

Atenção, Neurofeedback e Discalculia: uma revisão integrativa de protocolos clínicos para a aprendizagem matemática

Attention, Neurofeedback, and Dyscalculia: an integrative review of clinical protocols for mathematical learning

Telma **PANTANO**

IPq HCFM USP

Cristiana **ROCCA**

IPq HCFM USP

Laerte **FONSECA**

Programa de Pós-Graduação em Neurociência e Comportamento – IP/USP
Instituto Federal de Sergipe – IFS

Correspondência do autor:

telma.pantano@hc.fm.usp.br

RESUMO

Este artigo investiga através de uma revisão integrativa os principais estudos clínicos que envolveram neurofeedback através da eletroencefalografia, matemática e a discalculia, para conhecer os métodos de investigação, as possibilidades de intervenção e os protocolos de treinamento utilizados. Foram realizadas buscas nos campos de dados Pubmed, Scielo e Psycinfo de todos os artigos publicados entre os anos de 2010 e julho de 2025, publicados em inglês, espanhol ou português. Dos 186 artigos encontrados somente 06 preenchiam os critérios de inclusão para o estudo. Concluiu-se que os estudos ainda são muito escassos com relação ao número de sujeitos envolvidos e os resultados associados, embora apresente sinais promissores de que o neurofeedback pode ser um instrumento de treinamento e estimulação atencional para evolução da aprendizagem matemática.

Palavras-chave: Atenção, Aprendizagem Matemática, Neurofeedback.

ABSTRACT

This study conducted an integrative review of clinical research on the application of neurofeedback via electroencephalography in mathematics and dyscalculia. The objective was to identify research methodologies, intervention strategies, and training protocols employed. A systematic search was carried out in the PubMed, Scielo, and Psycinfo databases for articles published between 2010 and July 2025, in English, Spanish, or Portuguese. Of the 186 articles retrieved, only six met the inclusion criteria. Results indicate that research in this field remains limited in both sample size and outcome measures. However, preliminary evidence suggests that neurofeedback holds promising potential as a training tool and attentional stimulation strategy to enhance mathematical learning.

Keywords: Attention, Learning Mathematics, Neurofeedback.



INTRODUÇÃO

As neurociências têm modificado conceitos importantes com relação a aprendizagem e o desenvolvimento de habilidades específicas relacionadas a integração cérebro-ambiente levando a inovações importante relacionadas aos estudos nas áreas da educação. De forma mais específica com relação a aprendizagem matemática, o uso de recursos tecnológicos para a estrutura educacional, assim como, para o treino das suas dificuldades tem sido o alvo de estudos (Anderson et al., 2014).

Dentre as abordagens que estão na interface tecnologia-cérebro e ambiente, o Neurofeedback (Wang et al., 2013) tem se destacado já que se trata de um método não invasivo. Dentre os procedimentos mais utilizados temos o *eye-tracking* (monitoramento dos movimentos oculares), ressonância magnética funcional (imagens do cérebro em tempo real) e o monitoramento por eletroencefalografia. Desses três modelos, o monitoramento por eletroencefalografia é de fácil utilização e envolve o uso de eletrodos para captar os sinais elétricos de determinadas áreas do cérebro, permitindo assim, o monitoramento em tempo real pelo próprio usuário através de um feedback auditivo/visual/tátil em tempo real. Arsalidou et al (2018) em uma meta-análise de artigos que envolviam a ressonância magnética e a manipulação cognitiva de noções matemáticas, concluíram que as áreas mais fortemente associadas a números e cálculos referem-se a áreas parietais (especialmente lobo parietal inferior e precuneus) e frontal (áreas

superiores e giro frontal medial). Duas áreas cerebrais – a ínsula e o claustrum – que não são tipicamente associadas a realização de operações matemáticas também foram observadas durante a ativação do raciocínio matemático, no que tange a resolução de problemas.

