitiam configurar o equipamento para o modo ativo ou sham/placebo sem revelar a condição experimental ao terapeuta e participantes. Dessa forma, ambos permaneceram cegos quanto ao grupo de alocação. Além disso, os avaliadores não tiveram acesso à sequência de randomização ou à identificação dos grupos durante a coleta dos dados, preservando o cegamento da avaliação.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas no software Jamovi para Windows. As variáveis

contínuas foram apresentadas como média e desvio-padrão ou mediana e intervalo interquartil, conforme a distribuição dos dados. As variáveis categóricas foram descritas por frequências absolutas e relativas. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene.

Os efeitos da tDCS foram analisados por meio de modelo misto, considerando os fatores tempo (pré-intervenção vs. reavaliação pós-intervenção), grupo (intervenção vs. sham/placebo) e a interação tempo × grupo. Quando identificadas diferenças significativas, foram realizadas comparações entre os momentos e entre os grupos, com apresentação dos respectivos intervalos de confiança de 95% (IC95%).

O tamanho do efeito foi calculado para estimar a magnitude das diferenças observadas entre as avaliações pré e pós-intervenção em cada grupo, bem como das diferenças entre os grupos. Para as variáveis que não atenderam aos pressupostos de normalidade, foram utilizados testes não paramétricos apropriados, incluindo o teste de Wilcoxon para a Escala de Equilíbrio de Berg. Para todas as análises, foi adotado nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Características da amostra

A amostra foi composta por 11 participantes, dos quais 72% eram do sexo feminino. Os grupos foram semelhantes quanto à distribuição por sexo, escolaridade, índice de massa corporal (IMC) e nível de atividade física na linha de base, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1- Características sociodemográficas e clínicas da amostra (n=11).

	Grupo Controle	Grupo Intervenção	p
Idade (anos)	50(+8.54)	53 (+4.5)	0.517
Estatura (m)	1.64 (+0.09)	1.55 (+0.101)	0.887
Massa (kg)		73 (+16.7)	0.961
Duração da Diabetes (anos)	10.7 (+4.51)	11.7 (+4.51)	0.878
Última Glicemia	168.5 (+42.3)	149 (+45.2)	0.970
Score MNSI- questionnaire	6.58 (+2.94)	8.83(+3.25)	0.915
Score Total de Equilíbrio de Berg	54.8 (+2.68)	55 (+1)	*Menor que 0.001
Score Total de Moca	22.3 (+3.70)	19.7	0.253
Sexo			0.898
Sexo Masculino	25 % (1)	29 % (2)	
Sexo Feminino	75 % (3)	71% (5)	
IMC			0.329
IMC Normal	25 % (1)	0	
IMC sobrepeso	25 % (1)	43% (3)	
IMC obesidade grau 1	50 % (2)	29 % (2)	
IMC obesidade grau 2	0	29 % (2)	
Atividade Física			
Prática de atividade física	25 % (1)	43% (3)	0.554
Sim			
Não pratica atividade física	75 % (3)	57% (4)	
Escolaridade			0.215
Ensino Médio Incompleto	25 % (1)	0	
Ensino Médio Completo	50 % (2)	29 % (2)	
Ensino Superior Completo	25 % (1)	71% (5)	

Nota: As variáveis idade, estatura, duração do diabetes, escore do MNSI, equilíbrio e MoCA são apresentadas em médias e desvios-padrão. Já as variáveis sexo, IMC, atividade física e escolaridade estão expressas em percentuais (%), com os valores absolutos indicados entre parênteses. O teste Qui-quadrado foi aplicado, e apenas no escore de equilíbrio foi encontrado valor de p significativo entre os grupos.

Análise da marcha

A Tabela 2 apresenta os resultados das variáveis relacionadas à análise da marcha nos momentos pré e pós-intervenção, com e sem dupla tarefa, nos grupos controle e intervenção. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na interação tempo × grupo para velocidade de marcha, velocidade de marcha com dupla tarefa, custo de dupla tarefa da velocidade de marcha, cadência, cadência com dupla tarefa, propulsão direita e esquerda, propulsão direita e esquerda com dupla tarefa, simetria e simetria com dupla tarefa.

