

# Nöromodülasyonun eğitim-öğretim alanında kullanımı

## Doç. Dr. Mustafa Otrar



1971'de Eskişehir doğdu. 1993'te Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Bölümü Psikolojik Danışma ve Rehberlik Lisans Programı'ndan mezun oldu. Rehber Öğretmen olarak Bingöl ve İstanbul'da görev yaptı. 1995 yılında Araştırma Görevlisi olarak Marmara Üniversitesine göreve başladı. 1997 yılında Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü'nde Eğitimde Psikolojik Hizmetler alanında yüksek lisansını tamamladı 2006'da doktora eğitimini tamamladı. Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Bölümü'nde Ölçme ve Değerlendirme Ana Bilim Dalı Başkanı olarak görev yaptı. 2017-2021 yılları arasında T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı'nda kurul üyesi olarak; 2021-2023 yılları arasında da Kırklareli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Eğitim Bilimleri Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yaptı. Hâlen 2023'te başladığı T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Özel Eğitim ve Rehberlik Hizmetleri Genel Müdürlü görevini sürdürmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

## Fatma Aydın



1996'da Antalya'da doğdu. 2019'da İstanbul Medipol Üniversitesi Ergoterapi bölümünden mezun oldu. 2022 yılında İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü'nde Bilişsel Rehabilitasyon yüksek lisansını tamamladı. 2019-2022 yılları arasında özel bir klinikte görev yaptı. 2022 yılında İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü'nde Sinirbilim Doktora Programına başladı. Hâlen doktora eğitimine ve araştırmacı olarak çalışmalarına devam etmektedir.

Her toplum, koşulları ölçüsünde hem değişimin yarattığı olumsuzluklarla baş etmek hem de değişimi kontrol ederek planladığı şekilde yönlendirmek ister. Bunu yaparken çeşitli yol ve araçları da devreye sokar. Çağı ve ondan da öte geleceği yakalamak isteyen vizyoner devlet yöneticileri, doğayı ve toplumu dönüştürebilmenin, geleceğe yönelik plan ve projelerin yapılabilmesinin yüksek düzeyde zihinsel etkinliğe sahip yetişmiş insan kaynakları ya da insan gücüne bağlı olduğunun bilincindedirler. Hiç kuşkusuz, hem değişime (gelişme, kalkınma anlamında) açık hem de bu süreci başlatacak insanın yetiştirilebilmesi, çok çeşitli ortamlarda (çoğunlukla da okullarda) verilebilen eğitim ile yakından bağlantılıdır (1). Bu sebeptir ki eğitim-öğretim, her ülkenin güvenli bir gelecek için yatırım yapılması beklenen en stratejik alanlardan biridir. Yenileşme ile birlikte farklılık gösteren bilgi çağında bu yenileşmeye uyum sağlayacak birey yetiştirmek toplumun

ayakta kalabilmesi için en önemli unsurlardan biri hâline gelmektedir.

Hesapçoğlu (2008) eğitimi yeteneklerin gelişmesi için yapılan etkinlikleri kapsayan bir sosyalleştirme aracı olarak tanımlar ve onun davranış değişikliği oluşturma ve değer aktarımı işlevlerine sahip olduğunu belirterek insanın özgürleşme süreci olarak niteler (2). Öğretimi de öğrenme sürecinin kavuzlanması olarak ele alır; yani öğretim öğrenme sürecinin belirlenmiş amaçlara uygun biçimde başlatılması, yönlendirilmesi ve gerçekleştirilmesi süreci olduğunu belirtir. Kavramsal yapıları birbirinden farklı olmakla birlikte okul ortamında eğitim ve öğrenme süreçleri iç içe ilerler. Temelde her iki süreç de bireylere çeşitli özellikleri kazandırma, kullanma ve bunları işleyip uygulama işlevlerine yönelik biçimde hareket ederler. Bu durumda eğitim-öğretim işlevlerinin etkililiği, verimliliği gibi yeni kavramlar kendiliğinden düşünsel tartışma alanına dâhil olur. Neresinden bakılırsa bakılınsın, hangi tanımı üzerin-