Jogos e atividades matemáticas tem sido utilizados para reconhecer o funcionamento dentro da normalidade e nas suas alterações que, no caso da aprendizagem matemática, são nomeadas como discalculia. A discalculia caracteriza-se essencialmente pela dificuldade em aprender e compreender noções de quantidade e fatos matemáticos específicos, sendo assim uma condição persistente durante toda a vida atingindo cerca de 10% da população (Butterworth et al., 2011; Callaway et al., 2013). As causas da discalculia envolvem diferenças genéticas, falhas no desenvolvimento cerebral que envolvem a maturação, o volume ou a ativação de áreas cerebrais relacionadas ao desenvolvimento e manipulação de conceitos matemáticos, prematuridade, baixo peso ao nascer e lesões cerebrais específicas.

Quadros de ansiedade também podem levar a um quadro bastante similar a discalculia conhecido como ansiedade matemática (Luttenberg et al, 2018; Skagerlund et al., 2019; Tomasetto et al., 2025). Nesse quadro, observa-se o prejuízo nas habilidades relacionadas a aprendizagem matemática devido a uma preocupação extrema ao seu desempenho, porém, com a compreensão e realização das atividades em situação não avaliativas assim



como em situações lúdicas e interativas. No caso da ansiedade matemática, o quadro ansioso também está presente e afeta outras áreas da vida do indivíduo e, uma vez tratada a ansiedade e assegurada a estimulação específica das habilidades matemáticas, a aprendizagem volta a acontecer normalmente.

Essas alterações no processo de aprendizagem resultam em alterações no funcionamento cerebral que podem impactar funções relacionadas aos processamentos auditivo e visuais (pelas falhas no reconhecimento dos símbolos e sinais numéricos) impactando áreas importantes relacionadas com a memória operacional e atenção (Skagerlund et al., 2019). Essas alterações podem ser medidas e observadas através da lentificação de ondas geradas pelos neurônios em áreas pré-frontais do cérebro. Outras áreas também têm sido investigadas e atribuídas a essas alterações como disfunções em lobo temporal posterior esquerdo, lobo occipital e temporal. O alcance e a intensidade dessas alterações ainda não são bem definidos (Plerou et al, 2016).

A discalculia é uma alteração difícil de diagnosticar e diferenciá-la da ansiedade matemática e de falhas no processo de ensino pode ser bastante complexo, exigindo a avaliação de profissionais qualificados para o diferencial diagnóstico. Poucos estudos têm sido conduzidos na interface entre a aprendizagem matemática, discalculia e o uso de neurofeedback (Arsalidouab et al., 2018). O uso desse instrumento para as alterações de atenção e memória operacional em quadros

diagnosticados como TDAH foram alvo de investigações e pesquisas em maior volume (Dentz et al, 2024; Courrèges et al, 2025). O neurofeedback pode ser utilizado de forma única como intervenção ou como terapia complementar auxiliando o terapeuta na ativação e autorregulação de vias necessárias para a realização das atividades-alvo.

Em 2020 foi formado um consenso entre diversos pesquisadores de diversas partes do mundo para estabelecer as bases e as informações necessárias para pesquisas em neurofeedback (Ros et al., 2020). Dentre os protocolos de intervenção em neurofeedback por eletroencefalografia os dois mais testados e utilizados são o ondas beta - que são essenciais para a atenção e o protocolo alpha/theta - que visa a regulação do estresse crônico e da ansiedade matemática. Observa-se assim a preocupação em estabelecer rigor científico aos estudos e desenvolver recursos que permitam o aumento de ondas e funcionamento neuronal relacionado a áreas de foco, atenção e processamento cognitivo relacionados ao processamento numérico e ao raciocínio matemático. Outros protocolos e áreas precisam ser estudados com mais profundidade para verificação da eficácia para as alterações cognitivas decorrentes da manipulação de objetos matemáticos.

Nos transtornos específicos de aprendizagem relacionados a leitura e escrita são comumente descritas falhas em atenção (Eroğlu et al, 2022) e memória operacional (Martinez-Briones, 2021) que no mapeamento pelo neurofeedback



caracteriza-se por alterações em ondas alpha e theta (Azyzi et al., 2018; Fernandez et al., 2016, Perez-Elvira et al., 2021).

Frente a escassez de informações sobre a relação entre neurofeedback por eletroencefalografia e aprendizagem matemática este artigo procurou investigar e conhecer os estudos, achados e metodologias de pesquisa mais utilizadas nas investigações buscando uma base sólida para novas pesquisas.