A Tabela 3 apresenta os resultados referentes ao teste Timed Up and Go (TUG), incluindo duração total, custo de dupla tarefa, duração do deslocamento de ida, virada média, retorno e virada final, com e sem dupla tarefa. Foi observada diferença significativa na interação tempo × grupo para a duração do deslocamento de ida no TUG ($p = 0,011$). A análise post hoc indicou aumento significativo do tempo de deslocamento de ida no grupo intervenção entre o pré e o pós-teste ($p = 0,0046$), enquanto no grupo controle essa diferença não foi estatisticamente significativa ($p = 0,0788$).

Não foram observadas diferenças significativas nas demais variáveis do TUG, incluindo duração total, duração com dupla tarefa, custo de dupla tarefa, marcha de ida com dupla tarefa, virada média, virada média com dupla tarefa, marcha de retorno, marcha de retorno com dupla tarefa, virada final e virada final com dupla tarefa.

Tabela 2 - Média pré e pós intervenção (valor mínimo- valor máximo) da velocidade, custo de dupla tarefa, cadência, propulsão e simetria dos grupos controle (GC) e intervenção (GI), durante a análise de marcha, com e sem dupla tarefa.

Análise de Marcha	Grupo	Média¹ Pré (Máx.-Mín.)	Média Pós (Máx.-Mín.)
Velocidade de Marcha (m/s)	GI	1.52 (1.40- 1.61)	1.60 (1.49-1.79)
	GC	1.36 (1.20- 1.46)	1.40 (1.14-1.89)
Velocidade de Marcha com Dupla- Tarefa (m/s)	GI	1.45 (1.25-1.62)	1.45 (1.24- 1.62)
	GC	1.25 (1.01-1.57)	1.27(1.24-1.75)
Custo Dupla Tarefa Duração Velocidade de Marcha	GI	5.04 (-8.22-16.5)	-5.88(-27.7-9.79)
	GC	8.25 (-7.53-19.7)	-2.56(-16.2-15.9)
Cadência (passos/min.)	GI	130 (116-137)	132 (120-144)
	GC	115 (102-126)	125 (116-131)
Cadência com Dupla- Tarefa (passos/min.)	GI	128 (113- 137)	130 (120- 138)
	GC	118 (101- 137)	117 (103-136)
Propulsão Esquerda (N/kg)	GI	11.5 (8.66- 14.6)	11.3 (9.29-14.4)
	GC	8.65(6.50- 11.3)	9.98 (8.39- 11.5)
Propulsão Esquerda com Dupla Tarefa (N/kg)	GI	10.5 (6.96-13.4)	11.0 (9.29-13.3)
	GC	8.62 (6.43-12.2)	8.43 (6.44-13.5)
Propulsão Direita (N/kg)	GI	11.8 (9.20-14.4)	13.5(10.6- 15.9)
	GC	8.72 (6.75- 13.1)	11.1 (8.80-14.0)
Propulsão Direita com Dupla Tarefa (N/kg)	GI	10.4(7.1- 13.1)	12.0 (10.6- 13.5)
	GC	8.67 (5.87- 12.1)	8.9 (5.86- 15)
Simetria (%)	GI	95.7 (94.7-96.9)	92.8 (88.9- 97.2))
	GC	92.8 (83.2-97.7)	90.2(73.9-96.9)
Simetria com Dupla Tarefa (%)	GI	96.4(94.1-95.8)	95.7 (93.7-96.6)
	GC	91.2 (71.5- 95.8)	90.6 (81.6-96.6)

¹Média das três tentativas (valor mínimo- valor máximo)

Timed Up and Go e dupla tarefa

A Tabela 3 apresenta os resultados do teste Timed Up and Go (TUG). Foi observada interação significativa entre tempo e grupo para a duração do deslocamento de ida ($p = 0,011$). A análise post hoc demonstrou aumento significativo dessa variável no grupo intervenção entre o pré e o pós-teste ($p = 0,0046$), enquanto no grupo controle não foi observada diferença estatisticamente significativa ($p = 0,0788$). Para as demais variáveis avaliadas, não foram observadas diferenças significativas (Tabela 3).

Tabela 3- Média pré e pós intervenção (valor mínimo- valor máximo) da duração total do teste Time Up and Go, custo de dupla tarefa, duração da primeira parte do deslocamento (ida), duração da virada média, duração da virada final e do retorno do deslocamento (volta), com e sem dupla tarefa.

