

## Estimulação transcraniana por corrente contínua para melhorar o desempenho matemático em crianças discalculia de desenvolvimento em idade escolar: um único grupo pré-teste-pós-teste, estudo quase experimental

### Transcranial direct current stimulation to enhance mathematical performance in school going developmental dyscalculic children: A single group pretest-posttest, quasi experimental study

Adarsh Kumar Srivastav<sup>1</sup> Subhasish Chatterjee<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Autor para correspondência. Department of Physiotherapy, Maharishi Markandeshwar Medical College & Hospital, Kumarhatti-Solan, Himachal Pradesh. Maharishi Markandeshwar Institute of Physiotherapy & Rehabilitation, Maharishi Markandeshwar (Deemed to be) University, Mullana-Ambala, Haryana. adarshsrivastava13@gmail.com

<sup>2</sup>Nopany Institute of Healthcare Studies, Kolkata, West-Bengal, India. subhasishphysio@gmail.com

**RESUMO | INTRODUÇÃO:** A discalculia do desenvolvimento (DD) lida com o desempenho matemático prejudicado e afeta as atividades educacionais e do dia a dia das crianças. Há evidências de que a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) aplicada ao córtex parietal posterior facilita a estrutura neuronal hipoativa e melhora o desempenho matemático em indivíduos com DD. **OBJETIVO:** O objetivo deste estudo é investigar se tDCS adjuvante com treinamento convencional de numeramento (CNT) aumentaria as habilidades matemáticas de crianças em idade escolar afetadas com DD. **MATERIAIS E MÉTODOS:** Treze crianças em idade escolar afetadas com DD receberam tDCS e CNT três sessões por semana por até 2 semanas. Foi dada estimulação anódica esquerda e catódica direita na região P3 / P4, com intensidade de 2mA, combinada com CNT por 30 minutos em um dia. O inventário de diagnóstico de deficiência de aprendizagem (LDDI) foi usado como uma medida de resultado e coletado no início e no final da intervenção de 2 semanas. **RESULTADOS:** Houve melhora significativa no desempenho matemático de crianças em idade escolar. Os resultados mostram uma melhora estatística e clinicamente significativa após 2 semanas de intervenção. **CONCLUSÕES:** tDCS combinado com CNT é eficaz para melhorar as habilidades matemáticas de crianças em idade escolar afetadas com DD. Os resultados deste estudo fornecem uma nova perspectiva para a reabilitação de crianças com DD em idade escolar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Crianças. Discalculia. Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. Reabilitação.

**ABSTRACT | INTRODUCTION:** Developmental dyscalculia (DD) deals with impaired mathematical performance and affects children's educational and day-to-day activities. There is evidence that transcranial direct current stimulation (tDCS) applied to the posterior parietal cortex facilitates the hypoactive neuronal structure and improves mathematical performance in individuals with DD. **OBJECTIVE:** The objective of this study is to investigate whether tDCS adjuvant with conventional numeracy training (CNT) would enhance the mathematical abilities of school-going children affected with DD. **MATERIALS AND METHODS:** Thirteen school-going children affected with DD received tDCS and CNT three sessions per week for up to 2 consecutive weeks. Left anodal and right cathodal stimulation at P3/P4 region with 2mA intensity combined with CNT for 30 minutes in a day was given. Learning disability diagnostic inventory (LDDI) was used as an outcome measure and collected at baseline and the end of the 2-week intervention. **RESULTS:** There was a significant improvement in the mathematical performance of school-going children. The results show statistically as well as a clinically significant improvement after the two weeks of intervention. **CONCLUSIONS:** tDCS combined with CNT effectively improves the mathematical abilities of school-going children affected with DD. The findings of this study provide a new perspective for the rehabilitation of school-going DD children.

