



NÖROGERİBİLDİRİM

Teknolojiler, Uygulamalar ve
Gelecek Perspektifleri

Gamzepelin AKSOY



All Sciences Academy

Nörogeribildirim: Teknolojiler, Uygulamalar ve Gelecek Perspektifleri

Gamzepelin AKSOY¹

¹- Dr. Gamzepelin AKSOY; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. gamzepelina@gmail.com ORCID No: 0000-0002-5328-2983



Nörogeribildirim: Teknolojiler, Uygulamalar ve Gelecek Perspektifleri

Gamzepelin AKSOY

Dizayn: All Sciences Academy Design

Basım Tarihi: December 2024

Yayıncı Sertifika Numarası: 72273

ISBN: 978-625-5954-38-1

Doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14600014>

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com

allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

ÖZET.....	6
GİRİŞ.....	6
İnsan Beyni ve Beyin Dalgaları	7
Nörogeribildirim	8
Nörogeribildirim Türleri	9
1. Elektroensefalografi Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi	9
2. Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi	10
3. Kantitatif Elektroensefalografi Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi ..	11
4. Düşük Çözünürlüklü Elektromanyetik Tomografi Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi	12
5. Canlı Z-Skor Nörogeribildirim Sistemi	13
6. Düşük Enerjili Nörogeribildirim Sistemi	13
7. Yavaş Kortikal Potansiyel Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi	14
Nörogeribildirimde Kullanılan Çeşitli Yazılımlar	16
Mobil Nörogeribildirim Yazılımları.....	16
Oyun Tabanlı Nörogeribildirim Yazılımları	17
Açık Kaynaklı Platformlar	18
BBA Nörogeribildirim Yazılımları	19
Sanal Gerçeklik Tabanlı Nörogeribildirim Yazılımları.....	20
Klinik ve Bilişsel Uygulamalar	22
1. Uykusuzluk Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	22
Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular.....	23
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	24
2. Majör Depresif Bozuklukta Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	24
Depresyon Tedavisinde Klinik Gelişmeler	25
Nörogeribildirim ve Beyin Dinamikleri	26
Bilişsel İşlevler ve Ruminasyon Semptomları	27
Anksiyete ve Depresyonun Birlikte Yönetimi	28
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	29
3. Şizofreni Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	30
Dürtüsellik ve Şiddet Davranışlarının Azaltılması.....	30
Bilişsel İşlev ve Psikososyal İyileşme.....	31

Yoğun Nörogeribildirim Seanslarının Etkileri	32
Bireyselleştirilmiş Protokoller ve Uzun Süreli Etkiler	32
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	32
4. DEHB Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	33
Farmakolojik Olmayan Tedavi Yaklaşımları	33
Nörogeribildirim (NGB) Araştırmaları	33
Nörogeribildirim ve Sanal Gerçeklik Entegrasyonu	34
Mobil Nörogeribildirim Araştırmaları	35
Davranışçı ve Aile Terapileri	35
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	36
5. Yaşlı Bireylerin Bilişsel Performans Gelişiminde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	36
Kısa Süreli ve Yoğun Nörogeribildirim Protokolleri	36
Frekansların Etkisi: Alfa, Beta ve Gamma Protokolleri	37
Hafıza Performansı ve Stres İlişkisi	38
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	38
6. Öğrenme Güçlüğü ve Disleksinin Yönetiminde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	38
Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular	39
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	41
7. Epilepsi Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	41
Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular	42
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	43
8. Otizm ve Asperger Sendromu Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	44
Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular	44
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	46
9. Ağrı Yönetiminde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	46
Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular	47
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	48
10. Bağımlılıkla Mücadelede Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	49
Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular	49
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	52
11. Antisosyal Kişilik ve Kriminal Suçlarda Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	52

Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular.....	52
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	54
12. Performans Geliştirmede Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular	55
Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular.....	55
Sanatsal Performansta Nörogeribildirim.....	56
Spor Performansında Nörogeribildirim.....	57
Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler	59
Sonuç	59
Referanslar	61