den hareket edilirse edilsin eğitim ve öğretim merkezde insan ve onun en temel varoluş biçimi olan insan bedeni ve ona ait bir alt sistem olarak sinir sistemi yer alır. Belki de bu sebeple nörolojik yapılar ve insan öğrenmesi üzerindeki işlevleri, özellikle refleks eylemler ve hafıza kavramı üzerinden psikolojinin bilim dalı olarak kabul edildiği 1879 tarihinden bu yana sürmektedir. Günümüzde bu ilginin odaklarından biri öğrenmede etkililiği artırıcı nöro-biyolojik faktörler ve bunların eğitim-öğretimde kullanımıdır. Bu kapsamda, öğrenen keşfederek ve aktif katılım göstererek bilgiye kendi ulaşmakta, öğretmenin rehber olarak dersi organize ettiği çağdaş kuramlar ön plana çıkmaktadır. Bu yeni kuramlardan biri de beyin temelli öğrenme kuramıdır. Son yıllarda beyin temelli öğrenme kuramı ile ilgili çalışmalara genişleyen biçimde devam edilmektedir (3).

Bu noktadan eğitimin nörobilim ile ilişkilendiği alana geçebiliriz. Araştırmacılar öğrenme süreci sonucunda



nöronlarda yeni akson iplikçiklerinin oluştuğunu iddia etmektedirler. Buna göre her öğrenme yaşantısı yeni sinaptik bağların oluşması demektir. Burada öğrenme biyokimyasal bir değişim olarak açıklanmaya çalışılmaktadır. "Beyine dayalı öğrenme kuramı" olarak da bilinen bu kuramı sistematik hâle getiren Hebb, beyindeki devrelerin çalışma şekli bilinmeksizin öğrenmenin doğasının anlaşılamayacağını savunmaktadır (4).

İnsan hafızasını ve öğrenme yeteneğini geliştirme çabalarının bilimde uzun bir geçmişi vardır. Bu alanda nörobilimin bize tanıttığı en son yenilik nöroplastisitenin uzun vadeli manipülasyonu yoluyla bilişsel işlevlerin artırılması konusunda önemli bir umut vaat eden noninvaziv beyin stimülasyonu (NIBS) olmuştur (5). Söz konusu NIBS yöntemlerinin en tanınmışları olan transkraniyal manyetik (TMS) ve transkraniyal elektrik (tES) stimülasyonu gibi transkraniyal beyin stimülasyonu yöntemleri, klinik olarak hastalarda kullanımlarının yanı sıra "normal" insanlarda çoklu görev yeteneği, aritmetik ve hata farkındalığı, dil, motor öğrenme, dikkat, çalışma belleği vb. bilişsel işlevleri iyileştirmek ve diğer beyin fonksiyonlarını geliştirmek amacıyla her geçen gün daha yaygın olarak kullanılmaktadır (6). Bu yak-

laşım Antal ve ark. tarafından, "nöro güçlendirme" (neuroenhancement) olarak isimlendirilmiştir ve algı, dikkat, kavramsallaştırma, hafıza, muhakeme ve motor performansının altında yatan mekanizmalar dâhil olmak üzere, doğal eğitim dışında beyindeki temel bilgi işleme sistemlerinin herhangi bir şekilde güçlendirilmesi kavramı olarak ortaya atılmıştır (7). Aslında bu durum yeni sayılmaz, yüksek kafein konsantrasyonuna sahip içeceklerden nikotine ya da ritalin gibi reçete edilebilir uyarıcı ilaçlara kadar geniş bir yelpazedeki müdahaleleri kapsar (6, 8).

Sinir sisteminin ve onu oluşturan nöron gruplarının uyarılması nöromodülasyon süreçleri ile tanımlanmaktadır. Öğrenme sürecinin nörobiyolojik boyutu dikkate alındığında nöromodulatorların kullanımının öğrenme süreçleri üzerinde etkili olacağı da açıktır. Nitekim çeşitli araştırmalar nöromodülasyon üzerinden öğrenme süreçlerinin etkilendiğini göstermektedir. Söz gelimi Likhtik ve Johansen (2019) nöromodülasyonun beyin boyunca dağıtılmış devrelerde duygusal öğrenmeyi şekillendirdiğini, lezyonlar, kayıtlar ve farmakoloji kullanan çalışmaların, projeksiyon yolları ve öğrenme sırasında değişen davranışsal duruma nöromodulator katkıları hakkında önemli bilgiler sağladığını ifade etmektedir (9).