METODOLOGIA

Foram realizadas buscas nos campos de dados Pubmed, Scielo e Psycinfo de todos os artigos publicados com as palavras neurofeedback AND mathematic OR dyscalculia OR learning disorders (Figura 1). Foram excluídos os artigos que no resumo e/ou no corpo do texto não envolviam as terminologias acima mencionadas. Foram pesquisados e identificados estudos experimentais conduzidos nos últimos 15 anos, entre 2010 e julho de 2025, publicados em inglês, espanhol ou português. Esse período foi escolhido para considerar elementos e teorias que envolvam bases atuais dos conhecimentos em neurociência. Palavras adicionais foram acrescentadas devido ao baixo número de artigos encontrados “dyscalculia” e “learning disorders”. Sinônimo de neurofeedback foram utilizados como “brainwave”, “biofeedback”, “feedback”, “Electroencephalography biofeedback”

Critérios de seleção:

Foram selecionados os estudos que envolvessem

população clínica e escritos em língua inglesa, português ou espanhol. Os artigos deveriam conter informações sobre os instrumentos para intervenção, principais resultados, critérios de inclusão e exclusão dos sujeitos do estudo. Os estudos deveriam envolver o uso de neurofeedback como um substituto aos tratamentos de alterações matemáticas ou como uma terapia secundária a essas alterações. A descrição de alteração matemática considerada no estudo deveria ser citada considerando a sintomatologia e/ou características cognitivas envolvidas.

Foram excluídos os artigos que utilizassem exclusivamente outras medidas de resultados como *eye-tracking*, espectroscopia com infravermelho, tomografia eletromagnética e ressonância magnética funcional. Também foram excluídos os estudos com animais, pacientes com estresse pós-traumático, estudos que envolvessem pacientes com lesões cerebrais ou quadros demenciais ou não abordassem diretamente as alterações relacionadas a aprendizagem matemática.

Após a exclusão dos artigos pelos critérios acima mencionados (figura 2) foram selecionados 06 artigos que fizeram parte dessa revisão integrativa.

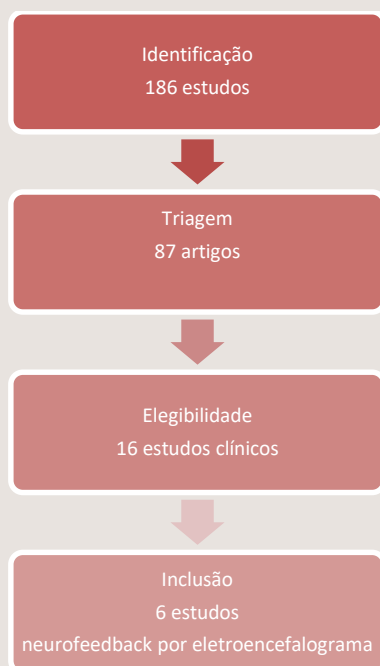
Figura 1 – Número de artigos encontrados em cada banco de dados

Pubmed	92
Scielo	23
Psycinfo	71

Fonte: A pesquisa.



Figura 2 - Fluxograma de seleção dos artigos



Fonte: Os autores.

O fluxograma segue o modelo PRISMA e descreve as etapas da identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos artigos utilizados nesta revisão. A busca inicial resultou em 186 artigos, que após a triagem dos temas específicos resultou em 87 artigos. Desses artigos, de acordo com os critérios de elegibilidade foram selecionados 16 estudos clínicos e inclusos apenas 6 estudos após a exclusão dos artigos que não envolviam o neurofeedback por eletroencefalograma que compuseram a amostra final analisada.

Dados coletados e Análise:

Os dados de cada artigo foram extraídos em uma planilha Excel com os seguintes tópicos: ano de publicação, características da amostra, definição de alterações em matemática, presença de grupo controle, tipo e duração do treinamento,

variáveis consideradas, medidas de intervenção pré e pós-intervenção e resultados gerais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Quadro 1 apresenta os resultados dos artigos selecionados para o estudo. Dos 186 artigos encontrados somente 06 preenchem os critérios de inclusão para o estudo. Um artigo foi publicado no ano de 2013, 2 artigos foram publicados no ano de 2015, 2 artigos envolviam a recortes com a mesma população em 2017 e um artigo publicado em 2023. Após esse período nenhum outro artigo clínico envolvendo essa relação direta foi publicado nos campos de dados pesquisados.

