

Derleme

Nöromodülasyon Kavramı ve İnme Sonrası Afazi Müdahalesindeki Güncel Rolü

Hazel Zeynep Kurada¹

¹Dr. Öğt. Üyesi, Ankara Medipol Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü, ORCID No: 0000-0003-1096-1086, hazel.kurada@ankamedipol.edu.tr

Sorumlu Yazarın Adresi:

Ankara Medipol Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü, Hacı Bayram Mahallesi, Talatpaşa Bulvarı No: 4, 06050 Altındağ/Ankara

Bu makaleyi kaynak göstermek için/To cite this article:

Kurada, H. Z. (2024). Nöromodülasyon Kavramı ve İnme Sonrası Afazi Müdahalesindeki Güncel Rolü, *Dil, Konuşma ve Yutma Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 226-256.

Gönderim Tarihi:

09.05.2024

Kabul Tarihi:

20.08.2024

DOI:

<https://doi.org/10.58563/dkyad-2024.72.5>

ÖZET

Amaç: Afazi, beyinin sol hemisferindeki dil alanlarının hasar görmesiyle ortaya çıkar. Bu durum, iletişim yeteneklerinin derinden etkilenmesine yol açmaktadır. Altın standart olarak kabul edilen dil ve konuşma terapisi, afazi rehabilitasyonunda ve iletişim becerilerinin yeniden kazandırılmasında kritik öneme sahiptir. Geleneksel terapi yaklaşımının yanı sıra, son yıllarda giderek yaygınlaşan Transkraniyal Manyetik Uyarım ve Transkraniyal Doğru Akım Uyarımı gibi girişimsel olmayan beyin uyarımı yöntemlerinin de özellikle inme sonrası afazi yönetiminde etkili olduğu öne sürülmektedir. Bu derleme yazısında inme sonrası afazi rehabilitasyonunda kullanılan beyin uyarımı uygulamaları ve çeşitli uyarım protokolleri incelenerek, klinik pratikte bu tür alternatif uygulamalara yönelik farkındalığı artırmak, afazide nöromodülasyon uygulamalarına ilişkin alanyazın yönelim ve bulgularını ortaya koyarak kuramsal ya da deneysel çalışmaları teşvik etmek ve bu konuda çalışma yapmayı düşünenler için genel bir çerçeve oluşturmak amaçlanmıştır.

Yöntem: Literatür taraması, “TMS”, “tDCS”, “aphasia”, “post-stroke aphasia” ve “non-fluent chronic aphasia” gibi arama terimleri ile PubMed ve Google Scholar gibi veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arama sonuçları, çalışmaların yıllık bazda sınıflandırılması ve konuya özgü içeriklerin incelenmesiyle derlenmiştir.

Bulgular: Derlemeden ortaya çıkan sonuçlar, nöromodülatör araçların inme sonrası afazi rehabilitasyonunda özellikle standart dil ve konuşma terapisi ile kombine edildiğinde iyileşme sürecini hızlandırdığını, akıcılık, adlandırma ve tekrarlama gibi dil becerilerini desteklediğini göstermektedir.

Sonuç: Beyin uyarım yöntemlerinin inme sonrası afazi yönetimindeki etkililiği, güvenilirliği, uzun dönem etkileri için gereken optimal stimülasyon parametreleri ve ayrıca terapötik etkilerinin altında yatan mekanizmaları aydınlatmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulsa da bu teknikler afazi rehabilitasyonunda hem iletişim becerilerini hem de yaşam kalitesini artırmak adına değerli bir araç haline gelmiş görünmektedir.

Anahtar Sözcükler: afazi, inme sonrası afazi, nöromodülasyon, transkraniyal manyetik uyarım, transkraniyal doğru akım uyarımı



The Current Role of Neuromodulation in the Intervention of Post-Stroke Aphasia

ABSTRACT

Purpose: Aphasia is a complex language disorder that occurs when the language centers of the brain are damaged. It involves difficulties in speaking, understanding, and repeating language. Aphasia primarily impacts the language regions in the left hemisphere of the brain, causing significant disruptions in communication skills and creating significant challenges for persons in their daily activities and overall well-being. Speech and language therapy is widely acknowledged as the foundation of aphasia rehabilitation. It plays a crucial role in helping individuals regain their communication abilities and accelerating their path to recovery. Recently, non-invasive brain stimulation approaches have become a promising addition to standard therapy for managing aphasia. Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) and Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) are methods that have gained attention for their potential effectiveness, especially in treating post-stroke aphasia. These therapies work by adjusting neural activity in specific areas of the brain that are involved in language processing. This helps improve language recovery and enhance communication results. This comprehensive review aims to investigate the applications and protocols of brain stimulation used in the rehabilitation of post-stroke aphasia. The main goal is to increase knowledge of different therapeutic options in clinical settings by carefully analyzing the existing state of neurostimulation practices. Furthermore, this review aims to stimulate additional theoretical or experimental research by highlighting current patterns and important discoveries in the literature on aphasia neurostimulation.

Method: A literature review was conducted using databases such as PubMed and Google Scholar with search terms like “TMS,” “tDCS,” “aphasia,” “post-stroke aphasia,” and “non-fluent chronic aphasia” to identify current and relevant studies in this field. The search results were compiled by categorizing the studies annually and reviewing content specific to the topic.

Results: The review findings suggest that neuromodulatory tools, particularly when combined with standard speech and language therapy, accelerate the recovery process in post-stroke aphasia rehabilitation and support language skills such as fluency, naming, and repetition. These integrative therapies have shown promise in strengthening basic language abilities. Despite the positive progress, there are still many important questions that are uncertain. Further empirical research is needed to determine the effectiveness, dependability, and best stimulation parameters required to produce long-lasting therapeutic benefits. Moreover, a thorough understanding of the neurobiological foundations is essential for improving these interventions and maximizing their effectiveness in managing post-stroke aphasia. The review findings provide information on current practices and encourage further research in aphasia management. It highlights the potential of neurostimulation techniques to become a crucial part of aphasia rehabilitation strategies.

Conclusion: Though more research is needed to fully understand how these therapeutic effects work, how safe they are, the best stimulation parameters for long-term effects, and how they work, brain stimulation techniques seem to be useful for rehabilitating people with aphasia, improving both their communication skills and quality of life.

Keywords: aphasia, post-stroke aphasia, neuromodulation, transcranial magnetic stimulation, transcranial direct current stimulation

Giriş

Dünya genelinde inme geçiren her üç bireyden biri, beyin sol hemisferinde yer alan dil alanlarının hasar görmesiyle iletişim becerilerini derinden etkileyen bir dil bozukluğu yaşamaktadır (Dickey ve ark., 2010; Pedersen ve ark., 2004). Afazi olarak adlandırılan bu edinilmiş dil bozukluğu beyindeki kortikal, subkortikal yapılar ve bunlar arasındaki bağlantıları sağlayan beyaz madde yolaklarının oluşturduğu nöral ağların hasarından kaynaklanmaktadır. Bu hasar dilin üretiminde, konuşulanların anlaşılmasında ve tekrarlama güçlüğüne neden olmaktadır (Ardila, 2010; Dronkers ve ark., 2017; Kemmerer, 2022). Serebral korteksin farklı alanlarında –özellikle beyin konuşma ile ilgili alanları olarak bilinen posterior temporoparietal bölgedeki Wernicke alanı ile anterior bölgedeki Broca alanında– büyük fizyolojik değişimlere neden olan her tür lezyon afaziye neden olabilmektedir. Afazinin tipi ve şiddeti, sadece beyindeki hasarın konumu ve büyüklüğüyle değil, aynı zamanda lezyonun beyindeki diğer bağlantı alanları üzerindeki etkisiyle de belirlenmektedir (Wilson ve ark., 2023). Wilson ve arkadaşları (2023) lezyonun konumu ve büyüklüğünün afazi tipi ve şiddeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma, beyin farklı bölgelerindeki lezyonların afazi üzerindeki etkilerini inceleyerek belirli dil işlevlerinin iyileşme oranları ve genel dil fonksiyonlarıyla olan ilişkisini açıklamaktadır. Afazinin dinamik, çok boyutlu ve dereceli bir yapıya sahip olduğunu ve iyileşmenin lezyonun büyüklüğü ve konumuna bağlı olduğunu kapsamlı bir örneklem çerçevesinde ortaya koymaktadır.

Afazi, okuma, yazma, anlama, konuşma gibi çeşitli dil becerilerinde bozulmanın yanı sıra kısa süreli bellek, dikkat gibi işlevlerde bozulma ile de karakterizedir (McNeil & Pratt, 2001). Bununla beraber, hemen hemen tüm afazi tiplerinde en tipik olarak, adlandırma sorunları ortaya çıkmaktadır (Kohn & Goodglass, 1985). Nörojenik kaynaklı olan bu edinilmiş dil bozukluğu, hastaların iletişim becerilerini olduğu kadar, işlevselliğini, ruh halini ve yaşam kalitesini de doğrudan etkilemekte, bireyin sosyal yaşama dahil olma ve sosyal yaşam becerilerini sürdürme yeteneklerini de önemli

ölçüde kısıtlamaktadır (Oğuz & Toğram, 2020). Bu açıdan, afazi rehabilitasyonu bireyin sosyal yaşama katılımı için gereken iletişim becerilerinin yeniden kazandırılması açısından oldukça önemlidir.

Afazili bireylerde bozulan dil becerilerinin iyileşmesinin beyin fonksiyonlarının yeniden düzenlenmesine (İng. *reorganisation*) bağlı olduğu bilinmektedir (Abel ve ark., 2015; Sarasso ve ark., 2010; Saur, 2006). Afazinin iyileşme sürecinde genellikle akut dönemde (2-3 aydan 6 aya kadar) dilsel sorunların kısmen kendiliğinden iyileşmesi söz konusudur (Hamilton ve ark., 2011; Laska ve ark., 2011). Bu spontane iyileşme süreci beyin plastisitesi ve telafi mekanizmalarının işleyişiyle ilişkilendirilmektedir (Musso ve ark., 1999). Akut dönemde gözlenen bu spontane iyileşmeden altı aydan sonra mevcut semptomlar kronikleşmekte ve mevcut sorunların dil ve konuşma terapisi (DKT) ile desteklenmesi gerekmektedir (Hartman, 1981; Lomas ve Kertesz, 1971; Sarno & Levita, 1981). DKT ile afazili bireylerin adlandırma, tekrarlama, tümce oluşturma, işitsel anlama gibi çeşitli dil becerilerine yönelik aktiviteler ile dil ve konuşma becerilerinin desteklenmesi, kaybolmuş veya azalmış becerilerin yeniden kazandırılması hedeflenmektedir. Bu hedefler doğrultusunda, yöntembilimsel açıdan bilişsel, işlevsel, sözcük üretimi odaklı, bilgisayar destekli olmak üzere çeşitli DKT yaklaşımları bulunmaktadır (Kunst ve ark., 2013). Tüm bu yaklaşımlarda temel hedef afazili bireylerin bozulan dil ve konuşma becerilerini yeniden geliştirmektir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, afazi rehabilitasyonunda geleneksel DKT altın standart olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu sürecin uzun soluklu olması ve bireyler için ciddi bir mali yük oluşturması nedeniyle, geleneksel dil terapisini destekleyen ve terapi sürecini daha kısa sürede sonuçlandırmayı amaçlayan alternatif müdahale yöntemleri uzun zamandır araştırılmaktadır.