**KEYWORDS:** Children. Dyscalculia. Transcranial Direct Current Stimulation. Rehabilitation.

## Introdução

A discalculia do desenvolvimento (DD) é uma dificuldade persistente no aprendizado da operação matemática, reconhecimento e manipulação que ocorre em 07% das crianças em todo o mundo e em 10,5% das crianças no cenário indiano.<sup>1,2</sup> A DD é definida como um distúrbio das habilidades matemáticas que ocorre devido ao desenvolvimento deficiente da rede frontoparietal e leva à descrição de quantidades, habilidades de contagem, habilidade de cálculo mental e representação de números simbólicos prejudicados.<sup>3</sup> De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), bem como com o manual de estatística diagnóstica 5ª revisão da APA, a DD é um transtorno de aprendizagem de domínio específico que surge em um estágio inicial de desenvolvimento e pode ser descrito como escolaridade inadequada ou oportunidades de aprendizagem deficientes.<sup>4</sup> Os sistemas neurais distribuídos no hemisfério bilateral estão envolvidos em uma função matemática. A representação e o processamento do número ocorrem no lobo parietal, enquanto o sulco intraparietal (IPS) é confirmado como o processamento de problemas numéricos.<sup>5</sup> No entanto, outras regiões do cérebro também estão associadas principalmente ao córtex pré-frontal associado à cognição numérica, planejamento e manipulação de informações necessárias em tarefas de cálculo. Portanto, o processamento de números, as tarefas numéricas e os cálculos são processados por uma combinação do lobo parietal, córtex pré-frontal, cerebelo, via visual dorsal e ventral e áreas subcorticais. Estudo mostra que na DD há atividade parietal anormal e hipoativação em outras regiões do cérebro, como lobo frontal, áreas occipitais e estruturas cerebrais profundas.<sup>6</sup>

Até o momento, apenas métodos neuropsicológicos que incluem abordagens interdisciplinares como

neurociência, psicologia e educação têm sido adotados para a remediação da DD, apoiando que essas intervenções melhoram a atividade de diferentes regiões cerebrais.<sup>7</sup> No entanto, a ativação direta das estruturas cerebrais pode levar a efeitos positivos. O uso da estimulação cerebral não invasiva oferece a facilitação de diferentes regiões cerebrais, por induzir a excitabilidade, podendo resultar em ativação e melhora de funções.<sup>8</sup> Aplicações de estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) para fins de reabilitação em DD são relatadas e documentadas com melhora da proficiência numérica após estimulação anódica no córtex parietal posterior esquerdo em adultos com discalculia.<sup>9,10</sup> Até o momento, nenhum estudo foi realizado ainda para estabelecer a eficácia da tDCS na melhoria das habilidades matemáticas de crianças em idade escolar afetadas com DD.

A hipótese nula é que não há impacto significativo no desempenho matemático de crianças com DD após a aplicação do tDCS. A hipótese alternativa é que há um impacto significativo no desempenho matemático de crianças com DD após a aplicação do tDCS. O presente estudo de grupo único tem como objetivo avaliar a eficácia e os efeitos duradouros da ETCC anódica esquerda (P3) catódica direita (P4) na região parieto-temporal no desempenho matemático da DD.

Especificamente, em indivíduos com DD, uma redução da atividade no IPS e aumento da atividade do córtex parietal superior e inferior do hemisfério direito foi encontrada durante o estudo de ressonância magnética funcional (fMRI).<sup>11</sup> Da mesma forma, em indivíduos normais, o estudo mostrou que o aumento da atividade do IPS e a diminuição da atividade no córtex parietal superior e inferior estão associados a um melhor desempenho matemático. No presente estudo, o tDCS foi combinado com o treinamento em numeramento convencional para melhorar as habilidades matemáticas.