O artigo de 2013 visava o mapeamento dos parâmetros de normalidade para o processamento da matemática e, para tanto foram submetidos ao procedimento de neurofeedback alunos de pós-graduação na faixa etária dos 22 aos 30 anos.

Nesse estudo foram utilizados duas tarefas e dois minutos cada uma relativa a relaxamento envolvendo o controle da respiração e outra envolvendo cálculos mentais de adições de 3 dígitos que deveriam ser realizados tão rápido quanto possível. Nas duas atividades todos os canais foram utilizados para mapear as áreas envolvidas no cálculo matemático.

Dos 14 canais mapeados 4 foram selecionados como os principais marcadores diferenciais para



cálculos mentais: F8, F3, O2, AF3¹ com um índice de acurácia de 97,14%. Os autores consideram que essa redução de canais mapeados permite um baixo custo e maior efetividade nos processos de intervenção.

O segundo artigo do ano de 2015, utilizou do neurofeedback como estratégia de intervenção nas alterações matemáticas em crianças regularmente matriculadas no contexto educacional. Fizeram parte da pesquisa 28 crianças regularmente matriculadas no 3º ano do fundamental com QI mínimo de 70 e com o diagnóstico de discalculia realizado após entrevista psiquiátrica (DSM-V), relatos acadêmicos e testes específicos aplicados antes e após o treinamento. As crianças foram divididas em dois grupos com 14 crianças cada uma, sendo que um grupo recebeu o treinamento de neurofeedback através da relação de ondas alpha/beta enquanto o outro grupo foi submetido a sessões com jogos aleatórios no computador. Foram realizadas 20 sessões durante 10 a 12 semanas de 30 minutos cada uma.

Os resultados demonstraram a efetividade do treinamento com neurofeedback em comparação com o grupo controle com significância estatística ($p < 0.05$) nas três medidas realizadas: pré-teste, pós-teste e follow-up (1 ano após o treinamento) mostrando a efetividade na manutenção dos resultados do treinamento mesmo após o encerramento das sessões. O artigo também cita uma discrepância entre os resultados com o grupo de meninos apresentando uma efetividade maior do que com

meninas.

Estudos envolvendo outros transtornos da aprendizagem também comprovam a eficiência do treinamento com o neurofeedback. Estudos como os de Becerra *et al*, 2006 com 55 crianças com transtornos de aprendizagem e treinados com relação ao protocolo theta para a atenção, demonstram que os benefícios do tratamento com o neurofeedback podem ser observados após o treinamento e tendem a se intensificar no follow-up de 1 ano. Hashemian *et al* (2005) também observaram melhoras no treinamento para soletração com o protocolo de treinamento para as ondas alpha em crianças em idade escolar. Estudos com relação a melhora da qualidade da escrita a partir do uso de protocolos de treinamento de ondas alpha também foram observados por autores como Parastar *et al*, 2013 e Eroğlu, 2021.

O terceiro artigo com pesquisa clínica envolvida refere-se as diferenças entre o uso de protocolos específicos de estimulação de ondas theta/beta e o uso de jogos virtuais que também envolviam a estimulação dessas ondas foi comparado com o uso de protocolos neuropsicológicos que envolviam habilidades matemáticas, atenção e habilidades visuoespaciais. Foram avaliados 40 homens adultos sem relatos de prejuízos acadêmicos separados em dois grupos de 20 integrantes. Cada grupo recebeu um treinamento com uma modalidade diferente. Foram realizadas 8 sessões de 40 minutos cada. Os dois grupos apresentaram melhoras nas habilidades medidas, porém não apresentaram diferenças

¹ A primeira letra corresponde a área cerebral avaliada –

F=frontal, O= Occipital e AF=frontal intermediária.



entre si (Liu e Sorina, 2015).