	Grupo	Média Pré (Mín.-Max)	Média Pós (Mín.-Max)
Média Duração Tug	GI	7,93(7,54-8,27)	7,66(7,18-7,98)
	GC	8,43 (6,65-10,4)	8,51 (6,98-9,98)
Duração Tug com Dupla Tarefa (s)	GI	8,71(7,80-9,91)	8,45 (7,93-9,16)
	GC	8,91 (7,65- 11,3)	8,73 (6,40- 11,4)
Custo Dupla Tarefa Duração TUG	GI	-10,00 (-21,4-5,61)	-5,88 (-27,5-9,79)
	GC	-6,88 (-20,4-12,7)	-2,56 (-16,2-15,9)
Marcha Ida (s)	GI	1,13 (0,687-1,44)	1,49 (1,21- 1,83)
	GC	1,30 (1,09-1,71)	1,45 (1,13-1,94)
Virada Média (s)	GI	2,10 (1,62-2,74)	2,01 (1,47-2,53)
	GC	1,91 (1,14-2,47)	2,15 (1,58-4,12)
Marcha Volta (s)	GI	1,62 (1,26-2,11)	1,41 (1,13-1,91)
	GC	1,36 (0,833-1,77)	1,25 (0,300-1,87)
Virada final (s)	GI	1,31(1,20-1,46)	1,30 (1,16-1,43)
	GC	1,41 (1,06-2,16)	1,15(0,500- 1,66)
Marcha Ida Dupla Tarefa (s)	GI	1,44 (0,970- 2,01)	1,56 (1,20-1,94)
	GC	1,37 (0,750- 1,99)	1,45 (0,580-2,28)
Virada Média Dupla Tarefa (s)	GI	2,10 (1,62-2,74)	2,01 (1,47- 2,53)
	GC	1,91 (1,14-2,47)	2,15 (1,58-4,12)
Marcha Volta Dupla Tarefa(s)	GI	2,19 (1,30-3,58)	1,70 (1,40-2,02)
	GC	1,56 (1,24- 1,92)	1,48 (0,300-2,23)
Virada final Dupla Tarefa (s)	GI	1,38 (1,05-1,63)	1,24 (0,993- 1,47)
	GC	1,49 (1,12-2,02)	1,30 (0,600-1,66)

Equilíbrio monopodálico

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes ao equilíbrio monopodálico. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos após a intervenção nas variáveis de oscilação anteroposterior, oscilação médio-lateral, índice de equilíbrio e ângulo de oscilação, tanto para o lado direito quanto para o lado esquerdo.

Tabela 4- Média pré e pós intervenção (valor mínimo- valor máximo) da Oscilação anteroposterior, médio-lateral, índice de equilíbrio e ângulo de oscilação dos grupos controle (GC) e intervenção (GI).

		Grupo	Média Pré (Mín.-Max)	Média Pós (Mín.-Max)
Oscilação Direita (Mm)	Antero-posterior	GI	119 (38-170)	229 (86-498)
		GC	124 (51-212)	184 (54-559)
Oscilação Médio-lateral (mm)	Direito	GI	199 (59-343)	140 (69-235)
		GC	135 (47-278)	128(58-208)
Índice De Equilíbrio Direito		GI	0.250 (0.0900-0.410)	0.200 (0.110-0.320)
		GC	0.314 (0.100-0.660)	0.266 (0.110-0.430)
Ângulo De Oscilação Direito (°)		GI	-27.8 (-75-66)	3.25 (-25-28)
		GC	-7.57(-83-63)	-7.14 (-77-40)
Oscilação esquerdo (mm)	Anteroposterior	GI	147 (102-212)	229 (110- 498)
		GC	150 (67-242)	188(87- 324)
Oscilação Esquerdo(mm)	Médio-lateral	GI	141 (91-257)	149 (102-235)
		GC	123 (71-211)	157(64-352)
Índice De Equilíbrio Esquerdo		GI	0.242 (0140-0.300)	0.178 (0.110-0.380)
		GC	0.243 (0.160-0.430)	0.256(0.140-0.380)
Ângulo De Oscilação Esquerdo (°)		GI	13.5 (-34-55)	3.25(-25-28)
		GC	1.57(-39-66)	-12.6 (-77-40)

DISCUSSÃO

A presente investigação analisou os efeitos de uma única sessão de estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) aplicada à região cerebelar sobre a velocidade da marcha, o equilíbrio e a mobilidade funcional de indivíduos com diabetes. De modo geral, os resultados não demonstraram efeitos significativos e consistentes da tDCS cerebelar sobre os desfechos avaliados. Embora tenha sido observada alteração pontual na duração do deslocamento de ida no TUG, esse achado não foi acompanhado por mudanças significativas nas demais variáveis de

mobilidade funcional, marcha ou equilíbrio, devendo ser interpretado com cautela.