Hiç kuşkusuz hem değişime açık hem de bu süreci başlatacak insanın yetiştirilebilmesi, çok çeşitli ortamlarda verilebilen eğitim ile yakından bağlantılıdır. Bu sebeptendir ki eğitim-öğretim, her ülkenin güvenli bir gelecek için yatırım yapılması beklenen en stratejik alanlardan biridir. Yenileşme ile birlikte farklılık gösteren bilgi çağında bu yenileşmeye uyum sağlayacak birey yetiştirmek toplumun ayakta kalabilmesi için en önemli unsurlardan biri hâline gelmektedir.

Ayrıca TMS uygulaması sonrası nöronların aktivitesinde bir artış gözlenmiş ve bu durumun görsel korteks üzerindeki haritaları da olumlu anlamda etkilediği sonucuna ulaşılmıştır (10).

Çalışma belleği üst düzey bilişsel işlevleri (örneğin dil, öğrenme, problem çözme) kolaylaştırmak için bilgiyi 'zihinsel olarak' geçici olarak saklama, erişme ve manipüle etme yeteneğidir (11). Dorsolateral prefrontal korteks (DLPFC), sinir ağında yönetici işlevlere (yani çalışma belleği, planlama, hedefe yönelik davranış, dikkat ve inhibisyon kontrol) hizmet veren çok önemli bir unsur olduğundan, bu alanı nöromodülatör teknikler ile hedefleyerek bilişi geliştirmek için umut verici bir terapötik seçeneği temsil etmektedir (12). Çalışma belleği performansını arttırmaya yönelik çalışmalar literatürde önemli yer tutmaktadır. Transkraniyal direkt akım stimülasyonunun (tDCS) çalışma belleğini artırabildiğini gösteren giderek artan sayıda araştırma vardır. Ayrıca transkraniyal alternatif akım stimülasyonunun (tACS) duyuşsal, algısal ve bilişsel süreçleri etkileyebildiğini göstermiştir (13). Bununla birlikte gama bantı aktivitesi (>40 Hz) ile sağlıklı popülasyonlarda daha yüksek çalışma belleği yüklerindeki performans arasındaki pozitif ilişki gibi çalışma belleğinin bazı yönleri için belirli frekans bantlarının özellikle ilgili olduğuna dair kanıtlar da vardır (14). Genel olarak, mevcut çalışmadan elde edilen bulgular, gama-tACS'nin daha yüksek yüklerde çalışma belleği performansını tercihen iyileştirdiğine kanıtlar sağlamaktadır (15). Sağlıklı bireylerin sol DLPFC'si yüksek frekanslı TMS protokolü ile uyarıldığında sözel rakam aralığını ve görsel-uzaysal çalışma belleği performansını arttırdığı bulunmuştur (16). Bilişsel eğitim bireyselleştirilmiş öğrenme, bilişsel gerilemenin önlenmesi ve rehabilitasyon potansiyeli sunar. Bilişsel eğitim ve nöromodülasyonun nöroplastisiteyi etkilediği göz önüne alındığında, bunların kombinasyonu daha büyük sinerjistik etkileri olacağı aşikârdır. tDCS'i bilişsel eğitimle birleştirmenin, tek başına eğitime kıyasla bilişsel performansı daha da artırıp arttırmayacağını ve kısa sürede aktarımı teşvik edip edemeyeceği araştırılmıştır. Sağlıklı yetişkinlere, 30 dakikalık iki matematik eğitimi oturumu sırasında DLPFC'leri üzerinden gerçek veya sahte tDCS uygulanmıştır. Ger-



çek tDCS alanlar oyunda sahte gruba göre önemli ölçüde daha iyi performans göstermiş ve ilgili ancak sayısal olmayan bir bilişsel alan olan çalışma belleğine transfer etkileri göstermiştir. Üstelik eğitim kazanımları daha düşük temel bilişsel yeteneklere sahip olanlar arasında daha belirgin bulunmuştur. Bu da nöromodülasyonun olası bilişsel eşitsizlikleri azaltma potansiyelini ortaya koymaktadır (17). Bu noktada konumuzun tamamen içerisinde olmasa da nöromodülasyonun özel öğrenme güçlükleri, dikkat eksikliği vb. gelişimsel bozuklukların eğitimlerine olası katkıları ve bu insanların performanslarını değişik açılardan normale yaklaşan bir eğitim yörüngesine oturtabilme olasılıklarına da bir parantez açmak gerekir. Aritmetik zorluklar, nüfusun yaklaşık yüzde 5-7'sini etkileyen bir öğrenme bozukluğu olan gelişimsel diskalkulinin karakteristik bir özelliğidir. Bu nedenle bilişsel öğrenme ve işlemedeki azalmayı hafifletebilecek ve hatta geliştirebilecek teknikler hem eğitimsel hem de terapötik amaçlar için oldukça önemlidir. Bilateral DLPFC'nin uyarımının zihinsel aritmetikte algoritmik manipülasyon ve gerçek hatırlama gibi üst düzey bilişsel işlevlere ilişkin öğrenmeyi geliştirebileceğini göstermektedir. Bu öğrenme