No ano de 2017 Plerou publicou em conjunto com a sua equipe dois artigos que envolveram a avaliação de 182 alunos de pós-graduação de um curso de informática. Esse grupo foi dividido em grupo controle (atividades que não envolviam neurofeedback) e o grupo treino que envolveu o protocolo alpha/theta para relaxamento e o protocolo beta para a resolução de problemas matemáticos. No primeiro artigo o objetivo era detectar as áreas responsáveis pela resolução de problemas matemáticos e foram observadas diferenças significativas entre o grupo treinamento e o grupo controle. Tanto as áreas utilizadas no protocolo alpha/theta e as áreas envolvidas no protocolo beta mostraram-se em ativação importante para a resolução de problemas matemáticos. O segundo estudo da mesma autora (Plerou et al, 2017) envolveu com a mesma população observar a aprendizagem e a resolução de problemas com o uso de recursos visuais e auditivos X recursos de leitura. Os estudos mostraram que o uso de imagens, cores e sons aumenta a velocidade de resolução de problemas matemáticos por parte dos sujeitos avaliados.

O sexto artigo do ano de 2023 investigou a eficácia do treino de neurofeedback para os transtornos de aprendizagem em 34 crianças de 8 e 11 anos. Houve o controle com 14 crianças no grupo placebo que receberam um protocolo que utilizava jogos aleatórios. Foram realizadas 30 sessões de 30min 3 vezes por semana durante 10 a 12 semanas com os protocolos theta/alpha. Como resultado do treinamento observou-se um

aumento significativo nos escores de leitura, matemática e autoconceito infantil.

Nos artigos analisados, todos os protocolos utilizados envolvem a estimulação de áreas frontais e parietais, sendo que um deles destaca a área F8 no neurofeedback como um ponto essencial de monitoramento. Essas áreas e protocolos estão em acordo com os estudos que referem essas áreas e lobos como os mais associados aos números e ao cálculo em crianças através dos estudos de neuroimagem funcional (Arsalidou et al, 2018). Da mesma forma somente 2 artigos abordaram crianças e transtorno específicos da matemática sendo os demais mapeamentos da normalidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos acima analisados embora forneçam evidências de que o treinamento em neurofeedback pode ter influência direta para o desenvolvimento de habilidades matemáticas não são suficientes para concluir a eficácia desse treinamento e suas relações diretas com os objetos matemáticos. Temos na literatura poucos estudos clínicos, com poucos de participantes e com uma diversidade de metodologias que não permitem um consenso com relação a eficácia dos treinamentos. No entanto, os resultados apresentados parecem promissores para novas pesquisas que demonstrem a utilização desse instrumento na prática clínica.

Dentre os estudos destacados é possível



verificar os principais protocolos e instrumentos utilizados para a estimulação do neurofeedback na estimulação específica de objetos matemáticos, assim como, os principais canais a serem monitorados. Protocolos alpha/beta (para áreas e estímulos relacionados a atenção e memória operacional) e protocolos theta (para áreas específicas da aprendizagem matemática). Da mesma forma, a estimulação através de atividades práticas frente aos treinamentos dos protocolos comumente utilizados parece ser uma estratégia efetiva para a estimulação mais ecológica e direta das habilidades-alvo.

Esses estudos abrem a possibilidade de pesquisas mais focadas que envolvam intervenções mais efetivas e bem planejadas com o uso do neurofeedback e os estímulos relacionados as habilidades matemáticas. Embora os estudos aqui apresentados mostrem-se promissores, novos estudos devem ser realizados com maior número de sujeitos envolvidos para verificar a efetividades das intervenções.