Özellikle son 10 yılda uluslararası literatürde giderek hız kazanan araştırmalar inme sonrası afazili bireylerde invaziv olmayan beyin uyarımı veya stimülasyonu müdahalelerinin iyileşme sürecini hızlandırdığını ve özellikle geleneksel DKT ile birleştirilmiş nöromodülasyon

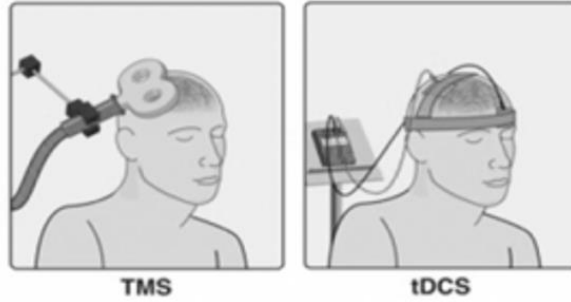
uygulamalarının iyileşme sürecinde hayli etkili olduğunu göstermektedir. Bu derleme yazısında, inme sonrası afazi rehabilitasyonunda kullanılan beyin uyarımı uygulamaları ve çeşitli uyarım protokolleri incelenmiştir. Yazının amacı klinik pratikte bu tür alternatif uygulamalara yönelik farkındalığı artırmaktır. Ayrıca, afazide nöromodülasyon uygulamalarına ilişkin alanyazın yönelim ve bulgularını ortaya koyarak, kuramsal ya da deneysel çalışmaları teşvik etmek ve bu konuda çalışma yapmayı planlayan araştırmacılar ve klinisyenler için genel bir çerçeve oluşturmaktır.

2. İnvaziv Olmayan Beyin Uyarımı Teknikleri

İnvaziv Olmayan Beyin Uyarımı Teknikleri'nin (İng. *Non-Invasive Brain Stimulation Techniques*; NIBS) çeşitli nörolojik ve nöropsikiyatrik sorunların yönetimi ve tedavisindeki rolü sıklıkla araştırılmış ve bu tekniklerin nöroplastik değişiklikleri kolaylaştırdığı ve uyarım veya stimülasyon süresinin ötesine geçen kümülatif etkiler sağladığı pek çok araştırma ile ortaya konmuştur (Bolognini ve ark., 2009; Pascual-Leone ve ark., 1994; Rossi ve ark., 2009). Nöromodülasyon halihazırda çeşitli nörolojik durumların tedavisinde klinik ortamlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlar arasında Parkinson hastalığının tedavisi (Odekerken ve ark., 2016), esansiyel tremor (Baizabal-Carvallo ve ark., 2014), kronik ağrı (Boccard ve ark., 2014) ve epilepsi (Fisher ve ark., 2010) sayılabilmektedir. Ayrıca, nöromodülasyon ilaç direnci gösteren depresyon (Fitzgerald ve ark., 2013) ve obsesif-kompulsif bozukluğun (Greenberg ve ark., 2010) tedavisinde de geçerli bir seçenek olarak uygulanmaktadır. Deneysel alanlarda ise elektriksel beyin uyarımının terapötik etkileri, otizm spektrum bozukluğu (Enticott ve ark., 2014), şizofreni (Fitzgerald ve ark., 2008) ve bağımlılık (Amiaz ve ark., 2009) gibi nöropsikiyatrik bozuklukların tedavisi için halen araştırılmaktadır. Dahası, nöral işitme kaybı ve görme kaybı gibi duyuşsal sorunların giderilmesini hedefleyen araştırmaların yürütüldüğü görülmektedir (Wurzer & Hauptmann, 2018; Navarro ve ark., 2024). Beyin uyarımı veya nöromodülasyon için kullanılan teknikler, klinik bağlam, belirli beyin bölgesinin lokalizasyonu ve istenilen terapötik sonuçlar gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Nöromodülasyon teknolojilerindeki hızlı ilerleme ve çeşitlenen uygulamalar dikkate alındığında, alanın kökenlerinin ve mevcut uygulamaların kapsamlı bir şekilde sürekli gözden geçirilmesi gerekmektedir (Wong & Wong, 2017).

Beyin fonksiyonlarının sağaltım amacıyla modüle edilmesi fikri 19. yüzyılın başlarına denk gelse de son 30 yılda beyin uyarımı yoluyla nörolojik ve nöropsikiyatrik bozuklukların farmakolojik tedavisine alternatif olan sağaltım uygulamaları epey hız kazanmış görünmektedir (George & Belmaker, 2007). İnvaziv olmayan beyin stimülasyonu tekniklerinden en yaygın olanları Transkraniyal Manyetik Stimülasyon (İng. *Transcranial Magnetic Stimulation*; TMS) ve Transkraniyal Doğru Akım Uyarımı'dır (ing. *Transcranial Direct Current Stimulation*; tDCS). TMS basitçe kafatası üzerinde oluşturulan manyetik alan ile korteksi uyarma işlemi olarak tanımlanırken (Pascual-Leone ve ark., 2002) (bkz. **Şekil 1** sol.), tDCS kafa derisi üzerine yerleştirilen elektrotlar ile beyni sabit ve daha küçük akımlarla uyarma işlemidir (Wassermann ve ark., 2008; Nitsche & Paulus, 2000) (bkz. **Şekil 1** sağ.).



Şekil 1: *Transkraniyal Manyetik Stimülasyon* (sol) ve *Transkraniyal Doğru Akım Uyarımı* (sağ)

Kaynak: <https://thebrainstimulator.net/brain-stimulation-comparison/>

Her iki teknik de beyinde inhibisyon ya da eksitasyon oluşturmak amaçlı kullanılabilir. Temelde her iki teknik, sinaptik plastisiteyi teşvik ederek kortikal uyarılabilirlikte uzun süreli değişikliklere neden olmakta ve bu açıdan terapötik amaçlı kullanılabilir. Benzer şekilde, derin beyin stimülasyonu da (DBS) elektrotlar aracılığıyla beyne elektriksel uyarılar göndererek nöronal aktiviteyi düzenlemekte ve Parkinson hastalığı, obsesif kompulsif bozukluk ve majör

depresyon gibi durumların tedavisinde sıklıkla kullanılmaktadır (Fitzgerald ve ark., 2013; Greenberg ve ark., 2010; Odekerken ve ark., 2016). Özetle, nöromodülasyon teknikleri, sinir sisteminin karmaşık işleyişini anlamak ve nörolojik ya da psikiyatrik birçok hastalığın tedavisinde etkili müdahaleler sağlamak için günümüzde önemli bir araç haline gelmiştir. Bu teknikler, beyin aktivitesini düzenlemek veya sinir iletimini değiştirmek suretiyle nöroplastisiteyi teşvik ederek beyin fonksiyonlarını etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, bu tekniklerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, bireylere daha etkili tedavi seçenekleri sunmanın yanı sıra nörobilim, sinirdilbilim gibi multidisipliner pek çok araştırma alanının gelişimine de katkıda bulunmaktadır.

2.1. Transkraniyal Manyetik Stimülasyon

Bilindiği üzere TMS cihazı, ilk kez kortikal aktiviteyi tetiklemek üzere Barker ve arkadaşları tarafından 1985 yılında geliştirilmiştir (Barker ve ark., 1985). TMS, insan beynini uyaraabilen invaziv olmayan bir nörofizyolojik tekniktir. Son 30 yıldır, bu yöntem çeşitli sinirbilimsel araştırmalarda kullanılmaktadır. Beyin aktivitesi ve davranış arasındaki nedensel ilişkilerin değerlendirilmesinde, intrakortikal, kortiko-kortikal ve kortiko-subkortikal etkileşimlerin incelenmesinde ve terapötik amaçlarla uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra, TMS, çeşitli nörolojik ve psikiyatrik bozuklukların semptom ve patofizyolojisinin nörofizyolojik temellerini araştırmada da kullanılmaktadır (Siebner ve ark., 2009; Walsh & Covey, 2000). Tekrarlı TMS (İng. *repetitive TMS*; rTMS) ise tek bir kortikal bölge üzerinde aynı yoğunlukta verilen TMS atımlarını ifade etmektedir (Chen, 2000). Belirli bir kortikal bölgenin belirli bir işlevle ilişkisi, ilgili görev sırasında rTMS uygulaması ile belirlenebilmektedir (Hartwigsen, 2015; Pascual-Leone, 2000). Uyarımın frekansına bağlı olarak (1 Hz. veya 5 Hz. ve üstü) belirlenen kortikal alanlarda geçici inhibisyon ya da fasilitasyon oluşturulabilmektedir (Rossini & Rossi, 2007). rTMS, beyin aktivitesini, uygulama süresinin ötesinde modüle edebilme kapasitesine sahiptir ve majör depresyon, kronik ağrı ve epilepsi gibi bir dizi nöropsikiyatrik koşulda rTMS'nin terapötik etkileri olduğu bilinmektedir (Rossi ve ark., 2009).