## Materiais e métodos

Este estudo quase experimental de pré-teste e pós-teste de grupo único incluiu 13 crianças em idade escolar com DD recrutadas em escolas especiais para crianças reconhecidas. O diagnóstico de DD foi baseado nos critérios do DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013) e foi feito com um inventário de diagnóstico de deficiência de aprendizagem (LDDI). Os participantes foram diagnosticados com DD de acordo com os médicos e neuropsicólogos incluídos no estudo. Todos os participantes eram capazes de compreender os comandos verbais, tinham visão normal e eram destros. Os critérios de inclusão foram crianças destros, faixa etária de 8 a 17 anos, meninas e meninos (ambos os sexos) e crianças em idade escolar com diagnóstico de discalculia do desenvolvimento de acordo com o LDDI. Os critérios de exclusão foram convulsões, abuso de álcool ou drogas, infecção do sistema nervoso central, qualquer trauma ou cirurgia recente, qualquer implante metálico próximo ao local de colocação do eletrodo e malformações cerebrovasculares. O consentimento informado por escrito foi obtido de todos os professores / pais dos participantes, e os consentimentos informados das crianças após a explicação do procedimento. A autorização ética foi obtida do comitê de ética em pesquisa institucional da universidade reconhecida (IEC / MMU / 2018/118). Este ensaio piloto de viabilidade foi parte de um grande estudo e registrado no registro de ensaios clínicos da Índia em CTRI / 2018/07/014834 em 12 de julho de 2018 (atualizado em 26 de abril de 2019). Este estudo foi realizado seguindo a declaração da associação médica mundial de Helsinque revisada, 2013, e as diretrizes éticas adotadas pelo conselho de organizações internacionais de ciências médicas (CIOMS), as diretrizes éticas internacionais para pesquisas relacionadas à saúde envolvendo seres humanos (revisado, 2016). Este estudo também seguiu as diretrizes éticas nacionais para pesquisa biomédica e de saúde envolvendo participantes humanos pelo Conselho Indiano de Pesquisa Médica, 2017. O estudo foi realizado na sala de aula da escola Vatsalya para crianças especiais, Ambala Cantt, Haryana, Índia.

No presente estudo de grupo único, todos os participantes receberam tDCS anódico esquerdo (P3) e catódico direito (P4) região parieto-temporal combinada com treinamento em numeramento convencional. 15 crianças com idades entre 8 e 17 anos foram avaliadas para elegibilidade para o estudo. Cada participante foi exposto a uma sessão de 30 minutos de tratamento, recebeu 3 sessões por semana durante 2 semanas consecutivas com um intervalo mínimo de 24 horas entre as sessões. As medidas de resultado foram avaliadas no início e no final de 2 semanas de tratamento. O LDDI foi usado para avaliar o desempenho matemático das crianças e diagnosticar a DD. O mesmo avaliador aplicou o LDDI antes e após as 2 semanas de intervenção.

## Procedimentos

### Estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS)

A corrente contínua foi gerada por tDCS (MIND-ACQUITY, Transcranial DC power, MA-tDCS fabricado pela Walnut Medical) e a corrente elétrica foi fornecida à cabeça por meio de um par de eletrodo embebido em esponja. Eletrodo anódico (25cm<sup>2</sup>) foi posicionado sobre a região parietal-temporal esquerda de acordo com o sistema 10-20 EEG correspondente em P3 enquanto um eletrodo catódico (25cm<sup>2</sup>) foi posicionado no lado direito do lobo parietal correspondente a P4 (Figura 1). A intensidade da corrente foi aumentada lentamente de 0,1 mA para 2 mA e no final da estimulação, a corrente foi diminuída lentamente para 0 mA. A intensidade da corrente de 2 mA foi fornecida por 30 minutos.

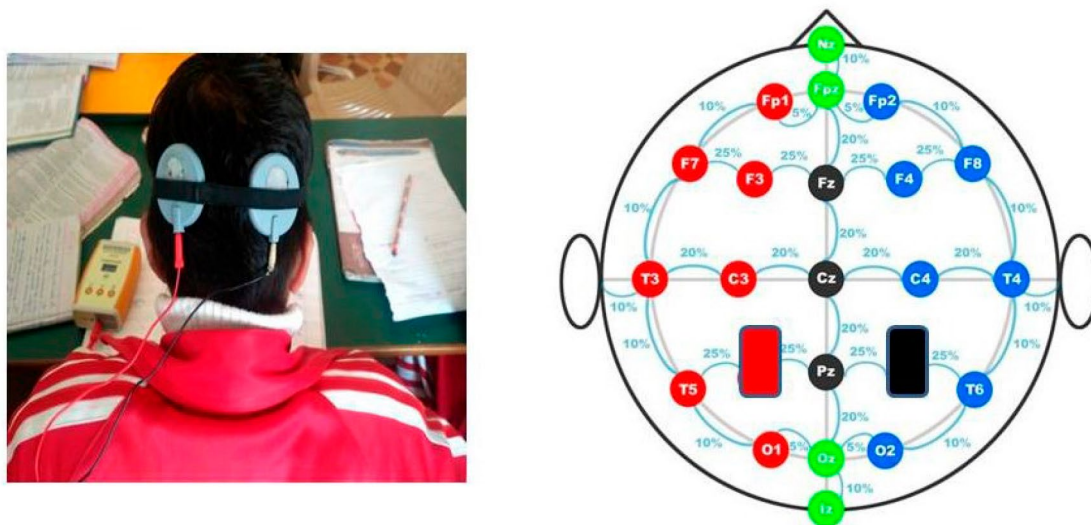
### Treinamento de numeramento convencional