A ausência de efeitos significativos nas medidas de velocidade da marcha, equilíbrio postural e mobilidade funcional pode estar relacionada, em parte, à baixa potência estatística do estudo, considerando o tamanho reduzido da amostra. Estudos com amostras pequenas apresentam menor capacidade de detectar diferenças entre grupos, especialmente quando os efeitos esperados da intervenção são discretos ou quando há alta variabilidade interindividual nas respostas à neuromodulação. Assim, a ausência de significância estatística não deve ser

interpretada necessariamente como ausência definitiva de efeito, mas como um achado que precisa ser confirmado em estudos com maior tamanho amostral.

Outro aspecto relevante é que foi realizada apenas uma sessão de tDCS cerebelar. Embora sessões únicas possam produzir alterações transitórias na excitabilidade cortical ou cerebelar, esses efeitos podem não ser suficientes para gerar mudanças funcionais mensuráveis em desfechos complexos, como marcha, equilíbrio e mobilidade em dupla tarefa^(1,8,9). A melhora desses desfechos provavelmente depende de processos de aprendizagem motora e neuroplasticidade mais sustentados, os quais tendem a ser favorecidos por protocolos com sessões repetidas e associação sistemática entre estimulação e treinamento funcional.

Os achados deste estudo convergem parcialmente com os resultados de Tuna et al. (2023) e Pisano et al. (2024), que também não observaram efeitos significativos da tDCS cerebelar em medidas de equilíbrio e mobilidade após uma única sessão de estimulação^(7,8). Essa convergência sugere que a aplicação isolada e aguda da tDCS cerebelar pode ter efeito limitado sobre medidas funcionais imediatas, especialmente quando os participantes apresentam desempenho basal relativamente preservado ou quando os desfechos avaliados exigem integração de múltiplos sistemas sensoriais, motores e cognitivos.

Em relação ao equilíbrio, os resultados também se aproximam dos achados de Erdoğan et al. (2023) e Pisano et al. (2024), nos quais a tDCS cerebelar não promoveu melhora

significativa da estabilidade postural, seja no equilíbrio estático, avaliado pelo Flamingo Test e pelo Y-Balance Test no estudo de Erdoğan et al. (2023), seja no equilíbrio dinâmico, avaliado pelo Mini-BEST e pelo TUG no estudo de Pisano et al. (2024).

No presente estudo, a ausência de diferença entre os grupos no equilíbrio monopodálico pode ser explicada pela natureza multifatorial do déficit de equilíbrio em indivíduos com diabetes. Nessa população, alterações do equilíbrio podem estar fortemente associadas à neuropatia periférica, redução da sensibilidade plantar, prejuízos proprioceptivos, alterações musculares e mecanismos compensatórios de controle postural⁽³⁻⁵⁾. Dessa forma, a estimulação cerebelar isolada pode não ser suficiente para modificar, em uma única sessão, limitações decorrentes de alterações periféricas e sensorio-motoras crônicas.

Por outro lado, os achados diferem dos resultados de Qurat-ul-Ain et al. (2023), que observaram melhora significativa na Berg Balance Scale (BBS) e no BESTest em pacientes pós-AVC submetidos à tDCS cerebelar, indicando possível efeito da estimulação na reabilitação do equilíbrio nessa população⁽¹⁰⁾. Essa divergência pode estar relacionada às diferenças clínicas entre as populações estudadas. Em pacientes pós-AVC, os déficits motores e de equilíbrio estão frequentemente associados a lesões centrais e alterações nos circuitos córtico-cerebelares, o que pode tornar a modulação cerebelar mais responsiva. Em indivíduos com diabetes, por outro lado, os prejuízos funcionais podem envolver maior participação de mecanismos periféricos, metabólicos e sensoriais, reduzindo a

capacidade de uma intervenção exclusivamente cerebelar produzir efeitos imediatos detectáveis.

Também deve ser considerada a possibilidade de efeito teto em algumas variáveis. Caso os participantes apresentem desempenho inicial relativamente preservado em testes como velocidade da marcha, TUG ou medidas de equilíbrio, a margem para melhora após uma única sessão de intervenção torna-se reduzida. Esse aspecto pode limitar a detecção de mudanças estatisticamente e clinicamente relevantes, principalmente em amostras pequenas.