Quadro 1- Análise dos artigos selecionados

ARTIGO	AUTORES	ANO	AMOSTRA	OBJETIVOS	DEFINIÇÃO ALTERAÇÕES MATEMÁTICAS	CONTROLE	TIPO TREINAMENTO	DURAÇÃO	VARIÁVEIS CONSIDERADAS	MEDIDAS DE INTERVENÇÃO PRÉ E PÓS	RESULTADOS GERAIS
Real-time mental arithmetic task recognition from EEG signals	Wang, Q; Sourina, O.	2013	10 sujeitos de 22 a 30 anos alunos de pós graduação.	Mapear áreas de processamento matemático em neurofeedback	Mapeamento de áreas matemáticas – normalidade	Não	Não	2 min	14 posições AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4.	atividade de relaxamento (pensar na respiração), Completar mentalmente cálculos matemáticos o mais rápido possível	Cálculos mentais - F8. Melhores canais - F8, F3, O2, AF3. Esses quatro canais mostram-se os mais significativos para o estudo da matemática.
Effectiveness of neurofeedback on mathematics disorder	Hashemian, P.; Hashemian, P.	2015	28 crianças do 3o. ano primário. QI de pelo menos 70 pela escala Wechsler	Determinar a efetividade do neurofeedback no tratamento de crianças com transtorno da matemática	Diagnóstico de transtorno de aprendizagem através de entrevista psiquiátrica com os critérios do DSM-V e relatos escolares.	Sim – 14	PROCOMP 2 ratio beta/theta em areas CZ	20 sessões por 10 a 12 semanas com duração de 30 minutos	PROCOMP 2 ratio beta/theta em areas CZ	Realização de testes matemáticos. Pré, pos e 12 meses depois.	Melhora no grupo experimental. F=5,714, sig=0.035. (P<0.05) nas 3 medidas realizadas. Maior significância em meninos do que em meninas. Aumento de alfa como uma medida importante para a melhora em matemática.
Fractal dimension based neurofeedback training to improve cognitive abilities	Liu, Y.; Hou, X.; Sourina, O.	2015	40 homens - 20 para cada grupo	acessar e comparar o uso de jogos como estímulo e do algoritmo theta/beta para o treinamento em neurofeedback	Normalidade	Comparativo	comparação treinamento	8 sessões de treinos de jogos atencionais de 40 min 2X/semana	Jogo X treinamento P8	Matrizes de rotação, testes mentais de soma e subtração, percepção de diferenças, vigilância atencional.	Resultados similares em ambos os grupos.
EEG Analysis of the Neurofeedback training effect in algorithmic thinking	Plerou, a.; Vlamos, P.; Margetaki, A.	2017	182 alunos de graduação de um curso de informática	Detectar as áreas responsáveis pela resolução de problemas matemáticos	Normalidade	Sim – 91 sujeitos	Placebo X neurofeedback	10 sessões de 60-80 minutos por 9 meses	Protocolo alpha-theta para relaxamento e Beta	Atividade de relaxamento X resolução ode problemas matemáticos	Terapia de neurofeedback mostrou melhora bastante significativa no grupo treinado com as ondas alpha e teta e beta.
The effectiveness of Neurofeedback Training in algorithmic thinkig skills enahncement	Plerou, A.; Vlamos, P.; Triantafillidis, C.	2017	182 alunos de pós graduação do curso de informática	Observar a aprendizagem com o uso de recursos visuais e auditivos	Normalidade	Sim – 91 sujeitos	Diferenças entre os recursos apresentados para o treino visual X leitura	10 sessões de 60-80 min por 9 meses	Protocolo alpha-teta e o protocolo Beta de treinamento	Torre de Hanoi, tarefas baseadas em livros para a resolução de problema matemáticos, teorema das cinco cores	Imagens e sons melhoram a velocidade das respostas mostrando a eficiência de elementos como cor, espaço, movimento e sons na resolução e problemas.
Effects of neurofeedback on the self-concept of children with learning disorders	Martinez-Briones, B.J.; Flores-Gallegos, R.; Cárdena, s. Y.; Barrera-Diaz, B. E.; Fernandez, T.; Silva-Pereyra, J.	2023	34 crianças de 8 a 11 anos destros, sem alterações neurológicas ou psiquiátricas QI ao menos de 75	Efeito do neurofeedback nos transtornos de aprendizagem	Falhas na escala neuropsicológica (ENI)	Sim – 14 – tratamento placebo	Protocolo theta/alpha	30 sessões de 30 minutos 3 vezes por semana durante 10 a 12 semanas	Protocolo theta/alpha	Piers-Harris Children's Self-Concept Scale, ENI; escala neuropsicológica infantil	Grupo treinado com neurofeedback mostrou aumento significativo nos escores de leitura, matemática e auto-conceito – redução significativa da relação theta/alpha