Durante o tDCS, os participantes foram submetidos ao treinamento convencional de numeramento (CNT) por 30 minutos em todas as sessões. O CNT consistia em seis domínios: contagem progressiva, contagem regressiva, identificação de números, numeramento de decomposição, contagem de objetos e cálculos simples. Os detalhes do protocolo de tratamento estão listados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Detalhes do protocolo de tratamento

Treinamento convencional de matemática	Intensidade de treinamento
1. Contagem de números progressivos (inclui contagem de 01 a 50)	1. 5 repetições 1 série / dia X 3 dias / semana, por 2 semanas
2. Contagem regressiva (inclui a contagem a partir de 100)	2. 5 repetições 1 série / dia X 3 dias / semana, por 2 semanas
3. Identificação de números (identificação de números simples e complexos)	3. 5 repetições 1 série / dia X 3 dias / semana, por 2 semanas
4. Dívida o numeramento em dezenas de elementos	4. 5 repetições 1 série / dia X 3 dias / semana, por 2 semanas
5. Contando Objetos	5. 5 repetições 1 série / dia X 3 dias / semana, por 2 semanas
6. Cálculos simples de dois a três dígitos (inclui adição, subtração, multiplicação e divisão)	6. 5 repetições 1 série / dia X 3 dias / semana, por 2 semanas
<b>Estimulação cerebral não invasiva</b>	
1. Estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS)	1. Anódico esquerdo / catódico direito em P3 / P4, 02 mA, 30 minutos / dia X 3 dias / semana, por 2 semanas

**Figura 1.** Representação do local de colocação do eletrodo



## Análise de dados

Os dados foram analisados usando o software de estatística IBM SPSS versão 20.0. A normalidade dos dados foi analisada com o teste de Shapiro-Wilk, pois o tamanho da amostra foi inferior a 50. Os dados seguiram distribuição normal e as variáveis foram apresentadas em média e intervalos de confiança de 95%. O teste t pareado foi usado para analisar a significância estatística. Um valor de  $P \leq 0,05$  foi considerado estatisticamente significativo. O tamanho do efeito foi calculado para analisar a significância clínica e a interpretação é referir-se aos tamanhos do efeito como pequeno ( $d = 0,2$ ), médio ( $d = 0,5$ ) e grande ( $d = 0,8$ ) com base em referências sugeridas por Cohen. Análises pós-thoc foram realizadas para determinar o erro tipo 2. Devido à falta de cálculo a priori do tamanho da amostra, o poder do estudo foi calculado por meio do software G \* Power 3.1.9.4.