Birçok rTMS protokolü, süreç-içi (İng. *online*) veya süreç-dışı (İng. *offline*) olarak iki şekilde uygulanabilmektedir (Hamada ve ark., 2013). rTMS'nin saniye başına düşen uyarım (İng. *pulse*) sıklığı genellikle 1 Hz. (saniyede 1 uyarım) ile 50 Hz (saniyede 50 uyarım) arasında değişmektedir (Huang & Rothwell, 2004). 20 ya da 50 Hz. paradigmalarda ise aralarında duraklar bulunan daha kısa ve yüksek frekanslı (İng. *patterned fashion*) uyarımları içermektedir (Huang & Rothwell, 2004). rTMS uygulaması tek atımlı ve çift atımlı paradigmalardan yalnızca uyarımın sıklığı açısından değil, kortekse etkisi açısından da farklılaşmaktadır (Chen, 2000). Genellikle stimülasyon süresini aşmayan bir etki yarattığı düşünülen tek (İng. *single pulse*) veya çift (İng. *paired pulse*) uyarımların aksine, rTMS, stimülasyon periyodunu aşan, uzun süreli, fasilitatif ya da inhibitör etkiye sahiptir (Chen, 2000). Sinirbilim araştırmalarında rTMS sıklıkla beyinde “sanal lezyonlar” yaratmak, belirli bir bölgenin işlevsel rolünü belirleyebilmek üzere işleyişini geçici olarak bastırmak amacıyla kullanılmaktadır (Pascual-Leone ve ark., 1999, 2000; Hallett, 2007). Benzer şekilde Teta burst stimülasyonu (İng. *Theta burst stimulation*), beyne kısa süreli ve yüksek frekanslı stimülasyon paternlerinin uygulanmasını içeren bir nöromodülasyon tekniğidir (Di Lazzaro ve ark., 2005, Huang ve ark., 2005). Bu protokol 50 Hz. frekansında verilen ve daha düşük bir frekansta -5 Hz. civarında veya teta frekans aralığında- tekrarlanan, kısa darbelerden oluşan uyarım dizilerinden (İng. *trains*) oluşmaktadır. Bu stimülasyon modelinin, geleneksel rTMS protokollerinden farklı bir şekilde kortikal uyarılabilirlik ve sinaptik plastisitede değişikliklere neden olduğu gösterilmiştir (Lefaucheur ve ark., 2014). Bu teknik geleneksel rTMS protokollerine kıyasla daha kısa bir zaman diliminde kortikal plastisiteyi indükleyebilmesi nedeniyle son yıllarda giderek yaygınlaşmakta, çeşitli nörolojik ve psikiyatrik durumlarda klinik ortamlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Huang & Rothwell, 2004). Sonuç olarak, TMS araştırmaları, beyin fonksiyonlarını daha iyi anlamamızda ve nörolojik ve psikiyatrik bozukluklar için yenilikçi tedavi yaklaşımları geliştirmemizde önemli bir rol oynamaktadır. Nöral aktiviteyi yüksek hassasiyet ve zamansal çözünürlükle modüle etmek için girişimsel olmayan bir

seçenek olan TMS, beyin temelli pek çok bozukluğun altında yatan mekanizmaları araştırmak ve potansiyel terapötik müdahaleler geliştirmek için kuşkusuz yeni yollar açmıştır. Dahası, TMS araştırmaları sadece beyin devreleri ve plastisite anlayışımızı geliştirmede değil, aynı zamanda bireylerin gereksinimlerine göre uyarlanmış ve kişiselleştirilmiş sağaltım stratejilerini belirlemede de umut vaat edici görünmektedir. TMS'nin farklı nörogörüntüleme ve nöromodülasyon teknikleriyle kombine kullanımı gelişmeye devam ettiği sürece, klinik uygulamalar ve ilgili bilim alanlarına çok önemli katkılarda bulunacağı açıktır.

2.2. Transkraniyal Doğru Akım Uyarımı

tDCS, korteksteki nöral aktiviteyi belirgin bir şekilde modüle eden zayıf bir polarize elektrik akımı vererek beyin aktivitesini modüle eden bir tekniktir (Cerruti & Schlaug, 2009). Ayrıca invaziv olmayan, ağrısız ve TMS'ye göre daha az yan etkisi olan bir nöromodülasyon yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Cerruti & Schlaug, 2009). Genellikle kafatasına takılan ve düşük yoğunluklu bir doğru akım stimülatörüne bağlanan, tuzlu suya batırılmış yüzey sünger elektrotları aracılığıyla uygulanmaktadır (Nitsche ve ark., 2005). Nöronal aktiviteyi modüle eden iki elektrottan verilen sabit ve düşük yoğunluklu bir akım ile hedeflenen beyin bölgesi uyarılarak, beynin dış kabuğundaki bazı elektriksel aktivitelerinin canlanması ya da bazı aktivitelerin bastırılması mümkün olmaktadır (Nitsche ve ark., 2005). Alın bölgesine Anot ve Katot isminde iki elektrot yerleştirilmektedir. Alın bölgesine yerleştirilen iki elektrottan biri olan anot stimülasyonu, nöronal aktiviteyi uyarmak (eksitasyon) için kullanılmaktadır. Bir başka deyişle, beyne artı yükleme yapmakta ve aktiviteleri arttırmaktadır (Nitsche ve ark., 2005). Alın bölgesine yerleştirilen iki elektrottan diğeri olan katot stimülasyonu (inhibisyon) ise nöronal aktiviteyi azaltmaktadır. Bir başka deyişle, beyne eksi yükleme yapmakta ve nöronal aktiviteyi baskılamaktadır (Nitsche ve ark., 2005). Mikro-uyarım uygulaması olarak da bilinen tDCS, araştırma amaçlı ya da nörolojik veya nöropsikiyatrik hastalıklarda terapötik amaçlı kullanılmaktadır (Nitsche ve ark., 2001; Bikson & Edwards, 2017). TMS'nin aksine, tDCS

tarafından üretilen elektrik alanı nöronal ateşlemeye neden olamayacak kadar zayıftır ve bunun yerine nöronların dinlenme membran potansiyellerini modüle ederek nöronal ateşleme olasılığını değiştirdiği düşünülmektedir (Nitsche & Paulus, 2000). Temelde hem TMS hem de tDCS olumlu güvenlik profillerine sahip olsa da TMS özellikle nörolojik hasta popülasyonlarında nöbet indüksiyonu ile ilişkilendirilmiştir (Lerner ve ark., 2019). Bu nedenle, TMS ile karşılaştırıldığında, tDCS nispeten güvenlidir ve tDCS'nin stimülasyon sırasında hafif kaşıntı ve karıncalanma gibi çok hafif yan etkileri olduğu öne sürülmektedir. Bugüne kadar tDCS uygulamasına atfedilen ciddi veya kalıcı bir advers olay görülmemiştir ve bu da özellikle hasta popülasyonlarına uygulamada güvenilir olduğunun altını çizmektedir (Antal ve ark., 2017).

3. İnme Sonrası Afazide TMS Uygulamaları

Transkraniyal manyetik uyarımın adaptif nöroplastisiteyi tetikleyebileceği mekanizmalar kısmen hasar görmüş veya serebral lezyon nedeniyle tamamen işlev kaybına uğramış kanonik ağların yeniden aktivasyonu (veya reaktivasyonu) ve/veya kontralateral homolog alandaki kortikal bölgelerde telafi edici süreçlerin tetiklenmesi şeklindedir (Kratzer ve ark., 2020). Son yıllarda özellikle rTMS uygulamaları inme sonrası akıcı olmayan afazide adlandırma dahil olmak üzere konuşma üretimine müdahale etmek konusunda umut vaat edici sonuçlar ortaya koymaktadır (Baker ve ark., 2009; Martin ve ark., 2009; Fregni ve ark., 2006; Kobayashi & Pascual-Leone, 2004; Shin ve ark., 2010). İnme sonrası afazi yönetiminde genellikle iki uygulama protokolü öne çıkmaktadır; bunlardan ilki sol hemisferdeki lezyon alanında yeniden aktivasyon yaratmak üzere yüksek frekanslı eksitatif protokol uygulamak, diğeri ise, sağ hemisferdeki kontralezyonel homolog alana baskılayıcı, inhibisyon protokolü uygulayarak lezyon alanında nöronal aktivasyonu tetiklemek şeklindedir. Bu konudaki pek çok araştırma özellikle sağ inferior frontal girusta yer alan (IFG) sağ pars triangularis üzerine, 1-Hz frekansında, inhibitör rTMS uygulamasının, akıcı olmayan afazide konuşma üretimini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir (Barwood ve ark., 2011; Baker ve ark., 2009; Martin ve ark.,

2009). Özellikle rTMs'nin inhibisyon protokolü yoluyla sağ hemisfere uygulanmasının, sol hemisfere eksitatif uygulamadan daha etkili olduğu öne sürülmektedir (Dionísio ve ark., 2018; Rossini & Rossi, 2007). Birkaç çalışmadan örnek vermek gerekirse, Barwood ve ark. (2011), inme sonrası kronik, akıcı olmayan afazili bireylerde sağ pars triangularis üzerine düşük frekanslı rTMS uygulamasının dil üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Düşük frekanslı TMS uygulaması, 1 Hz frekansta gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 20 katılımcı yer almış, uygulama süreci 10 seans olarak planlanmıştır. Her bir seansın ardından anlık dil akıcılığı ve adlandırma becerilerine ilişkin veriler toplanmıştır. Bulgular, düşük frekanslı rTMS'nin dil akıcılığı ve adlandırma becerilerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde İlkhani ve ark., (2018) serebrovasküler olay sonucu tutuk afazi tanısı alan bireylerde sağ hemisferdeki Broca alanına 10 seans boyunca 1 Hz frekansında rTMS uygulaması sonrası afazili bireylerin adlandırma becerilerinde olumlu gelişmeler gözlemiştir (İlkhani ve ark., 2018). Rubi-Fessen ve ark., (2018) ise sağ hemisferdeki IFG alanına, 10 seans boyunca 1 Hz frekansında rTMS uygulamasını geleneksel DKT ile birleştirerek, akıcı olmayan afazili katılımcıların anlama, adlandırma ve tekrarlama becerileri ile adlandırma hızlarında belirgin ve olumlu etkiler olduğunu gözlemlemişlerdir. Dolayısıyla, ilerleyen süreçte geleneksel DKT ile birleştirilecek rTMS'nin tek başına uygulanan DKT'ye göre çok daha hızlı bir ilerleme sağladığı pek çok çalışmada gösterilmiştir (Cappa & Pellegrini, 2018; Kiran ve Thompson, 2012; Holland & Fridriksson, 2012). Dahası, fonksiyonel nörogörüntüleme bulguları, rTMS ile ilgili dil becerilerinde olumlu etkilerle ilişkilendirilen beyin aktivitesinde sağ hemisferden sol hemisfere doğru bir kayma olduğunu gösteren kanıtlar sunmaktadır (Price & Friston, 2002; Müller & Behrens, 2009). Ancak adlandırmadaki gelişmelerin sağ beyin bölgelerinin, özellikle de sağ IFG üzerine yapılan inhibe edici rTMS sonrasında etkinleştirilmesiyle ilişkilendirilebileceği gösterilmektedir (Rubi-Fessen ve ark., 2018). Szaflarski ve ark., (2018) inme sonrası kronik afazili bireylerde teta burst stimülasyonunu da denemiş ve dil işlevinde olumlu etkilerin gözlendiğini ortaya koymuşlardır (Szaflarski ve ark., 2018).