hesaplama aritmetiğinde olduğu gibi derin düzeydeki bilişsel işleme dayandığında bu tür gelişmeler hem davranışsal hem de fizyolojik açıdan son derece uzun ömürlüdür (5). Cancer ve ark. tDCS'in, genç bireylere uygulandığında okuma güçlükleri için umut verici bir çözüm aracı olduğunu ve nöroplastisite yoluyla belirli okuma alt süreçlerini devreye sokmak için okumayı iyileştirmeye yönelik belirli yaklaşımları nöromodülasyon teknikleri birleştirerek okuma performansı kazanımları en üst düzeye çıkarılabileceğini vurgulamışlardır (18). Nissim ve ark. yaptığı çalışmada aktif tACS'nin sağlıklı bireylerde çalışma belleği performansını arttırdığını göstermektedir (19). Ruf ve ark. yaptığı çalışmada mekânsal ve sözel çalışma belleği eğitimi sırasında uygulanma anodal tDCS'nin; öğrenmeyi ve eğitim kazanımlarının sürdürülebilirliğini arttırdığı ve eğitimsiz bir göreve transfer etkilerini kolaylaştırdığı bulunmuştur (20). Dikkat Eksikliği/Hiperaktivite Bozukluğu (DEHB), dünya çapında tahmini yaygınlığı okul çağındaki çocuklarda yüzde 5,2 ve yetişkinlerde yüzde 2,5 olan nörogelişimsel bir durumdur. Ev temelli tDCS cihazıyla yapılan 4 hafta boyunca süren tedavi, ilaç kullanmayan DEHB'li yetişkin hastalarda dikkati arttırdığı, tDCS'nin güvenli

ve iyi tolere edilmesi, DEHB hastalarında dikkat eksikliğine yönelik alternatif bir tedavi olma potansiyelini olduğu ifade edilmiştir (21).

“Zekâ” bir dizi yaşam sonucuyla ilişkilendirilen geniş ve karmaşık bir bilişsel kavramı ifade eder ve bu nedenle çekiçi bir hedefdir. Birkaç çalışma NIBS’yi bilişsel eğitimle birleştirmiş ve tDCS ve tRNS uygulandıktan sonra tACS’ye kıyasla akıcı zekâda bir iyileşme gözlemiştir. Prefrontal korteks üzerinden 40 Hz tACS’nin uygulanması, özellikle akıcı zekâ görevlerini çözerken daha zor ögelerde yanıt gecikmesinin kılmasına sebep olmuştur. *Yaratıcılık, “(faydalı) bir şey yaratmak için hayal gücünün kullanılması veya orijinal fikirlerin üretilmesi”* olarak tanımlanabilir. tDCS uygulaması ile kendine odaklı dikkati ve zihin sapmasını yani yaratıcı düşünmeyi değerlendiren görevlerle ölçülen yaratıcılığı modüle edildiği bulunmuştur (6). Sağlıklı kişilerde ‘nöro güçlendirme’ terimi, insan performansını, ‘fizyolojik olarak normal’ kabul edilenin ötesinde, kişinin normal performansının üzerine çıkartmayı amaçlayan çeşitli müdahaleler ve teknolojiler olarak kavramsallaştırılabilir. Bugün geldiğimiz noktada beyin fonksiyonlarını değiştirme konusundaki umut verici biçimde artan yeteneğimiz, yani nörobilişsel gelişme olasılığı, beraberinde bu uğurda neyin güvenli, adil ve ahlaki açıdan kabul edilebilir olduğu konusunda birçok konuyu da gündeme getirmektedir (22).