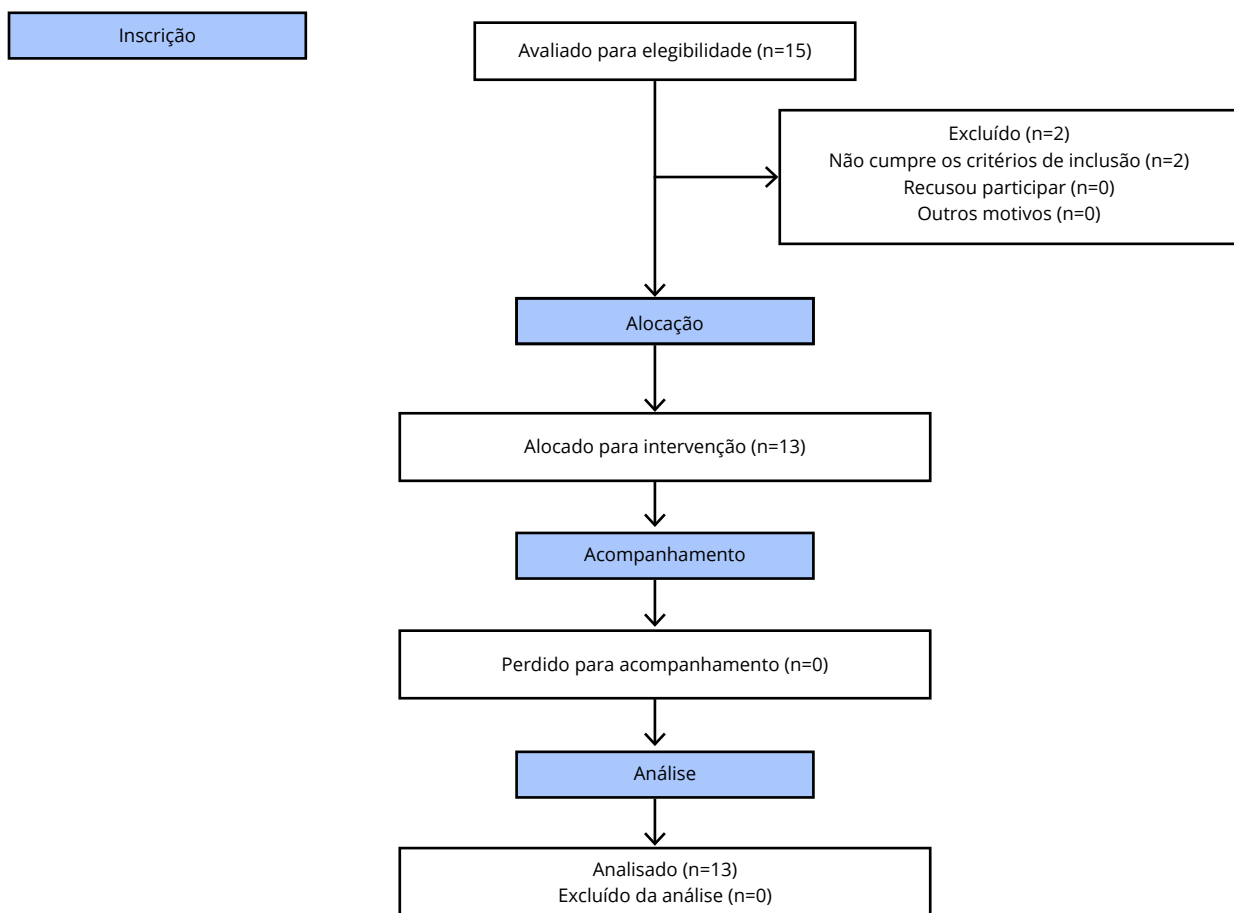
## Resultados

As características demográficas e de linha de base de todos os participantes são apresentadas na Tabela 2.

15 participantes foram incluídos neste estudo entre eles, 13 crianças foram consideradas elegíveis para inscrição (2 crianças foram excluídas por não atenderem aos critérios de inclusão). Linha de base e no final das mudanças de intervenção de 2 semanas nas medidas de resultados (expressos em média e intervalo de confiança de 95%), tamanho do efeito (tamanho do efeito  $d$  de Cohen) e poder do estudo são exibidos na Tabela 3. O poder do estudo prova que o estudo é suficientemente poderoso (100%) para medir o resultado (LDDI). Uma melhora significativa ( $p \leq 0,05$ ) é observada nos resultados do LDDI e confirma que as intervenções podem ser eficazes para melhorar o desempenho matemático de crianças com DD.