A influência do treinamento associado à tDCS também merece consideração. Como os participantes realizaram treinamento de caminhada com tarefas cognitivas e cognitivo-motoras, é possível que os efeitos comportamentais observados tenham sido influenciados pelo próprio treinamento, independentemente da estimulação. Além disso, quando tanto o grupo intervenção quanto o grupo sham realizam uma tarefa funcional semelhante, o efeito adicional específico da tDCS pode se tornar mais difícil de identificar. Por outro lado, a realização de tarefas de dupla demanda também pode aumentar a variabilidade do desempenho, especialmente em indivíduos com alterações sensório-motoras, o que pode ter contribuído para a ausência de diferenças consistentes entre os grupos.

Do ponto de vista fisiológico, a ausência de efeito significativo pode ser explicada pelo fato de que a tDCS cerebelar atua principalmente modulando a excitabilidade e a aprendizagem motora dependente de circuitos

cerebelares. Entretanto, a tradução dessa modulação para ganhos funcionais imediatos depende da integridade de vias sensoriais, proprioceptivas e motoras, além da repetição da prática funcional^(1,10). Em indivíduos com diabetes, alterações periféricas, como neuropatia e redução da informação sensorial dos membros inferiores, podem limitar a resposta funcional à modulação cerebelar, especialmente em uma única sessão.

Um ponto importante a ser discutido é que estudos anteriores indicam que a tDCS aplicada em outras regiões cerebrais, como o córtex motor primário (M1) e o córtex pré-frontal dorsolateral (DLPFC), pode apresentar impacto mais direto sobre componentes motores e cognitivos da marcha⁽¹²⁾. No estudo de Qurat-ul-Ain et al. (2023), tanto a tDCS cerebelar quanto a tDCS aplicada ao M1 foram associadas a melhorias na marcha e no equilíbrio⁽¹⁰⁾. Esses achados levantam a hipótese de que, em indivíduos com diabetes, montagens direcionadas a regiões corticais envolvidas no controle motor, na atenção e na função executiva possam ser mais adequadas para modular o desempenho durante tarefas de marcha e dupla tarefa. Ainda assim, essa hipótese precisa ser testada em estudos futuros que comparem diretamente diferentes alvos de estimulação, com maior número de sessões e maior tamanho amostral.

LIMITAÇÕES DO ESTUDO E DIREÇÕES FUTURAS

Mesmo com uma sessão única e após a apresentação dos objetivos e procedimentos da pesquisa, houve baixa adesão dos participantes ao recrutamento. Embora a amostra inicialmente planejada fosse de 52

participantes, não foi possível atingir esse número, e a amostra final foi composta por 11 participantes. Esse reduzido tamanho amostral limitou a potência estatística das análises e aumentou a possibilidade de erro do tipo II, ou seja, de não identificação de diferenças estatisticamente significativas mesmo na presença de possíveis efeitos da intervenção. Dessa forma, os achados devem ser interpretados como preliminares.

Estudos anteriores sugerem que múltiplas sessões de tDCS podem ser necessárias para gerar benefícios funcionais mensuráveis, especialmente em populações com déficits motores crônicos. Nesse sentido, a utilização de apenas uma sessão de estimulação constitui uma limitação do presente estudo. Além disso, a ausência de seguimento longitudinal impossibilita verificar se possíveis efeitos tardios ou cumulativos da intervenção poderiam ocorrer ao longo do tempo.

Futuros estudos podem incluir um número maior de participantes, além de uma quantidade maior de sessões, para verificar se a tDCS pode influenciar o desempenho funcional ao longo do tempo. Também são recomendadas estratégias para melhorar a adesão dos participantes ao recrutamento e a inclusão de avaliações de seguimento. Devido ao reduzido número de participantes e à ausência de acompanhamento longitudinal, os resultados apresentam baixa generalização para a população com diabetes.

CONCLUSÃO

Uma única sessão de tDCS cerebelar não promoveu melhora significativa na velocidade da marcha durante dupla tarefa, na mobilidade funcional ou no equilíbrio de adultos com diabetes mellitus tipo 2. Esses resultados sugerem que uma única sessão de estimulação pode ser insuficiente para produzir efeitos clínicos mensuráveis nessa população.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA:

I.M.A.M.: Contribuiu com a concepção deste artigo OU seu projeto OU obtenção de dados OU análise e interpretação; **A.A.G.:** Contribuiu significativamente com a elaboração do esboço ou a revisão crítica deste artigo; participou da revisão da versão final do artigo além de contribuir com a concepção do projeto; **A.S.G.B.M.:** Contribuiu significativamente com a elaboração do esboço ou a revisão crítica deste artigo; **E.B., A.D., J.E e E.M.** contribuíram com a obtenção, análise de dados e execução do projeto.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não ter conflitos de interesses de nenhuma espécie.