Tedavi amacıyla kullanıldığında çeşitli olumlu sonuçlar doğuran bu uygulamaların, amaçlı biçimde eğitimsel ve öğrenmeye dayalı sonuçları daha iyi hâle getirmek için kullanıldığında da olumlu sonuçlar doğurması olasılık dahilindedir. Ancak bu türden müdahalelerin etik açıdan doğuracağı sonuçların da özenle tartışılması gerekmektedir. Sonuç olarak insan öğrenmesinin en önemli boyutlarından olan nörolojik boyutun, nöromodülatif müdahalelerle etkilenebilir olduğu açıktır. Özellikle akademik başarının, standart başarı testlerinin merkezileştiği; bu testlerin sonuçlarına bağlı olarak belirlenen kariyer yöneliminin güçlü şekilde takip edildiği; rekabetin şiddetli olduğu, milyonlarca öğrencinin okul ve okul dışı eğitim olanaklarına milyonlarca lira para harcadığı ülkelerde bahse konu olan etkinin önemsenmesi gerektiği

açıktır. Ek olarak piyasa ortamında nöromodülatif faydalar için pazarlanan alternatif nöromodülasyon cihazlarının olduğu, bunların giderek yaygınlaştığı da açık olduğu görülmektedir. Ancak etik anlamda bu ürünlerin olası sonuçlarının henüz tartışma konusu hâline bile gelmediği belirtilmelidir. Kullanmanın eğitimde eşitlik ilkesi açısından sorun oluşturup oluşturmayacağı; olası olumlu etkilerinin “doğal öğrenmeye” bağlı sayılıp sayılmayacağı, başka bir ifade ile “akademik doping” olarak nitelenip nitelenmeyeceği gibi hususlar da son derece kritik tartışma başlıkları olarak değerlendirilebilir. Bu hususlar nöromodülatif uygulamaların eğitimsel anlamda sorgulanmasının gerekli olduğu sonucunu doğurmaktadır. Konu önümüzdedir. Hemen her merhalesinde yarışma sınavları içeren eğitim/sınav sistemimize olası etkilerinden başlayarak ortaya çıkacak pek çok etik ve yasal sorunu ve tabii ki önümüze serilen fırsatları gözden geçirmeli, sorularımızı belirlemeli ve ülkemize özgü çözüm yaklaşımlarımızı acilen üretmeliyiz.

#### Kaynaklar

- 1) Dinçer, M. (2003), *Eğitimin Toplumsal Değişme Sürecindeki Gücü*, Ege Eğitim Dergisi, Cilt: 3 (1) s. 102-112.
- 2) Hesapçioğlu, M. (2008), *Öğretim İlke ve Yöntemleri*, Beta Yayınları, İstanbul.
- 3) Sülün, A. ve Çapanoğlu, F. (2022), *Fen Bilgisi Öğretmenlerinin Nörofizyolojik Öğrenme Algı Düzeylerinin İncelenmesi*, Anadolu Öğretmen Dergisi, Cilt: 6(1), 58-87.
- 4) Korkmaz, Ö. ve Mahiroğlu, A. (2007), *Beyin, Bellek ve Öğrenme*, Kastamonu Eğitim Dergisi, Cilt: 15(1) 93-104.
- 5) Snowball, A., Tachtsidis, I., Popescu, T., Thompson, J., Delazer, M., Zamarian, L., ... & Kadosh, R.C. (2013). *Long-Term Enhancement Of Brain Function And Cognition Using Cognitive Training And Brain Stimulation*. *Current Biology*, Cilt:23(11), 987-992.
- 6) Antal, A., Luber, B., Brem, A.K., Bikson, M., Brunoni, A.R., Cohen Kadosh, R., Dujic, V., Fecteau, S., Ferreri, F., Flöel, A., Hallett, M., Hamilton, R.H., Herrmann, C.S., Lavidor, M., Loo, C., Lustenberger, C., Machado, S., Miniussi, C., Moliadze, V., Nitsche, M.A., Rossi, S., Rossini, P.M., Santarnecchi, E., Seeck, M., Thut, G., Turi, Z., Ugawa, Y., Venkatasubramanian, G., Wenderoth, N., Wexler, A., Ziemann, U., Paulus, W. *Non-invasive brain stimulation and neuroenhancement*. *Clin Neurophysiol Pract*. 2022 May 25:7:146-165.
- 7) Antal, A., Alekseiçuk, I., Bikson, M., Brockmüller, J., Brunoni, A. R., Chen, R., ... & Paulus, W., (2017). *Low Intensity Transcranial Electric Stimulation: Safety, Ethical, Legal Regulatory and Application Guidelines*. *Clinical Neurophysiology*, 128(9), 1774-1809.
- 8) Ruşen, E., Hanoğlu, L. (2017), *Yeni Bir Ahlakî Tartışma: Beyinde Doping, SD (Sağlık Düşüncesi ve Tıp Kültürü) Dergisi*, sayı:43, s. 32-37.