Fonte: Os autores



REFERÊNCIAS

- Anderson, R.; Love, B. Tsai, M.J. Neuroscience Perspectives for Science and Mathematics Learning in Technology-Enhanced Learning Environments. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2014. 12 (3): 467-474. <http://doi.org/10.1007/s10763-014-9540-2>
- Associação Psiquiátrica Americana. (2022). Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais (5ª ed., texto revisado).
- Arsalidou M, Pawliw-Levac M, Sadeghi M, Pascual-Leone J. Brain areas associated with numbers and calculations in children: Meta-analyses of fMRI studies. *Dev Cogn Neurosci*. 2018 Apr;30:239-250. doi: 10.1016/j.dcn.2017.08.002. Epub 2017 Aug 8. PMID: 28844728; PMCID: PMC6969084.
- Azizi A, Drikvand FM, Sepahvandi MA. Comparison of the Effect of Cognitive Rehabilitation and Neurofeedback on Sustained Attention Among Elementary School Students with Specific Learning Disorder: A Preliminary Randomized Controlled Clinical Trial. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2018 Dec;43(4):301-307. doi: 10.1007/s10484-018-9410-8. PMID: 30128952.
- Becerra J.; Fernandez, T.; Harmony, T.; Caballero, M.I.; Garcia, F.; Fernandez, A. et al. 2006. Follow-up study of learning-disabled children treated with neurofeedback or placebo. *Clin EEG Neurosci* 37: 198-203.
- Butterworth B, Varma S, Laurillard D. Dyscalculia: from brain to education. *Science*. 2011 May 27;332(6033):1049-53. doi: 10.1126/science.1201536. Erratum in: *Science*. 2011 Nov 11;334(6057):761. PMID: 21617068.
- Callaway E. Dyscalculia: Number games. *Nature*. 2013 Jan 10;493(7431):150-3. doi: 10.1038/493150a. PMID: 23302840.
- Courrèges M, Hoareau M, Levenes C, Rahioui H. Comparative efficacy of neurofeedback, tDCS, and TMS: The future of therapy for adults with ADHD. A systematic review and meta-analysis. *J Affect Disord*. 2025 Nov 1;388:119585. doi: 10.1016/j.jad.2025.119585. Epub 2025 Jun 10. PMID: 40505983.
- Dentz A, Soelch CM, Fahim C, Torsello A, Parent V, Ponsioen A, Guay MC, Bioulac-Rogier S, Clément C, Bader M, Romo L. Non-pharmacological treatment of Attention Deficit Disorder with or without Hyperactivity (ADHD). Overview and report of the first international symposium on the non-pharmacological management of ADHD. *Encephale*. 2024 Jun;50(3):309-328. doi: 10.1016/j.encep.2023.04.010. Epub 2024 Feb 6. PMID: 38326137.
- Eroğlu G, Teber S, Ertürk K, Kırmızı M, Ekici B, Arman F, Balcisoy S, Özcan YZ, Çetin M. A mobile app that uses neurofeedback and multi-sensory learning methods improves reading abilities in dyslexia: A pilot study. *Appl Neuropsychol Child*. 2022 Jul-Sep;11(3):518-528. doi: 10.1080/21622965.2021.1908897. Epub 2021 Apr 16. PMID: 33860699.