ÖZET

Nörogeribildirim, beyin dalgalarının izlenmesi ve geribildirim yoluyla düzenlenmesini sağlayan yenilikçi bir tedavi yöntemidir. Bu teknoloji, bireylerin kendi beyin aktivitelerini gözlemleyerek bilinçli bir şekilde yönlendirmelerine olanak tanır ve dikkat eksikliği, depresyon, anksiyete ile travma sonrası stres bozukluğu gibi birçok psikolojik rahatsızlığın tedavisinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. İlaç tedavisine alternatif olarak doğal bir yaklaşım sunan nörogeribildirim, hastaların tedavi süreçlerine aktif katılımını teşvik etmektedir. Ayrıca nörogeribildirim, bireylerin beyin fonksiyonlarını bilinçli olarak iyileştirerek tedavi süreçlerini daha etkin hale getirebilir. Ancak teknolojinin etkinliği ve uygulanabilirliği konusunda bazı sınırlamalar ve tartışmalar devam etmektedir. Bu çalışma, nörogeribildirim teknolojisinin teorik temellerini, mevcut klinik uygulamalarını, sağladığı avantajları ve karşılaşılan sınırlamaları ele alarak gelecekteki kullanım potansiyelini tartışmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler – Nörogeribildirim, Beyin dalgaları, Beyin aktivitesi, Otomatik teşhis sistemleri, Nörolojik hastalıklar

GİRİŞ

Nörogeribildirim, son yıllarda psikolojik ve nörolojik tedavi alanlarında dikkat çeken yenilikçi bir teknoloji olarak öne çıkmıştır. Beyin aktivitesinin bireyler tarafından bilinçli bir şekilde modüle edilmesini sağlayan bu yöntem, zihin durumlarını iyileştirmek, nörolojik işlevleri düzenlemek ve çeşitli psikolojik bozuklukların tedavisinde etkili sonuçlar elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bireylerin beyin dalgalarını gerçek zamanlı olarak izleyip kontrol etmelerine olanak tanıyan nörogeribildirim, hedeflenen beyin aktivitelerini destekleyerek psikolojik dengeyi ve bilişsel işlevleri geliştirme potansiyeli taşımaktadır.

Bu teknolojinin önemli avantajlarından biri, bireylerin tedavi sürecine aktif bir şekilde katılımını sağlamasıdır. Bazı durumlarda yalnızca nörogeribildirim kullanımı yeterli olabilirken, diğer durumlarda ilaç tedavisiyle kombine bir yaklaşım benimsenmektedir. Nörogeribildirim, dikkat eksikliği, depresyon, anksiyete, travma sonrası stres bozukluğu ve uyku bozuklukları gibi çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde umut vadeden bir yöntemdir ve klinik çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada, nörogeribildirim teknolojisinin temel prensipleri, klinik uygulama alanları ve gelecekteki potansiyel kullanım alanları ele alınacaktır. Bunun yanı sıra, teknolojinin tedavi süreçlerindeki etkisi ve sınırlamaları ile ilgili mevcut literatür incelenerek, bu alandaki gelişmelere ve gelecekteki araştırmalara ışık tutulması hedeflenmektedir.

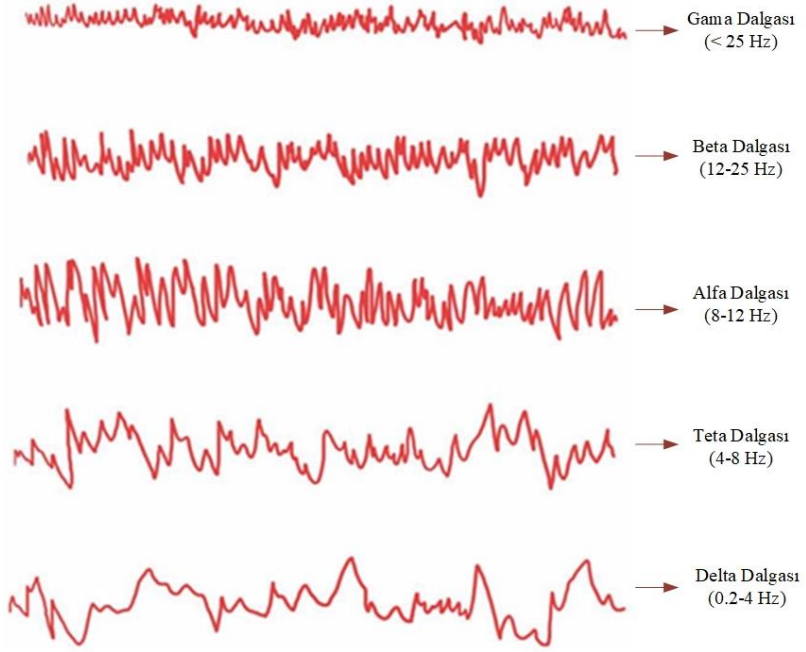
İnsan Beyni ve Beyin Dalgaları

İnsan beyni, sinir sisteminin temel işlevsel hücreleri olan nöronlardan oluşur ve bu hücreler beyin, omurilik ve sinirlerde bulunur. Beyinde, birbirini etkileyen 100 milyardan fazla nöron bulunmaktadır. Nöronlar arasındaki etkileşimler, sinyal adı verilen iletilerle gerçekleşir ve bu sinyaller sinir sistemi fonksiyonlarının temelini oluşturur. Nöronlar arasındaki bu iletişim, elektriksel aktivite oluşmasına yol açar (Holmes & Khazipov, 2007). Bu elektriksel aktiviteler, beynin çeşitli durumlarını yansıtan beyin dalgalarını oluşturur ve bu dalgaların analizi, beynin fonksiyonlarını anlamada önemli bir rol oynar.