Başka bir çalışmada global afazili bireylerde, inhibisyon uygulamasının kısa ve uzun dönem etkileri ölçülmüş, kısa dönem etkinliğinin katılımcılar üzerinde herhangi bir olumlu etkisi gözlenmemiş, uygulamadan yaklaşık 2 ay sonra, bir yıla kadar süren bir süreçte katılımcıların okuma ve anlama becerilerinde ilerleme olduğu belirlenmiştir (Georgiou ve ark., 2020). Dolayısıyla, uygulama şeklinin yanı sıra, kalıcı bir iyileşme için gereken minimum seans süresi, uygulamaların kısa ve uzun dönem etkileri gibi sorular güncel alanyazında halen yanıt bulabilmiş değildir. Söz gelimi, bir çalışma afazili bireylerin uygulama sonrası adlandırma performansındaki artışın bir-iki yıla kadar devam ettiğini, ancak dilbilgisi kullanımını ve tümce üretimi açısından bir fark olmadığını öne sürerken (Kapoor, 2017); başka bir çalışma altı ay sonraya kadar bile yerine konulan dil becerilerinde geriye gidip olmadığını ortaya koymaktadır (Bucur & Papagno, 2019). Bu konudaki en güncel meta-analiz çalışmalarından biri inme sonrası afazi müdahalesinde en uygun TMS tedavi parametresinin, Broca alanındaki homolog bölge üzerinde 10 dakika süren ve 15 seans uygulanan rTMS olduğunu, bu parametrenin en optimal seçenek olduğunu ve uzun dönem sürecek olumlu etkiler sağladığını ifade etmiştir (Wang ve ark., 2023). Ulusal alanyazında ise afazi rehabilitasyonuna yönelik nöromodülasyon araştırmalarının henüz yaygınlık kazanmadığı gözlenmektedir. Bu konudaki ilk çalışma randomize kontrollü bir çalışma olmuş ve alanyazında en kabul gören paradigma çerçevesinde yapılandırılmıştır (Yaşa ve ark., 2023). Çalışmada rTMS ile yüz yüze DKT'nin kombine edildiği dört gruptan (TMS; DKT; TMS+DKT; Kontrol) oluşan 40 Broca afazili katılımcının sağ IFG bölgesine 1 Hz frekansında inhibisyon protokolü ile tekrarlı TMS (rTMS) uygulaması yapılmıştır. Her biri 20 dakika süren ve toplam 15 seanstan oluşan uygulamalarla birleştirilen DKT seanslarında semantik özellikler analizi yaklaşımı benimsenmiştir. Çalışmanın sonuçları TMS'nin Broca afazili bireylerin tedavisinde önemli ölçüde etkili olduğunu, TMS ve DKT kombinasyonunun uygulandığı grubun konuşma akıcılığı performansının diğer tüm grupların konuşma akıcılığı performansından

anlamlı şekilde daha yüksek olduğunu, tutuk afazili bireylerin terapisinde TMS yönteminin DKT'nin etkisini artırdığını ortaya koymuştur.

TMS afazi rehabilitasyonunda giderek daha fazla kullanılan bir terapötik araç haline gelmektedir. TMS, beyin aktivitesini doğrudan etkileyerek, dil işleme becerilerinde olumlu etkiler oluşturmayı amaçlamaktadır; ancak TMS'nin uzun dönem etkililiği konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Şu açıktır ki, konuyla ilgili araştırmalar, TMS'nin kortikal uyarılabilirliği modüle edebileceğini ve dil işleme ile ilişkili belirli beyin bölgelerini hedefleyerek dil becerilerinde gözlenecek ilerlemeyi kolaylaştırabileceğini göstermektedir. Özellikle geleneksel DKT ile kombine edildiğinde, TMS'nin tedavi sonuçlarını iyileştirme ve dil işlevinde uzun vadeli ve olumlu etkileri ortaya çıkarma potansiyeli olduğu görülmektedir. Optimal stimülasyon parametrelerini ve terapötik etkilerinin altında yatan mekanizmaları aydınlatmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulsa da TMS afazi rehabilitasyonuna multidisipliner yaklaşım bağlamında değerli bir araç olmakta ve inme kaynaklı dilsel tutulum yaşayan bireyler için hem iletişim becerilerini hem de yaşam kalitesini artırmak adına umut vadetmektedir.

4. İnme Sonrası Afazide tDCS Uygulamaları

Dil becerilerinde olumlu gelişmelerin gözlenmesi dinamik bir süreçtir. İnme sonrası afazide spontane iyileşme gerçekleşse de bu iyileşme büyük ölçüde inmeden sonraki akut dönemde gerçekleşmekte ve inme sonrası hayatta kalanların %12'si yoğun tedaviden sonra bile kronik iletişim sorunları yaşamaktadır. Afazi rehabilitasyonu sürecinde en yaygın yaklaşım altın standart olarak kabul edilen ve dil ve konuşma becerilerinin yeniden kazandırılmasının hedeflendiği davranışsal DKT'dir. Ancak mevcut DKT stratejilerinin afazi müdahalesindeki etkililiğinin halen sınırlı olduğu öne sürülmektedir (Baker & Swinburn, 2009; Cherney & Small, 2011). Geleneksel terapinin faydaları tartışılmaz olsa da kronik vakalarda iyileşme aşamaları ağır seyretmekte ve sınırlı sonuçlar elde edilmektedir. Son yıllarda DKT'de geleneksel yaklaşımlarla kombine ya da tek başına invaziv

olmayan beyin stimülasyonları da kullanılmaktadır. İnme sonrası afazili bireylerde yaygın olarak kullanılan stimülasyon yöntemleri TMS ve tDCS teknikleridir. İnme sonrası afazi rehabilitasyonunda özellikle tDCS ile kortikal uyarılabilirliği modüle etmeye yönelik girişimler uluslararası alanyazında giderek hız kazanmıştır (Baker ve ark., 2010; Brugnoli ve ark., 2015; Petersen ve ark., 2017). Pek çok çalışma tDCS'nin kronik seyreden, sol hemisferde inme gözlenen ve akıcı olmayan afazide konuşma akıcılığını artırabileceğini göstermektedir (Baker ve ark., 2010; Brugnoli ve ark., 2015; Petersen ve ark., 2017). Multimodal bir yaklaşım kullanan bu çalışmalar, farklı stimülasyon yaklaşımlarının farklı afazili bireyler için daha faydalı olup olmayacağını araştırmıştır (Shah-Basak ve ark., 2015). İnme sonrası afazili bireylerde özellikle DKT ile kombine edilen tDCS'nin sham tDCS ile karşılaştırıldığında afazinin klinik tablosunda ciddi ilerlemeler sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, inme sonrası afazi rehabilitasyonunda tDCS kullanan randomize kontrollü çalışmaları dahil eden yakın tarihli bir meta-analiz çalışması, isim adlandırma becerisi üzerinde olumlu etkiler olduğuna dair kanıt bulmuş, ancak işlevsel iletişimde benzer bir etkinin gözlenmediğini ifade etmiştir (Elsner ve ark., 2020). Bu bulgular, tDCS yaklaşımlarını iyileştirmek için daha fazla çalışma yapılması ve araştırma sonuçlarının afazili bireylerin kendileri için öncelik verdikleri hedeflerle daha uyumlu hale getirilmesi gerektiğini göstermektedir. Birçok meta-analiz çalışması, DKT ile birleştirilmiş tDCS'nin en çok inme sonrası kronik afazide etkili olduğunu göstermiştir (Biou ve ark., 2019; You ve ark., 2023; Han ve ark., 2024). Davranışsal DKT'nin, sinirsel aktiviteyi güçlendiren veya inhibe eden tDCS ile kullanıldığında daha etkili olduğu öne sürülmektedir. Yine de halen optimum stimülasyon parametrelerinin belirlenmesi ve eşzamanlı terapi ile tDCS dozajının belirlenmesi de dahil olmak üzere, terapötik etkilerin nasıl en üst düzeye çıkarılacağı konusunda birçok soru bulunmaktadır. Bu nedenle mevcut afazi literatüründe, tDCS uygulamaları değişkenlik göstermektedir. Birçok çalışma, bir hafta ila altı ay arasında değişen aralıklarla sürdürülen etkilerle

fayda sağladığını göstermiştir (Baker ve ark., 2010; Schlaug ve ark., 2011; Monti ve ark., 2013; Fridriksson ve ark., 2019).

Girişimsel olmayan beyin stimülasyonu tekniklerini dil bozukluklarında terapötik amaçlı kullanan araştırmalar, genellikle bir hemisferin karşı hemisferi inhibe ettiği nörofizyolojik mekanizmayı ifade eden *İnterhemisferik İnhibisyon* hipotezine başvurmaktadır (Fregni & Pascual-Leone, 2007). tDCS çalışmalarından elde edilen kanıtlar da afazinin klinik tablosunda gözlenen olumlu etkilerin interhemisferik inhibisyon modeliyle tutarlı olduğunu göstermiş ve son yıllarda tDCS, standart nörorehabilitatif müdahaleye yardımcı bir nöromodülatör araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulama, spontane nöral aktiviteyi etkileyerek kortikal uyarılabilirlikte değişiklikler elde etmek için kafa derisine yerleştirilen yüzey elektrotları aracılığıyla düşük genlikli elektrik akımlarının uygulanmasını içermektedir (Bkz. **Şekil 1**). tDCS diğer stimülasyon prosedürlerine kıyasla bazı avantajlara sahiptir: Nispeten düşük maliyetli, uygulaması kolay ve taşınabilir olması açısından terapötik kullanıma uygundur (Elsner ve ark., 2020). Beyne zayıf ve sabit bir doğru akım uygulayarak kortikal uyarılabilirliği artırma veya bastırma yeteneğine sahiptir ve etkisi uyarımdan sonra birkaç saate kadar sürmektedir (Nitsche & Paulus, 2000). Bu teknik, etkilenen ve etkilenmeyen hemisferin inhibitör ve eksitator nöronal ağlarını modüle ederek inme sonrası afazi rehabilitasyonunda etkili bir nöromodülatör araç olarak kullanılmaktadır (Nitsche & Paulus, 2000). İnme sonrası afazi yönetiminde kullanılan üç farklı stimülasyon tipi bulunmaktadır, aşağıda belirtilmiştir:

1. Anodal stimülasyonda, anodal elektrot (+) genellikle lezyonlu beyin bölgesinin üzerine ve referans elektrot kontralateral bölgenin üzerine yerleştirilmektedir. Bu, eşik altı depolarizasyona yol açarak nöral uyarımı fasilite etmektedir (Nitsche & Paulus, 2000).