USO DE IA GENERATIVA

Os autores declaram ter utilizado recursos de IA generativa no artigo para a seguinte finalidade: revisão de texto segundo a norma culta, organização estrutural de ensaio clínico e revisão metodológica.

REFERÊNCIAS

1. van Dun K, Bodranghien FCAA, Mariën P, Manto MU. TDCS of the cerebellum: Where do we stand in 2016? Technical issues and critical review of the literature. *Frontiers in Human Neuroscience*. Frontiers Media S. A; 2016. doi:10.3389/fnhum.2016.00199
2. Cole JB, Florez JC. Genetics of diabetes and diabetes complications. *Nat Rev Nephrol*. 2020 Jul 1;16(7):377. doi:10.1038/S41581-020-0278-5 PubMed PMID: 32398868.
3. Andreassen CS, Jakobsen J, Andersen H. Muscle weakness: a progressive late complication in diabetic distal symmetric polyneuropathy. *Diabetes*. 2006;55(3):806–12. doi:10.2337/DIABETES.55.03.06.DB05-1237 PubMed PMID: 16505247.
4. Khan KS, Pop-Busui R, Devantier L, Kristensen AG, Tankisi H, Dalgas U, et al. Falls in individuals with type 2 diabetes; a cross-sectional study on the impact of motor dysfunction, postural instability and diabetic polyneuropathy. *Diabet Med*. 2021 Sep 1;38(9). doi:10.1111/DME.14470 PubMed PMID: 33259675.
5. Qin J, Zhao K, Chen Y, Guo S, You Y, Xie J, et al. The Effects of Exercise Interventions on Balance Capacity in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Inquiry*. 2021;58:00469580211018284. doi:10.1177/00469580211018284 PubMed PMID: 34032161.
6. Angulo-Sherman IN, Rodríguez-Ugarte M, Sciacca N, Iáñez E, Azorín JM. Effect of tDCS stimulation of motor cortex and cerebellum on EEG classification of motor imagery and sensorimotor band power. *J Neuroeng Rehabil*. 2017 Apr 19;14(1). doi:10.1186/s12984-017-0242-1 PubMed PMID: 28420382.
7. Tuna Erdoğan E, Kir C, Beycan E, Karakaya E, Altınçınar S, Bayramoğlu T, et al. Acute Effect of Single-Session Cerebellar Anodal Transcranial Direct Current Stimulation on Static and Dynamic Balance in Healthy Volunteers. *Brain Sciences* 2023, Vol 13, Page 1107. 2023 Jul 21;13(7):1107. doi:10.3390/BRAINS13071107
8. Pisano F, Mellace D, Fugatti A, Aiello EN, Diotti S, Curti B, et al. Cerebellar tDCS combined with augmented reality treadmill for freezing of gait in Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2024 Dec 1;21(1):173. doi:10.1186/S12984-024-01457-Z PubMed PMID: 39342307.
9. Poortvliet P, Hsieh B, Cresswell A, Au J, Meinzer M. Cerebellar transcranial direct current stimulation improves adaptive postural control. *Clinical Neurophysiology*. 2018 Jan 1;129(1):33–41. doi:10.1016/j.clinph.2017.09.118 PubMed PMID: 29136550.
10. Qurat-ul-ain, Ahmad Z, Ishtiaq S, Ilyas S, Shahid I, Tariq I, et al. Short term effects of anodal cerebellar vs. anodal cerebral transcranial direct current stimulation in stroke patients, a randomized control trial. *Front Neurosci*. 2022 Nov 24;16:1035558. doi:10.3389/FNINS.2022.1035558/BIBTEX
11. Miyamoto ST, Lombardi Junior I, Berg KO, Ramos LR, Natour J. Brazilian version of the Berg balance scale. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2004 Sep;37(9):1411–21. doi:10.1590/S0100-879X2004000900017.
12. Alipour A, Mohammadi R. Evaluation of the separate and combined effects of anodal tDCS over the M1 and F3 regions on pain relief in patients with type-2 diabetes suffering from neuropathic pain. *Neurosci Lett*. 2024 Jan 1;818. doi:10.1016/j.neulet.2023.137554 PubMed PMID: 37951301.