A descrição detalhada do estudo mostrada na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma do estudo



**Tabela 2.** Características demográficas e de linha de base de todos os participantes

Participante	Idade em anos	Gênero	LDDI (linha de base)
1	15	M	33
2	13	M	24
3	12	M	21
4	15	M	27
5	16	F	32
6	12	M	20
7	15	F	25
8	14	M	24
9	14	M	38
10	14	F	33
11	13	M	39
12	16	F	40
13	11	F	34

M = Masculino, F = Feminino, LDDI = Inventário de diagnóstico de deficiência de aprendizagem

**Tabela 3.** Comparação das medidas de resultado entre a linha de base e no final da intervenção de 2 semanas, tamanho do efeito e análise de poder

Medida de resultado	Pontuação de linha de base (média, IC de 95%)	No final de 2 semanas (média, IC 95%)	valor p	Tamanho do efeito	Análise de poder
LDDI	30 (25.8-34.1)	70.4 (66.6-74.2)	0.00	5.7	1.00

CI = intervalo de confiança, LDDI = inventário de diagnóstico de deficiência de aprendizagem

## Discussão

A estimulação cerebral não invasiva, como a tDCS, é um método emergente para o tratamento de pacientes que sofrem de distúrbios neurológicos e neuropsicológicos.<sup>12,13</sup> Na área da dificuldade de aprendizagem, vários estudos investigaram o efeito benéfico da tDCS na leitura e em vários componentes de problemas matemáticos, como resolução de problemas e aprendizagem.<sup>14,15</sup> Muitos estudos de imagem também demonstram atividade neural e processamento durante a estimulação tDCS.<sup>16</sup> O presente estudo é o melhor de nosso conhecimento é o primeiro estudo a usar tDCS simultaneamente, treinamento numérico convencional (CNT) em crianças com DD em idade escolar. Nossos resultados apoiam a hipótese de que tDCS combinado com CNT melhora o desempenho matemático de crianças com DD em idade escolar. Os resultados deste estudo estão seguindo um estudo publicado anteriormente, relatando tDCS ativo aplicado no córtex parietal esquerdo melhora o aprendizado aritmético e o desempenho e comprovado pelo uso de estudo de ressonância magnética funcional simultânea (fMRI).<sup>17</sup> DCS aplicado ao P3 esquerdo facilita a atividade de IPS e parietal córtex. A relação entre o lobo parietal esquerdo e o desempenho matemático também é sustentada por dados neurocognitivos derivados da discalculia.<sup>18</sup>

No presente estudo, combinamos tDCS com CNT para descobrir a aplicação simultânea de abordagens de reabilitação cognitiva do cérebro na DD. O presente estudo forneceu evidências suficientes de que a combinação de tDCS ativa com CNT melhora significativamente o desempenho matemático de crianças com DD. O CNT foi usado para melhorar o desempenho matemático. No estudo anterior, a intervenção com numeramento foi fornecida às crianças com DD para melhorar o conhecimento numérico básico e o conhecimento conceitual e relatou efeitos de intervenção positivos.<sup>18</sup> Neste estudo, usamos um protocolo de CNT especialmente projetado para melhorar o desempenho matemático de crianças com DD. Os resultados do estudo anterior documentaram apenas

evidências preliminares sobre um pequeno número de participantes (n = 6). Portanto, recrutamos mais participantes (n = 13) para este estudo para fornecer CNT. O presente estudo quase experimental fornece a primeira evidência de melhoria do desempenho matemático em crianças com DD em idade escolar, combinando tDCS e CNT. A principal limitação do estudo foi o pequeno tamanho da amostra e a falta de agentes comparativos. Nossos resultados podem se tornar um parâmetro de configuração que pode ser usado em estratégias estruturadas de reabilitação. Os resultados atuais precisam ser mais explorados em estudos clínicos maiores para estabelecer os benefícios potenciais da ETCC para o tratamento da DD.

## Conclusão

tDCS adjuvante com CNT pode ajudar a melhorar o desempenho matemático em crianças DD em idade escolar. Melhorias clínicas e estatisticamente significativas foram observadas após 2 semanas de intervenção. Portanto, este protocolo pode ser incorporado a outras terapias para melhorar o desempenho matemático.

## Contribuições do autor

Srivastav AK e Chatterjee SC participaram da concepção do estudo, aquisição, análise e / ou interpretação dos dados, redação do manuscrito, revisão crítica do conteúdo intelectual e aprovação final do artigo.

## Conflito de interesse

Nenhum interesse financeiro, jurídico ou político conflitante com terceiros (governo, comercial, fundação privada, etc.) foi divulgado para qualquer aspecto do trabalho submetido (incluindo, mas não se limitando a, doações, conselho de monitoramento de dados, desenho do estudo, preparação do manuscrito, análise estatística, etc.).