2. Katodal stimülasyonda, katot (-) genellikle lezyonlu olmayan beyin bölgesinin üzerine ve referans elektrot kontralateral bölgenin üzerine yerleştirilir, bu da eşik altı polarizasyona yol açar ve dolayısıyla nöral aktiviteyi inhibe etmektedir (Nitsche & Paulus, 2000).
3. İkili (dual), anodal ve katodal stimülasyonun eşzamanlı olarak uygulanması anlamına gelir (Vines ve ark., 2008).

Söz gelimi, sağ hemisfere uygulanan katodal tDCS'nin (inhibitör) afazide adlandırma performansını kolaylaştırdığı gösterilmiştir (Kang ve ark., 2011). Benzer bulgu sol hemisfere uygulanan anodal tDCS (eksitatör) için de gösterilmiştir (Baker ve ark., 2010). Ancak inme sonrası afazi rehabilitasyonunda, sağ hemisfere uygulanan katodal uyarımın mı daha etkili olduğu, sol hemisfere uygulanan anodal uyarımın mı daha etkili olduğu ya da her iki hemisfere birden uygulanan dual uyarımın mı daha etkili olduğu alanyazında sıkça sorgulanan bir araştırma sorusudur. Bu konuyu araştıran pek çok araştırma ve sistematik meta-analiz çalışması, çeşitli tDCS uygulama veya protokollerini karşılaştırmış, özellikle sol IFG'ye uygulanan anodal uygulamanın, inme sonrası afazide üretim performansı üzerinde olumlu etkiler oluşturmak için en etkili tDCS protokolü olduğunu belirtmiştir (Marangolo ve ark., 2013; Monti ve ark., 2013; Li ve ark., 2014; Corrales-Quispiricra ve ark., 2020). Dolayısıyla dil becerilerinde gözlenecek olumlu etkilerin perilezyonel beyin alanlarının aktivasyonu ile sağlanabileceği savını destekleyen pek çok çalışma da sol hemisferin uyarıcı anodal tDCS ile aktive edilmesinin dilde kalıcı ve olumlu etkilerle ilişkili olduğunu kanıtlamıştır. Baker ve arkadaşlarının (2010) araştırmasında katılımcılar sol frontal kortekse beşer gün anodal tDCS ve sham stimülasyonu almışlardır. Araştırmacılar, stimülasyon sırasında bireylere bilgisayar destekli bir anomi müdahalesi uygulamışlardır. Anodal tDCS sonrası adlandırma doğruluğunda Sham'a kıyasla yüksek düzeyde anlamlı bir ilerleme gözlenmiştir (Baker ve ark., 2010). Wu ve ark., (2015) tarafından yapılan bir başka çalışma ise, sol hemisferde anodal stimülasyonun ardından, kronik ve subakut hastaların sham stimülasyona kıyasla resim adlandırma

ve işitsel anlama becerilerinde belirgin ilerlemeler gösterdiğini ortaya koymuştur. Yanı sıra, bu çalışmayla tDCS'nin adlandırma becerisinin ötesindeki dil süreçlerinde olumlu etkiler sağladığı da gösterilmiştir (Wu ve ark., 2015). Fiori ve arkadaşları (2011), akıcı olmayan afazili bireylerle yaptıkları araştırmada, Broca'yı da içine alan sol IFG'ye uygulanan anodal tDCS'nin, hece yapılandırma süreçlerini geliştirdiğini göstermiştir. Bu çalışmada, 10 kronik inmeli katılımcı yer almıştır ve her birine 10 seanslık tDCS uygulaması yapılmıştır. Bir sonraki araştırmada ise Marangolo ve arkadaşları (2013), akıcı olmayan 12 afazili bireyle yürüttükleri çalışmada, tDCS'yi DKT ile kombine ederek, yoğunlaştırılmış konuşma terapisi ile eş zamanlı olarak yine sol IFG'ye yapılan anodal tDCS'nin eylem üretimini ve çeşitli anlatsal konuşma üretimi becerilerini geliştirdiğini bulmuşlardır. Bu çalışma, üç hafta boyunca günlük 20 dakika süren tDCS ve konuşma terapisi seanslarını içermiştir.

Davranışsal DKT'yi nöromodülasyon yöntemleri ile eş zamanlı uygulama fikri son yıllarda özellikle hızla artan bir yaklaşım olmaktadır. Bu sayede DKT'nin etkisinin kalıcı ve uzun süreli olduğu, afazi terapisinde tDCS kullanan çok sayıda çalışmanın eş zamanlı davranışsal dil müdahalesiyle daha başarılı ve kalıcı sonuçlar aldığını göstermektedir (Sebastian ve ark., 2020). Çok sayıda araştırma, tDCS'nin, ad veya eylem üretimini hedefleyen DKT ile eşleştirildiğinde sham stimülasyonuna kıyasla çok önemli ilerlemeler sağladığını göstermiştir (Fiori ve ark., 2011; Marangolo ve ark., 2013). DKT ile kombine tDCS uygulamalarındaki gelişmeler şu ana dek sözcük erişimi (ing. *lexical access*), anlatı becerileri, isimlerin sözlü üretimi ve eylem üretimi, sözcük heceleme ve hece yapılandırmada gözlenen ilerlemeler şeklinde özetlenebilir. Yakın zamanda Broca alanına anodal tDCS uygulaması ile kombine olarak afazili bireylerin tutulumuna özgü kişiselleştirilmiş ve geleneksel DKT'nin, sham stimülasyonla karşılaştırıldığında genel afazi şiddetinde azalma sağladığı gösterilmiştir (Zhao ve ark., 2022). Bu da tDCS'nin stimülasyon sırasında gerçekleştirilen görev ile ilgilenilen bilişsel süreci içerdiğinde daha faydalı olduğunu ortaya

koymaktadır. Ancak alanyazında afazi müdahalesiyle ilgili olarak halen stimülasyon parametreleri gibi teknik özellikler, tDCS ya da TMS uygulaması için en uygun bölge, yoğunluk, seans sayısı veya stimülasyonun istenen fizyolojik etkisi (uyarma veya inhibisyon) konusunda bir fikir birliği bulunmamaktadır. Terapötik stimülasyon yaklaşımlarını daha iyi rafine ve optimize etmek için boylamsal çalışmalara ihtiyaç vardır (Harvey & Hamilton, 2022). Benzer şekilde, gelecekteki çalışmalar için inme sonrası afazi müdahalesinde tDCS'nin etkililiğini etkileyen ve afazili bireye özgü faktörlerin daha iyi karakterize edilmesi önerilmektedir. Bugüne kadar lezyon boyutu, inme yeri, inmenin kronik olup olmadığı ve başlangıçtaki afazi şiddeti gibi klinik özelliklerin afazili bireylerin TMS veya tDCS'ye verdiği yanıtları nasıl etkilediği halen bilinmemektedir.

Sonuç

Son yıllarda, TMS ve tDCS gibi invaziv olmayan beyin stimülasyonu tekniklerinin psikiyatri, nöroloji ve rehabilitasyon alanlarındaki çeşitli durumların tedavisinde uygulanmasına yönelik ilgi bir hayli artmıştır. Rehabilitatif nöromodülasyon kullanımındaki bu eğilim, psikiyatrik ve nörolojik hastalıklarda beynin anormal yapısal ve işlevsel organizasyonunu yönlendiren mekanizmaların giderek daha iyi anlaşılması ve bu mekanizmaların daha ayrıntılı bir şekilde karakterize edilmesinin etkili müdahaleler için daha büyük fırsatlar sunduğunu ortaya koymuştur.

Bireylerin iletişim becerilerini ve sosyal yaşamlarını doğrudan etkileyen afazi sonrasında davranışsal DKT yaklaşımları afazili bireyler için önemli bir temel oluştursa da bu bireylere uygulanan davranışsal terapi miktarı ile ilişkili lojistik, zaman ve finansmana dair sınırlılıklar nedeniyle, afazili bireylere önemli ve kalıcı fayda sağlayacak sıklık, yoğunluk veya süre düzeyinde davranışsal müdahaleler genellikle mümkün olmamaktadır. Bu durum yeni ve etkili müdahale yaklaşımlarına duyulan gereksinimin altını çizmektedir. TMS ve rDCS gibi invaziv olmayan beyin uyarımı teknikleri, inme sonrası afazili bireylerin dil becerilerini geliştirmek için umut verici nöral tabanlı araçlar olarak ortaya çıkmıştır. On yılı aşkın bir süredir yapılan çok sayıda araştırma da tDCS

ve TMS gibi araçların, inme sonrası afazili bireylerde dil becerilerini geliştirmek için yeni bir müdahale yöntemi olarak umut vaat ettiğini ortaya koymaktadır. Bu müdahale yöntemleri, dil sisteminin nöroplastik açıdan yeniden düzenlenmesi için beynin kapasitesini artırmak üzere alternatif bir müdahale seçeneği sağlayabilmektedir. Son 30 yılı aşkın bir süredir toplanan veriler, afazide nöromodülasyon kullanımı konusunda heyecan duymak için açık bir neden sağlarken, gelecekteki araştırmalar için afazili bireye özgü faktörler (örn. lezyon bölgesi, başlangıçtaki afazi şiddeti, vb.) göz önüne alındığında en uygun stimülasyon yaklaşımı ve TMS ile tDCS uygulamasını takiben daha uzun dönem etkileri değerlendiren daha büyük ölçekli klinik çalışmalara gereksinim duyulmaktadır (Harvey & Hamilton, 2022). Kuşkusuz daha fazla araştırma ve klinik çalışma gereklidir, böylece bu tekniklerin etkililiği, güvenilirliği ve uzun vadeli etkileri daha iyi anlaşılabilir ve afazili bireylerin rehabilitasyon süreçlerine entegre edilebilir. Nöromodülasyon tekniklerinin, gelecekte nörolojik ve psikiyatrik hastalıklarla mücadelede önemli bir rol oynamaya devam edeceği açıktır. Son olarak, bu derlemenin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, literatür taraması sırasında bazı önemli çalışmalara erişim sağlanamamış olabilir, bu da incelemenin kapsamını kısıtlayabilir. Ayrıca, farklı çalışmalarda kullanılan metodolojik yaklaşımlardaki heterojenlik ve değişken stimülasyon protokolleri, sonuçların karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Son olarak, literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılan küçük örneklem boyutları ve sınırlı izleme dönemleri, sonuçların genelleştirilmesini etkileyebilmektedir. Son söz olarak, gelecekteki DKT çalışmalarının disiplinler arası iş birliğine ve bireyselleştirilmiş terapi yaklaşımlarına odaklanması önerilmektedir. Özellikle farklı tıp bilimleriyle ortak çalışmalar, terapi yöntemlerinin bilimsel temellere dayandırılmasını sağlayabilir. Türkiye bağlamında, kaynak eksiklikleri ve erişim sorunları gibi engellerin aşılması için yerel eğitim programları ve klinik uygulamaların desteklenmesi gerekmektedir. Ayrıca, klinik ve araştırma gereksinimlerinin karşılanabilmesi için yerel veri ve sonuçların toplanması büyük önem taşımaktadır. DKT öğrencileri ve uzmanları, uygulamalı araştırmalar ve detaylı klinik eğitimlerle