- Fernández T, Bosch-Bayard J, Harmony T, Caballero MI, Díaz-Comas L, Galán L, Ricardo-Garcell J, Aubert E, Otero-Ojeda G. Neurofeedback in Learning Disabled Children: Visual versus Auditory Reinforcement. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2016 Mar;41(1):27-37. doi: 10.1007/s10484-015-9309-6. PMID: 26294269.
- Hashemian, P.; Yazdchi, M.; ParastarFeizbadi, M.; Ghoshuni, M. 2005. Study on Writing Disorder by Neurofeedback Training. Congress 6th International Congress on Child and adolescent Psychiatry in Tabriz University of Medical Sciences.
- Hashemian, P.; Hashemian, P. Effectiveness of Neuro-feedback on Mathemacns Disorder. *J Psychiatry*, 2015, 18:2. Doi: 10.4172/2378-5756. 10000243
- Liu, Y.; Hou, X.; Sourina, O. Fractal Dimension Based Neurofeedback Training to Improve Cognitive Abilities. *2015 7th Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEECE)*, Colchester, UK, 2015, pp. 152-156, doi: 10.1109/CEECE.2015.7332716.
- Luttenberger S, Wimmer S, Paechter M. Spotlight on math anxiety. *Psychol Res Behav Manag*. 2018 Aug 8;11:311-322. doi: 10.2147/PRBM.S141421. PMID: 30123014; PMCID: PMC6087017.
- Martínez-Briones BJ, Flores-Gallegos R, Cárdenas SY, Barrera-Díaz BE, Fernández T, Silva-Pereyra J. Effects of neurofeedback on the self-concept of children with learning disorders. *Front Psychol*. 2023 May 15;14:1167961. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1167961. PMID: 37255511; PMCID: PMC10225657.
- Patil AU, Madathil D, Fan YT, Tzeng OJL, Huang CM, Huang HW. Neurofeedback for the Education of Children with ADHD and Specific Learning Disorders: A Review. *Brain Sci*. 2022 Sep 14;12(9):1238. doi: 10.3390/brainsci12091238. PMID: 36138974; PMCID: PMC9497239.
- Parastar, Feizabadi M.; Yazdchi M.; Ghoshuni, M.; Hashemian, P.A. Neurofeedback Training Effect in Cognittion and Mathematical Perception. *Journal of Bioinformatics na Computational Biology*. 2016. Vol 1(1): 1-8.
- Pérez-Elvira R, Oltra-Cucarella J, Carroble JA, Teodoru M, Bacila C, Neamtu B. Individual Alpha Peak Frequency, an Important Biomarker for Live Z-Score Training Neurofeedback in Adolescents with Learning Disabilities. *Brain Sci*. 2021 Jan 28;11(2):167. doi: 10.3390/brainsci11020167. PMID: 33525458; PMCID: PMC7911657.
- Plerou A, Vlamos P, Triantafillidis C. The Effectiveness of Neurofeedback Training in Algorithmic Thinking Skills Enhancement. *Adv Exp Med Biol*. 2017;988:181-191. doi: 10.1007/978-3-319-56246-9_14. PMID: 28971398.
- Plerou A, Vlamos P, Margetaki A. EEG Analysis of the Neurofeedback Training Effect in Algorithmic Thinking. *Adv Exp Med Biol*. 2017;988:313-324. doi: 10.1007/978-3-319-56246-9_26. PMID: 28971410.
- Ros, T.; Enrique-Geppert, S.; Zotec, V.; Youg, K.D.; Wood, G.; Whitfield-Gabrieli, S.; Wan,



- F.; Vuilleumier, P.; Vialatte, F.; De Ville, D.V.; Todder, D.; Surmeli, T.; Sulzer, J. S.; Strehl, U.; Serman, M.B.; Steier, N.J.; Sorgger, B.; Soekadar, S. R.; Sitaram, R.; Sherlin, L. H.; Schönenberg, M.; Scharnowski, F.; Schabus, M.; Rubia, K.; Rosa, A.; Reiner, M.; Pineda, J. a.; Paret, C; Ossadtch, A. et al. Consensus on the reporting and experimental design of clinical and cognitive-behavioural neurofeedback studies (CRED-nf checklist). *Brain*. 2020 Jun 1;143(6):1674-1685. doi: 10.1093/brain/awaa009.
- Orndorff-Plunkett F, Singh F, Aragón OR, Pineda JA. Assessing the Effectiveness of Neurofeedback Training in the Context of Clinical and Social Neuroscience. *Brain Sci*. 2017 Aug 7;7(8):95. doi: 10.3390/brainsci7080095. PMID: 28783134; PMCID: PMC5575615.
- Skagerlund K, Östergren R, Västfjäll D, Träff U. How does mathematics anxiety impair mathematical abilities? Investigating the link between math anxiety, working memory, and number processing. *PLoS One*. 2019 Jan 25;14(1):e0211283. doi: 10.1371/journal.pone.0211283. PMID: 30682125; PMCID: PMC6347150.
- Tomasetto C, Passolunghi MC, De Vita C, Guardabassi V, Morsanyi K. Parental mathematics anxiety is related to children's mathematical development in preschool and the first school years. *J Exp Child Psychol*. 2025 Apr;252:106185. doi: 10.1016/j.jecp.2024.106185. Epub 2025 Jan 21. PMID: 39842174.
- Wang JR, Hsieh S. Neurofeedback training improves attention and working memory performance. *Clin Neurophysiol*. 2013 Dec;124(12):2406-20. doi: 10.1016/j.clinph.2013.05.020. Epub 2013 Jul 1. PMID: 23827814.