Beyin dalgaları, frekanslarına göre belirli bantlara ayrılır ve her bir bant, beynin farklı işlevlerini ve bilinç durumlarını yansıtır (Kumar & Bhuvanewari, 2012):

- Delta dalgaları (0,5-4 Hz): En yavaş beyin dalgalarıdır ve genellikle derin uyku sırasında ortaya çıkar. Uyanık bireylerde gözlemlendiğinde patolojik durumları işaret edebilir.
- Teta dalgaları (4-8 Hz): Meditasyon, yaratıcılık ve bilinçaltı aktivitelerle ilişkilidir. Ayrıca serotonin salınımı ve öğrenme süreçlerinde rol oynar.
- Alfa dalgaları (8-12 Hz): Rahatlama ve gevşeme durumlarını temsil eder. Genellikle gözler kapalıyken kaydedilir ve oksipital ile frontal bölgelerde yoğunlaşır.
- Beta dalgaları (13-30 Hz): Aktif düşünme, problem çözme ve dış dünyaya odaklanma süreçleriyle ilişkilidir.
- Gama dalgaları (30-100 Hz): Duyusal entegrasyon ve bilinçli farkındalık süreçlerini destekler. Beyin bölgeleri arasında bilgi alışverişini hızlandırır ve karmaşık bilişsel işlevlerde kritik bir rol oynar (Kumar & Bhuvanewari, 2012).

Beyin dalgalarının bu frekans bileşenleri, bireylerin zihinsel durumlarını ve bilişsel süreçlerini anlamak için temel bir çerçeve sunar. Örneğin, yeni doğanlarda dominant frekanslar genellikle 3-4 Hz arasında değişirken, yetişkinlerde bu değer 8-12 Hz aralığında yoğunlaşır. Şekil 1'de beyin dalgalarının frekans bantları ve görsel temsili yer almaktadır.



Şekil 1. Beyin Dalgalarının Frekans Bantları ve Görsel Temsili

Nörogeribildirim

EEG Biofeedback (Nörogeribildirim), 1960'ların sonlarında operant koşullandırma yöntemiyle beyin dalgası modellerini incelemek amacıyla geliştirilmiştir. İlk çalışmalar, alfa beyin dalgası aktivitesini artırarak rahatlamayı teşvik etmeye odaklanmış, ardından Kaliforniya Üniversitesi, Los Angeles'ta gerçekleştirilen araştırmalar, öncelikle hayvan modelleri üzerinde başlamış ve sonrasında kontrolsüz epilepsi tedavisi için insan çalışmalarına yönelmiştir. O tarihten bu yana, nörogeribildirim üzerine yapılan araştırmalar; epilepsi, DEHB, anksiyete, alkolizm, travma sonrası stres bozukluğu ve hafif kafa travması gibi durumların tedavisinde etkinliğini ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, öğrenme güçlüğü, inme, depresyon, fibromiyalji, otizm, uykusuzluk, kulak çınlaması, baş ağrıları, fiziksel denge sorunları ve yüksek performans artışı gibi çeşitli alanlarda cesaret verici bulgular sunmaktadır. Özellikle, ilaç tedavisinin olumsuz etkileri konusunda endişeleri olan bireyler için nörogeribildirim, etkili bir tamamlayıcı tedavi alternatifi olarak öne çıkmaktadır (D. C. Hammond, 2011).

Son yıllarda, nörogeribildirim terimi Merriam-Webster Unabridged Sözlüğü'ne "beyin aktivitesini duyuşal olarak algılanabilir hale getirme tekniğı" olarak eklenmiştir. Bu teknoloji, Elektroensefalografi (EEG)

aracılığıyla beyin dalgalarını kaydeder ve bireylere bu dalgaları görsel veya işitsel formatlarda sunarak, beyin aktivitelerini bilinçli olarak değiştirme imkanı sağlar. Nörogeribildirim, genellikle bir nöromodülasyon yöntemi olarak kabul edilir ve modern beyin bilgisayar arayüzü (BBA) teknolojileriyle ilişkilendirilir. Ayrıca, EEG operant koşullandırma ve EEG biyogeribildirimi gibi terimlerle de anılmaktadır (YuLeung To vd., 2016).