TMS, tDCS gibi nöromodülasyon tekniklerinin pratikte nasıl etkili kullanılacağına yönelik eğitim ve kurslar almalıdır. Bu sayede, bireylere uygulanan müdahaleleri ve toplumsal sağlık politikalarını optimize etmek için klinik araştırmaların yerel ihtiyaçlara göre şekillendirilmesi, terapötik sonuçların ülke genelinde daha geniş çapta uygulanması ve yaygınlaştırılması sağlanabilir.

Terim Sözlüğü

- **Eksitatif:** Sinir hücrelerinin uyarılmasını veya aktivasyonunu artıran etkiler anlamında gelmektedir. Eksitatif uyarımlar, genellikle beyin bölgelerinde daha fazla elektriksel aktiviteye yol açar.
- **Fasilitasyon:** Nöronal aktiviteyi veya sinirsel yanıtları artırma sürecidir. Örneğin, anodal tDCS gibi uygulamalar, belirli beyin bölgelerinin daha fazla uyarılmasına veya aktivasyonuna yardımcı olabilir.
- **Homolog alan:** Beyindeki bir bölgenin, diğer yarımkürenin karşılık gelen bölgesiyle benzer işlevsel veya yapısal özelliklere sahip olması durumuna karşılık gelmektedir. Örneğin, sol frontal kortekste bulunan bir alanın sağ frontal korteksteki karşılığı.
- **İnhibisyon:** Nöronal aktivitenin veya sinirsel yanıtların azalmasını ifade eder. Katodal tDCS gibi uygulamalar, belirli beyin bölgelerinin aktivitesini baskılayarak inhibisyon sağlamaktadır.
- **İnterhemisferik inhibisyon:** Beynin bir yarısındaki aktivitenin, karşı yarısındaki nöronal aktiviteyi baskılayarak etkilediği bir mekanizmadır. Bu model, tDCS ve diğer nöromodülasyon tekniklerinin etkilerini anlamada kullanılır.
- **Kontralateral:** Beynin bir yarısındaki işlevlerin, vücudun karşı tarafını kontrol etmesi durumudur. Örneğin, sol beyin yarısındaki bir alanın, sağ vücudun hareketlerini kontrol etmesi kontralateral bir etki olarak adlandırılır.

- Nöromodülasyon: Beynin elektriksel aktivitesini değiştirerek sinir hücrelerinin yanıtlarını düzenleme sürecidir. tDCS ve TMS gibi teknikler bu kategoride yer alır.
- Sanal lezyon: Beyindeki belirli bölgelerin işlevlerini geçici olarak bozmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu, genellikle TMS gibi tekniklerle yapılır ve bir bölgenin işlevini geçici olarak engelleyerek bu bölgenin belirli görevlerdeki rolünü incelemeye olanak tanır.
- Sham protokol: Gerçek tedavi yerine uygulanan ve etkisi olmayan, sahte bir tedavi protokolüdür. Araştırmalarda, gerçek tedavinin etkilerini karşılaştırmak için sham protokolleri kullanılarak tedavi etkilerinin değerlendirilmesine yardımcı olunur.
- Transkraniyal: Kafatasının üzerinden doğrudan beyin dokusuna uygulanan bir uyarım yöntemini ifade eder. Genellikle "transkraniyal" terimi, kafa derisi üzerindeki elektrotlar veya bobinler aracılığıyla yapılan beyin uyarımını belirtir.

Kaynaklar

- Abel, S., Weiller, C., Huber, W., Willmes, K., ve Specht, K. (2015). Therapy-induced brain reorganization patterns in aphasia. *Brain*, 138(4), 1097-1112. <https://doi.org/10.1093/brain/awv022>
- Amiaz, R., Levy, D., Vainiger, D., Grunhaus, L., ve Zangen, A. (2009). Repeated high-frequency transcranial magnetic stimulation over the dorsolateral prefrontal cortex reduces cigarette craving and consumption. *Addiction*, 104(4), 653-660. <https://doi.org/10.1111/j.1360-0443.2008.02448.x>
- Antal, A., Alekseichuk, I., Bikson, M., Brockmöller, J., Brunoni, A. R., Chen, R., Cohen, L. G., Douthwaite, G., Ellrich, J., Flöel, A., Fregni, F., George, M. S., Hamilton, R., Haueisen, J., Herrmann, C. S., Hummel, F. C., Lefaucheur, J. P., Liebetanz, D., Loo, C. K., ... Paulus, W. (2017). Low intensity transcranial electric stimulation: Safety, ethical, legal regulatory and application guidelines. *Clinical Neurophysiology*, 128(9), 1774-1809. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.06.001>
- Ardila, A. (2010). A review of conduction aphasia. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 10(6), 499-503. <https://doi.org/10.1007/s11910-010-0142-2>

- Baizabal-Carvalho, J. F., Kagnoff, M. N., Jimenez-Shahed, J., Fekete, R., ve Jankovic, J. (2014). The safety and efficacy of thalamic deep brain stimulation in essential tremor: 10 years and beyond. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 85(5), 567-572. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2013-304943>
- Baker, J. M., Rorden, C., ve Epstein, A. (2009). Improvement in aphasia after repetitive transcranial magnetic stimulation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(9), 1677-1689. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21120>
- Baker, S. S., & Swinburn, K. (2009). The efficacy of speech and language therapy in chronic aphasia: A meta-analysis. *Aphasiology*, 23(10), 1254-1270. <https://doi.org/10.1080/02687030802624953>
- Baker, J. M., Rorden, C., ve Fridriksson, J. (2010). Using transcranial direct-current stimulation to treat stroke patients with aphasia. *Stroke*, 41(6), 1229-1236. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.109.576785>
- Barker, A. T., Jalinous, R., ve Freeston, I. L. (1985). Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *The Lancet*, 325(8437), 1106-1107. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(85\)92413-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(85)92413-4)
- Barwood, C. H. S., Murdoch, B. E., Whelan, B.-M., Lloyd, D., Riek, S., O'Sullivan, J., Coulthard, A., Wong, A., Aitken, P., ve Hall, G. (2011). The effects of low frequency repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) and sham condition rTMS on behavioural language in chronic non-fluent aphasia: Short term outcomes. *NeuroRehabilitation*, 28(2), 113-128. <https://doi.org/10.3233/NRE-2011-0640>
- Bikson, M., & Edwards, D. J. (2017). Transcranial direct current stimulation: A meta-analysis of clinical trials and a look into future research. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 1-19.
- Biou, E., Cassoudehale, H., Cogné, M., Sibon, I., De Gabory, I., Dehail, P., Aupy, J., ve Glize, B. (2019). Transcranial direct current stimulation in post-stroke aphasia rehabilitation: A systematic review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 62(2), 104-121. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.01.003>
- Boccard, S. G. J., Fitzgerald, J. J., Pereira, E. A. C., Moir, L., Van Hartevelt, T. J., Kringelbach, M. L., Green, A. L., ve Aziz, T. Z. (2014). Targeting the affective component of chronic pain: A case series of deep brain stimulation of the anterior cingulate cortex. *Neurosurgery*, 74(6), 628-637. <https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000000321>
- Bolognini, N., Pascual-Leone, A., ve Fregni, F. (2009). Using non-invasive brain stimulation to augment motor training-induced plasticity. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-6-8>
- Brugnoli, P., (2015). Transcranial direct current stimulation in aphasia: A systematic review and meta-analysis. *Brain Stimulation*, 8(4), 645-654.

- Bucur, M., & Papagno, C. (2019). Are transcranial brain stimulation effects long-lasting in post-stroke aphasia? A comparative systematic review and meta-analysis on naming performance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 102, 264-289. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.04.019>
- Cappa, S. F., & Pellegrini, S. (2018). Combined transcranial magnetic stimulation and language therapy for aphasia. *Journal of Neurology*, 265(6), 1339-1348. <https://doi.org/10.1007/s00415-018-8872-4>
- Cerruti, C., & Schlaug, G. (2009). Anodal transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex enhances complex verbal associative thought. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(10), 1980-1987. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.21143>
- Cherney, L. R., & Small, S. L. (2011). Therapeutic approaches for chronic aphasia: An update on evidence-based practices. *Journal of Neurolinguistics*, 24(4), 239-253. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2010.12.002>
- Chen, R. (2000). Studies of human motor physiology with transcranial magnetic stimulation. *Muscle & Nerve*, 23(S9), S26-S32.
- Corrales Quispiricra, C., Gadea Doménech, M. E., ve Espert Tortajada, R. (2020). Estimulación de corriente continua transcraneal e intervención logopédica en personas con afasia: Revisión sistemática de la bibliografía. *Revista de Neurología*, 70(10), 351. <https://doi.org/10.33588/rn.7010.2019397>
- Di Lazzaro, V., Pilato, F., Saturno, E., Oliviero, A., Dileone, M., Mazzone, P., ... ve Rothwell, J. (2005). Theta-burst repetitive transcranial magnetic stimulation suppresses specific excitatory circuits in the human motor cortex. *The Journal of Physiology*, 565(3), 945-950.
- Dickey, L., Kagan, A., Lindsay, M. P., Fang, J., Rowland, A., ve Black, S. (2010). Incidence and profile of inpatient stroke-induced aphasia in Ontario, Canada. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(2), 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.09.020>
- Dionísio, A., Duarte, I. C., Patrício, M., ve Castelo-Branco, M. (2018). The use of repetitive transcranial magnetic stimulation for stroke rehabilitation: A systematic review. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 27(1), 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.008>
- Dronkers, N. F., Ivanova, M. V., ve Baldo, J. V. (2017). What do language disorders reveal about brain–language relationships? From classic models to network approaches. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 23(9-10), 741-754. <https://doi.org/10.1017/S1355617717001126>