9) Likhtik, E. and Johansen, J.P. (2019). *Neuromodulation in Circuits of Aversive Emotional Learning*. *Nature Neuroscience*, Cilt: 22, s. 1586-1597.

10) Kozırev, V., Staađ, R., Eysel, U.T. and Jancke, D. (2018). *TMS-Induced Neuronal Plasticity Enables Targeted Remodeling Of Visual Cortical Maps*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

11) Baddeley, A.D. (2017). *Working Memory: Theories, Models, and Controversies, Exploring Working Memory*, s.332-369.

12) Bennabi, D., Pedron, S., Haffen, E., Monnin, J., Peterschmitt, Y., Van Waes, V. (2014). *Transcranial Direct Current Stimulation For Memory Enhancement: From Clinical Research To Animal Models*, *Front Syst Neurosci*, 4:8:159.

13) Herrmann, C.S., Rach, S., Neuling, T., & Strüber, D. (2013). *Transcranial Alternating Current Stimulation: A Review of The Underlying Mechanisms and Modulation of Cognitive Processes*. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 279.

14) Basar-Eroglu, C., Brand, A., Hildebrandt, H., Kedzior, K.K., Mathes, B. & Schmiedt, C. (2007). *Working Memory Related Gamma Oscillations in Schizophrenia Patients*. *International journal of psychophysiology*, 64(1), 39-45.

15) Hoy, K. E., Bailey, N., Arnold, S., Windsor, K., John, J., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2015). *The effect of  $\gamma$ -TACS on working memory performance in healthy controls*, *Brain and Cognition*, 101, 51-56.

16) Bagherzadeh, Y., Khorrami, A., Zarrindast, M.R., Shariat, S.V. & Pantazis, D. (2016), *Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation of The Dorsolateral Prefrontal Cortex Enhances Working Memory*, *Experimental Brain Research*, 234(7), 1807-1818.

17) Looi, C.Y., Duta, M., Brem, A.K., Huber, S., Nuerk, H.C.&Cohen Kadosh, R. (2016). *Combining Brain Stimulation And Video Game To Promote Long-Term Transfer of Learning and Cognitive Enhancement*, *Scientific Reports*, 6, 22003.

18) Cancer, A., & Antonietti A. (2018), *tDCS Modulatory Effect On Reading Processes: A Review of Studies a On Typical Readers and Individuals With Dyslexia*, *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12, 162.

19) Nissim, N.R., McAfee, D.C., Edwards, S., Prato, A., Lin, J.X., Lu, Z., ... & Hamilton, R.H. (2023). *Efficacy of Transcranial Alternating Current Stimulation in The Enhancement of Working Memory Performance in Healthy Adults: A Systematic Meta-Analysis*. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, 26(4), s. 728-737.

20) Ruf, S. P., Fallgatter A. J., & Plewnia C. (2017), *Augmentation of working memory training by transcranial direct current stimulation (tDCS)*. *Scientific Reports*, 7(1), s.876.

21) Leffa, D.T., Grevet, E. H., Bau, C. H. D., Schneider, M., Ferrazza, C. P., da Silva, R. F., Miranda, M. S., Picon, F., Teche, S. P., Sanche, P., Pereira, D., Rubia, K., Brunoni, A. R., Camprodon, J. A., Caumo, W., & Rohde L. A. (2022), *Transcranial Direct Current Stimulation vs Sham for the Treatment of Inattention in Adults With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: The TUNED Randomized Clinical Trial*. *JAMA Psychiatry*, 79(9), 847-856.

22) Farah, M.J., Illes J., Cook-Deegan, R., Gardner, H., Kandel, E., King, P., Parens, E., Sahakian, B., & Wolpe, P. R. (2004), *Neurocognitive Enhancement: What Can We Do and What Should We Do?*, *Nature Reviews. Neuroscience*, 5(5), 421-425.