## Referências

1. Mogasale VV, Patil VD, Patil NM, Mogasale V. Prevalence of specific learning disabilities among primary school children in a south Indian city. *Indian J Pediatr.* 2012;79(3):342-7. <https://doi.org/10.1007/s12098-011-0553-3>

2. Shalev RS, von Aster MG. Identification, classification, and prevalence of development dyscalculia. *Encyclopedia of Language and Literacy Development* [Internet]. Disponível em: [https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/12874/1/Shalev\\_Identification\\_V.pdf](https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/12874/1/Shalev_Identification_V.pdf). [Epub ahead of print]

3. Kucian K, von Aster M. Developmental dyscalculia. *Eur J Pediatr.* 2015;174(1):1-13. <https://doi.org/10.1007/s00431-014-2455-7>

4. American Psychiatric Association. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5TM*. 5a. ed. Arlington, VA, US: American Psychiatric Publishing; 2013.

5. Butterworth B, Walsh V. Neural basis of mathematical cognition. *Curr Biol.* 2011;21(16):R618-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2011.07.005>

6. Kaufmann L, Vogel SE, Starke M, Kremser C, Schocke M, Wood G. Developmental dyscalculia: Compensatory mechanisms in left intraparietal regions in response to nonsymbolic magnitudes. *Behav Brain Funct.* 2009;5:35. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-5-35>

7. Butterworth B, Laurillard D. Low numeracy and dyscalculia: Identification and intervention. *ZDM - Int J Math Educ.* 2010;42(6):527-39. <https://doi.org/10.1007/s11858-010-0267-4>

8. Bolognini N, Pascual-Leone A, Fregni F. Using non-invasive brain stimulation to augment motor training-induced plasticity. *J Neuroeng Rehabil.* 2009;6:8. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-6-8>

9. Iuculano T, Kadosh RC. Preliminary evidence for performance enhancement following parietal lobe stimulation in Developmental Dyscalculia. *Front Hum Neurosci.* 2014;8:38. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00038>

10. Hauser TU, Rotzer S, Grabner RH, Mérillat S, Jäncke L. Enhancing performance in numerical magnitude processing and mental arithmetic using transcranial Direct Current Stimulation ( tDCS ). *Front Hum Neurosci.* 2013;7:244. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00244>

11. Rivera SM, Reiss AL, Eckert MA, Menon V. Developmental changes in mental arithmetic: Evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. *Cereb Cortex.* 2005;15(11):1779-90. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi055>

12. Schulz R, Gerloff C, Hummel FC. Non-invasive brain stimulation in neurological diseases. *Neuropharmacology.* 2013;64:579-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropharm.2012.05.016>

13. Kuo MF, Paulus W, Nitsche MA. Therapeutic effects of non-invasive brain stimulation with direct currents (tDCS) in neuropsychiatric diseases. *Neuroimage.* 2014;85:948-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.117>

14. Kadosh RC, Dowker A, Heine A, Kaufmann L, Kucian K. Interventions for improving numerical abilities: Present and future. *Trends Neurosci Edu*. 2013;2(2):85–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tine.2013.04.001>
15. Costanzo F, Varuzza C, Rossi S, Sdoia S, Varvara P, Oliveri M, et al. Evidence for reading improvement following tDCS treatment in children and adolescents with Dyslexia. *Restor Neurol Neurosci*. 2016;34(2):215–26. <https://doi.org/10.3233/rnn-150561>
16. Rudroff T, Workman CD, Fietsam AC, Ponto LLB. Imaging Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) with Positron Emission Tomography (PET). *Brain Sci*. 2020;10(4):236. <https://doi.org/10.3390/brainsci10040236>
17. Hauser TU, Rüttsche B, Wurmitzer K, Brem S, Ruff CC, Grabner RH. Neurocognitive Effects of Transcranial Direct Current Stimulation in Arithmetic Learning and Performance: A Simultaneous tDCS-fMRI Study. *Brain Stimul*. 2016;9(6):850–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.brs.2016.07.007>
18. Price GR, Holloway I, Räsänen P, Vesterinen M, Ansari D. Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Curr Biol*. 2007;17(24):R1042-3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.10.013>