- Elsner, B., Kugler, J., ve Mehrholz, J. (2020). Transcranial direct current stimulation (tDCS) for improving aphasia after stroke: A systematic review with network meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 17(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00708-z>
- Enticott, P. G., Fitzgibbon, B. M., Kennedy, H. A., Arnold, S. L., Elliot, D., Peachey, A., Zangen, A., ve Fitzgerald, P. B. (2014). A double-blind, randomized trial of deep repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) for autism spectrum disorder. *Brain Stimulation*, 7(2), 206-211. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2013.10.004>
- Fiori, V., Coccia, M., Marinelli, C. V., Vecchi, V., Bonifazi, S., Ceravolo, M. G., Provinciali, L., Tomaiuolo, F., ve Marangolo, P. (2011). Transcranial direct current stimulation improves word retrieval in healthy and nonfluent aphasic subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(9), 2309-2323. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21579>
- Fisher, R., Salanova, V., Witt, T., Worth, R., Henry, T., Gross, R., Oommen, K., Osorio, I., Nazzaro, J., Labar, D., Kaplitt, M., Sperling, M., Sandok, E., Neal, J., Handforth, A., Stern, J., DeSalles, A., Chung, S., Shetter, A., ... the SANTE Study Group. (2010). Electrical stimulation of the anterior nucleus of thalamus for treatment of refractory epilepsy. *Epilepsia*, 51(5), 899-908. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2010.02536.x>
- Fitzgerald, P. B., Herring, S., Hoy, K., McQueen, S., Segrave, R., Kulkarni, J., ve Daskalakis, Z. J. (2008). A study of the effectiveness of bilateral transcranial magnetic stimulation in the treatment of the negative symptoms of schizophrenia. *Brain Stimulation*, 1(1), 27-32. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2007.08.001>
- Fitzgerald, P. B., Hoy, K. E., Herring, S. E., Clinton, A. M., Downey, G., ve Daskalakis, Z. J. (2013). Pilot study of the clinical and cognitive effects of high-frequency magnetic seizure therapy in major depressive disorder. *Depression and Anxiety*, 30(2), 129-136. <https://doi.org/10.1002/da.22005>
- Fregni, F., Boggio, P. S., ve Lima, M. A. (2006). Repetitive transcranial magnetic stimulation for the treatment of chronic aphasia after stroke. *Brain Research Reviews*, 52(2), 275-286. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.05.007>
- Fregni, F., & Pascual-Leone, A. (2007). Technology insight: Noninvasive brain stimulation in neurology—perspectives on the therapeutic potential of rTMS and tDCS. *Nature Clinical Practice Neurology*, 3(7), 383-393. <https://doi.org/10.1038/ncpneuro0530>
- Fridriksson, J., Basilakos, A., Stark, B. C., Rorden, C., Elm, J., Gottfried, M., George, M. S., Sen, S., ve Bonilha, L. (2019). Transcranial direct current stimulation to treat aphasia: Longitudinal analysis of a randomized controlled trial. *Brain Stimulation*, 12(1), 190-191. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.09.016>

- George, M. S., & Belmaker, R. H. (Eds.). (2007). *Transcranial magnetic stimulation in clinical psychiatry*. American Psychiatric Publishing.
- Georgiou, A. M., Phiniketos, I., Giasafaki, C., ve Kambanaros, M. (2020). Can transcranial magnetic stimulation (TMS) facilitate language recovery in chronic global aphasia post-stroke? Evidence from a case study. *Journal of Neurolinguistics*, 55, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2020.100907>
- Greenberg, B. D., Gabriels, L. A., Malone, D. A., Rezai, A. R., Friehs, G. M., Okun, M. S., Shapira, N. A., Foote, K. D., Cosyns, P. R., Kubu, C. S., Malloy, P. F., Salloway, S. P., Giftakis, J. E., Rise, M. T., Machado, A. G., Baker, K. B., Stypulkowski, P. H., Goodman, W. K., Rasmussen, S. A., ve Nuttin, B. J. (2010). Deep brain stimulation of the ventral internal capsule/ventral striatum for obsessive-compulsive disorder: Worldwide experience. *Molecular Psychiatry*, 15(1), 64-79. <https://doi.org/10.1038/mp.2008.55>
- Hamada, M.(2013). Online vs. offline TMS: A comparative study of motor cortex excitability modulation. *Journal of Neuroscience*, 33(12), 4989-4996.
- Hamilton, R. H., Chrysikou, E. G., ve Coslett, B. (2011). Mechanisms of aphasia recovery after stroke and the role of noninvasive brain stimulation. *Brain and Language*, 118(1-2), 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2011.02.005>
- Han, C., Tang, J., Tang, B., Han, T., Pan, J., ve Wang, N. (2024). The effectiveness and safety of noninvasive brain stimulation technology combined with speech training on aphasia after stroke: A systematic review and meta-analysis. *Medicine*, 103(2), e36880.
- Hartman, J. (1981). Measurement of early spontaneous recovery from aphasia with stroke. *Annals of Neurology*, 9(1), 89-91.
- Hartwigsen, G. (2015). The neurophysiology of language: Insights from non-invasive brain stimulation in the healthy human brain. *Brain and Language*, 148, 81-94. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2014.10.007>
- Harvey, D. Y., & Hamilton, R. (2022). Noninvasive brain stimulation to augment language therapy for poststroke aphasia. In *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 185, pp. 241-250). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823384-9.00012-8>
- Holland, A. L., & Fridriksson, J. (2012). Combining rTMS and speech therapy for aphasia recovery: A randomized controlled trial. *Brain Stimulation*, 5(4), 556-563. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2011.07.001>
- Huang, Y. Z., & Rothwell, J. C. (2004). The effect of short-duration bursts of high-frequency, low-intensity transcranial magnetic stimulation on the human motor cortex. *Clinical Neurophysiology*, 115(5), 1069-1075.

- Huang, Y. Z., Edwards, M. J., Rounis, E., Bhatia, K. P., ve Rothwell, J. C. (2005). Theta burst stimulation of the human motor cortex. *Neuron*, 45(2), 201-206.
- Ilkhani, M., Shojaie Baghini, H., Kiamarzi, G., Meysamie, A., ve Ebrahimi, P. (2018). The effect of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) on the treatment of aphasia caused by cerebrovascular accident (CVA). *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, 32, 25. <https://doi.org/10.14196/mjiri.32.25>
- Kang, E. K., Kim, Y. K., Sohn, H. M., Cohen, L. G., ve Paik, N.-J. (2011). Improved picture naming in aphasia patients treated with cathodal tDCS to inhibit the right Broca's homologue area. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 29(3), 141-152. <https://doi.org/10.3233/RNN-2011-0587>
- Kapoor, A. (2017). Repetitive transcranial magnetic stimulation therapy for post-stroke non-fluent aphasia: A critical review. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 24(7), 547-553. <https://doi.org/10.1080/10749357.2017.1331417>
- Kemmerer, D. (2022). *Cognitive neuroscience of language* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781138318427>
- Kiran, S., & Thompson, C. K. (2012). Combining transcranial magnetic stimulation with traditional aphasia therapy: A review. *Aphasiology*, 26(5), 622-640. <https://doi.org/10.1080/02687038.2012.670188>
- Kobayashi, M., & Pascual-Leone, A. (2004). Transcranial magnetic stimulation: Examining the interaction between cortical excitability and connectivity. *Clinical Neurophysiology*, 115(3), 255-263. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.09.015>
- Kohn, S. E., & Goodglass, H. (1985). Picture-naming in aphasia. *Brain and Language*, 24(2), 266-283.
- Kratzer, S. (2020). Mechanisms of cortical plasticity and their implications for clinical applications of TMS. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 17(1), 80.
- Kunst, L. R., Oliveira, L. D., Costa, V. P., Wiethan, F. M., ve Mota, H. B. (2013). Speech therapy effectiveness in a case of expressive aphasia resulting from stroke. *Revista CEFAC*, 15(6), 1712-1717.
- Laska, A. C., Kahan, T., Hellblom, A., Murray, V., ve Von Arbin, M. (2011). A randomized controlled trial on very early speech and language therapy in acute stroke patients with aphasia. *Cerebrovascular Diseases Extra*, 1(1), 66-74. <https://doi.org/10.1159/000329835>
- Lefaucheur, J. P., André-Obadia, N., Antal, A., Ayache, S. S., Baeken, C., Benninger, D. H., ... ve Garcia-Larrea, L. (2014). Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Clinical Neurophysiology*, 125(11), 2150-2206.

- Lerner, A. J., Wassermann, E. M., ve Tamir, D. I. (2019). Seizures from transcranial magnetic stimulation 2012–2016: Results of a survey of active laboratories and clinics. *Clinical Neurophysiology*, 130(8), 1409-1416. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.03.016>
- Li, L. M., Uehara, K., ve Hanakawa, T. (2014). The contribution of interindividual factors to variability of response in transcranial direct current stimulation studies. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 8, 83. <https://doi.org/10.3389/fncel.2014.00083>
- Lomas, J., & Kertesz, A. (1978). Patterns of spontaneous recovery in aphasic groups: A study of adult stroke patients. *Brain and Language*, 15(2), 388-401.
- Marangolo, P., Fiori, V., Calpagnano, M. A., Campana, S., Razzano, C., Caltagirone, C., ve Marini, A. (2013). tDCS over the left inferior frontal cortex improves speech production in aphasia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00539>
- Marangolo, P., Fiori, V., Calpagnano, M. A., Campana, S., Razzano, C., Caltagirone, C., ve Marini, A. (2013). Bilateral transcranial direct current stimulation language treatment enhances functional connectivity in the left hemisphere: Preliminary data from aphasia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(11), 1657-1671. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00431
- Martin, P. I., Naeser, M. A., ve Ho, M. S. (2009). Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) for the treatment of aphasia: A systematic review. *Brain Stimulation*, 2(2), 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2008.12.002>
- McNeil, M. R., & Pratt, S. R. (2001). Defining aphasia: Some theoretical and clinical implications of operating from a formal definition. *Aphasiology*, 15(10-11), 900-911.
- Monti, A., Cogiamanian, F., Marceglia, S., Ferrucci, R., Mameli, F., Mrakic-Sposta, S., ... ve Priori, A. (2013). Improved naming after transcranial direct current stimulation in aphasia. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 84(9), 1035-1040. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2012-303825>
- Musso, M., Weiller, C., Kiebel, S., Müller, S. P., Bülau, P., ve Rijntjes, M. (1999). Training-induced brain plasticity in aphasia. *Brain*, 122(9), 1781-1790. <https://doi.org/10.1093/brain/122.9.1781>
- Müller, H. H., & Behrens, T. E. J. (2009). Transcranial magnetic stimulation and functional magnetic resonance imaging in the study of brain plasticity. *Frontiers in Psychology*, 1, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2010.00008>
- Navarro, P. A., Contreras-Lopez, W. O., Tello, A., Cardenas, P. L., Vargas, M. D., Martinez, L. C., ve Yepes-Nuñez, J. J. (2024). Effectiveness and safety of non-invasive neuromodulation for vision restoration: A systematic review and meta-analysis. *Neuro-Ophthalmology*, 48(2), 93-110.

- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology*, 527(3), 633-639. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x>
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2001). Sustained changes in synaptic plasticity induced by transcranial direct current stimulation in humans. *Neurology*, 57(10), 1761-1767.
- Nitsche, M. A., Seeber, A., Frommann, K., Klein, C. C., Rochford, C., Nitsche, M. S., Fricke, K., Liebetanz, D., Lang, N., Antal, A., Paulus, W., ve Tergau, F. (2005). Modulating parameters of excitability during and after transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. *The Journal of Physiology*, 568(1), 291-303. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.092429>
- Odekerken, V. J. J., Boel, J. A., Schmand, B. A., De Haan, R. J., Figeer, M., Van Den Munckhof, P., Schuurman, P. R., De Bie, R. M. A., For the NSTAPS study group, NSTAPS study group, De Bie, R. M. A., Bour, L., Contarino, M. F., De Haan, R. J., Iwan, M., Mink, M. S. J., Van Den Munckhof, P., Odekerken, V. J. J., Postma, M., ... Van Vugt, J. P. P. (2016). GPi vs STN deep brain stimulation for Parkinson disease: Three-year follow-up. *Neurology*, 86(8), 755-761. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002401>
- Oğuz, Ö., & Toğram, B. (2020). Afazili bireylerde yaşam kalitesi ve yaşam kalitesini etkileyen faktörler. *Dil Konuşma ve Yutma Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 247-278.
- Pascual-Leone, A. (1999). Modulation of motor performance and perception by repetitive transcranial magnetic stimulation. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 16(4), 430-439.
- Pascual-Leone, A. (2000). Transcranial magnetic stimulation in cognitive neuroscience – virtual lesion, chronometry, and functional connectivity. *Current Opinion in Neurobiology*, 10(2), 232-237. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(00\)00081-7](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(00)00081-7)
- Pascual-Leone, A., Valls-Solé, J., Wassermann, E. M., ve Hallett, M. (1994). Responses to rapid-rate transcranial magnetic stimulation of the human motor cortex. *Brain*, 117(4), 847-858. <https://doi.org/10.1093/brain/117.4.847>
- Pedersen, P. M., Vinter, K., ve Olsen, T. S. (2004). Aphasia after stroke: Type, severity and prognosis. *Cerebrovascular Diseases*, 17(1), 35-43. <https://doi.org/10.1159/000073896>
- Petersen, J. B. (2017). Effect of transcranial direct current stimulation on aphasia in post-stroke patients: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Journal of Neurology*, 264(5), 1024-1034.

- Price, C. J., & Friston, K. J. (2002). Degeneracy and specificity in cognitive function: The implications for neuroimaging. *NeuroImage*, 15(1), 108-119. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0978>
- Rossi, S., Hallett, M., Rossini, P. M., ve Pascual-Leone, A. (2009). Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clinical Neurophysiology*, 120(12), 2008-2039. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.08.016>
- Rossini, P. M., & Rossi, S. (2007). Transcranial magnetic stimulation: Diagnostic, therapeutic, and research potential. *Neurology*, 68(7), 484-488. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000250268.13789.b2>
- Rubi-Fessen, I., Hirschfeld, R., Thiel, A., Hartmann, A., Huber, W., Fimm, B., Heiss, W.-D., ve Stenneken, P. (2018). Stimulating communication? The combination of language therapy and repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) enhances improvement of functional communication and linguistic skills in patients with subacute aphasia. *Aphasiology*, 32(sup1), 62-63. <https://doi.org/10.1080/02687038.2018.1485852>
- Sarasso, S., Santhanam, P., Määttä, S., Poryazova, R., Ferrarelli, F., Tononi, G., ve Small, S. L. (2010). Non-fluent aphasia and neural reorganization after speech therapy: Insights from human sleep electrophysiology and functional magnetic resonance imaging. *Archives Italiennes De Biologie*, 148(3), 271-278.
- Saur, D. (2006). Dynamics of language reorganization after stroke. *Brain*, 129(6), 1371-1384. <https://doi.org/10.1093/brain/awl090>
- Sarno, M. T., & Levita, E. (1981). Recovery in aphasia during the first year post stroke. *Brain and Language*, 13(1), 1-12.
- Schlaug, G., Marchina, S., ve Wan, C. Y. (2011). Transcranial direct current stimulation in stroke recovery. *Archives of Neurology*, 68(11), 1491-1497. <https://doi.org/10.1001/archneurol.2011.339>
- Sebastian, R., Kim, J. H., Brenowitz, R., Tippett, D. C., Desmond, J. E., Celnik, P. A., & Hillis, A. E. (2020). Cerebellar neuromodulation improves naming in post-stroke aphasia. *Brain Communications*, 2(2), fcaa179. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcaa179>
- Shah-Basak, P. P., Norise, C., Garcia, G., Torres, J., Faseyitan, O., ve Hamilton, R. H. (2015). Individualized treatment with transcranial direct current stimulation in patients with chronic non-fluent aphasia due to stroke. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00201>
- Shin, J. H., Kim, Y. H., ve Kwon, H. J. (2010). Repetitive transcranial magnetic stimulation for the treatment of post-stroke aphasia: A meta-analysis. *Neuropsychology Review*, 20(3), 298-309. <https://doi.org/10.1007/s11065-010-9142-5>

- Siebner, H. R., Hartwigsen, G., Kassuba, T., ve Rothwell, J. C. (2009). How does transcranial magnetic stimulation modify neuronal activity in the brain? Implications for studies of cognition. *Cortex*, 45(9), 1035-1042.
- Szaflarski, J. P., Griffis, J., Vannest, J., Allendorfer, J. B., Nenert, R., Amara, A. W., Sung, V., Walker, H. C., Martin, A. N., Mark, V. W., ve Zhou, X. (2018). A feasibility study of combined intermittent theta burst stimulation and modified constraint-induced aphasia therapy in chronic post-stroke aphasia. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 36(4), 503-518. <https://doi.org/10.3233/RNN-180812>
- Vines, B. W., Nair, D., ve Schlaug, G. (2008). Modulating activity in the motor cortex affects performance for the two hands differently depending upon which hemisphere is stimulated. *European Journal of Neuroscience*, 28(8), 1667-1673. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06459.x>
- Walsh, V., & Cowey, A. (2000). Transcranial magnetic stimulation and cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 1, 73-79.
- Wang, C., Nie, P., Wang, P., Wang, Y., Zang, Y., ve Zhang, Y. (2023). The therapeutic effect of transcranial magnetic stimulation on post-stroke aphasia and the optimal treatment parameters: A meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, S0003-9993(23), 00659-7. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2023.11.006>
- Wassermann, E. M., Epstein, C. M., Ziemann, U., Walsh, V., Paus, T., ve Lisanby, S. H. (Eds.). (2008). *The Oxford handbook of transcranial stimulation*. Oxford University Press.
- Wilson, S. M., Entrup, J. L., Schneck, S. M., Onuscheck, C. F., Levy, D. F., Rahman, M., ... ve Kirshner, H. S. (2023). Recovery from aphasia in the first year after stroke. *Brain*, 146(3), 1021-1039.
- Wu, D., Wang, J., ve Yuan, Y. (2015). Effects of transcranial direct current stimulation on naming and cortical excitability in stroke patients with aphasia. *Neuroscience Letters*, 589, 115-120. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.01.045>
- Wong, P. K., & Wong, R. Y. (2017). Advances in neuromodulation: From electrical to magnetic stimulation. *Neurotherapeutics*, 14(4), 817-832.
- Wurzer, H., & Hauptmann, C. (2018). Adapted acoustic CR neuromodulation in patients with chronic tonal tinnitus and hearing loss. *Frontiers in Medicine*, 5, 288.
- Yaşa, İ. C., Maviş, İ., Şalçin, C., ve Midi, İ. (2023). Comparing the efficiency of speech and language therapy and transcranial magnetic stimulation for treating Broca's aphasia. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 32(6), 107108. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2023.107108>

You, Y., Li, Y., Zhang, Y., Fan, H., Gao, Q., ve Wang, L. (2023). Long-term effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with speech language therapy (SLT) on post-stroke aphasia patients: A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *NeuroRehabilitation*, (Preprint), 1-12.

Zhao, R., He, Z.-Y., Cheng, C., Tian, Q.-Q., Cui, Y.-P., Chang, M.-Y., Wang, F.-M., Kong, Y., Deng, H., Yang, X.-J., ve Sun, J.-B. (2022). Assessing the effect of simultaneous combining of transcranial direct current stimulation and transcutaneous auricular vagus nerve stimulation on the improvement of working memory performance in healthy individuals. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 947236. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.947236>

Yazar Katkıları/Author Contributions: **Hazel Zeynep Kurada:** Fikir/Kavram, Tasarım/Yöntem, Danışmanlık/Denetleme, Veri Toplama ve/veya İşleme, Analiz/Yorum, Literatür Taraması, Makale Yazımı, Eleştirel İnceleme, Kaynak ve Fon Sağlama, Malzemeler.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest: Yazar makalenin hazırlanması ve basımı esnasında hiçbir kimse veya kurum ile çıkar çatışması içinde olmadığını beyan etmiştir. / The author has declared that no conflict of interest existed with any parties at the time of publication.