BBA, bu alanda dikkat çeken önemli bir kavramdır ve iki bilgisayarın, bir insan biyobilgisayarının bir silikon çip ile etkileşimi olarak tanımlanır. Bu etkileşim, nörogeribildirim uygulamalarının temel bir bileşenidir. Nörogeribildirim, beynin esnekliğine dayalı bir paradigmayı benimser. Bu esneklik, nöroplastisite olarak bilinir ve beynin nöronal bağlantılarının yeniden düzenlenebilme yeteneğini ifade eder.

Bu yöntem, beyin dalgalarının anlaşılmasını, kafa derisindeki elektrotlar aracılığıyla bu dalgaların ölçülmesini ve bireylerin bu ölçümleri kullanarak operant koşullandırma yoluyla beyin aktivitelerinde değişiklik yapmayı öğrenmelerini sağlar. Beyin dalgalarının ölçülmesi, aslında beyin yüzeyindeki piramidal hücrelerin elektriksel aktivitelerinin kaydedilmesidir. Beyin, Brodmann Alanları kullanılarak haritalanır ve bu kavram, nörogeribildirimde kritik bir rol oynar. Her elektrot, belirli bir Brodmann Alanına yerleştirildiğinde, bu alanla ilişkili bilişsel süreçleri etkiler. Ancak, nörogeribildirim uygulayıcıları, tek bir elektrotun etkisinin, söz konusu Brodmann Alanının ötesine geçerek daha derin kortikal alanlara da etki edebileceğini belirtmektedir (YuLeung To vd., 2016).

Nörogeribildirim Türleri

1. Elektroensefalografi Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi

Elektroensefalografi, beyin korteksindeki nöronların senkronize sinaptik aktivitelerinden kaynaklanan elektriksel sinyallerin kaydedilmesi esasına dayanan invaziv olmayan bir tekniktir. EEG, sinirsel aktivitedeki değişiklikleri milisaniyeler içinde tespit ederek beyin fonksiyonlarını incelemede önemli bir araç haline gelmiştir. Bu özellik, EEG'yi hem klinik uygulamalarda hem de araştırmalarda yaygın şekilde kullanılan bir yöntem yapmaktadır. EEG sayesinde, beynin farklı durumlarını yansıtan belirli ritmik salınımlar analiz edilerek zihinsel süreçler ve bilişsel işlevler hakkında detaylı bilgiler elde edilir (Holmes & Khazipov, 2007).

EEG kayıtlarının doğru ve standart bir şekilde alınabilmesi için Uluslararası 10-20 sistemi kullanılır. Bu sistem, elektrotların kafa derisindeki yerleşim noktalarını belirler ve bu noktalar ile beyin korteksi arasındaki ilişkiyi gösterir. Elektrotlar, burun ile alnın birleştiği noktadan (nasion) kafatasının arka alt kısmındaki çıkıntılı noktaya (inion) kadar uzanan bir eksende yerleştirilir. EEG yerleşim noktaları, beynin farklı bölgelerini temsil eder ve genellikle frontal, oksipital, santral ve parietal bölgeleri kapsar.

Elektrotların yerleştirilmesi belirli mesafelere dayanır ve bu mesafeler, 10-20 sistemi ile düzenlenir. Bu düzen, EEG kayıtlarının deneysel süreçler arasında karşılaştırılabilirliğini sağlar (Wong, 2004).

EEG tabanlı nörogeribildirim, çeşitli kortikal alanlardan alınan EEG sinyallerini algılamak amacıyla kafa derisine yerleştirilen elektrotlarla gerçekleştirilir. Denek, operant koşullandırma yoluyla anlık geri bildirim olarak bu sinyalleri manipüle eder. Geri bildirim, işitsel, görsel ya da her ikisinin birleşimi olan görsel-işitsel biçimlerde sağlanır ve bireyin hedeflenen beyin dalgası frekans bantlarını etkilemesini ve değiştirmesini sağlar (Corrado vd., 2024). EEG, yalnızca beyin fonksiyonlarını anlamakla kalmaz, aynı zamanda nörogeribildirim gibi teknolojilerde temel bir bileşen olarak kullanılır. EEG'nin gerçek zamanlı sinyal işleme kapasitesi, bireylerin beyin aktivitelerini kontrol etmeyi öğrenmelerine olanak tanır. Örneğin:

- Alfa dalgalarının artırılması: Rahatlama ve stres yönetiminde etkili olabilir.
- Beta dalgalarının düzenlenmesi: Dikkat eksikliği/hiperaktivite bozukluğu gibi durumların tedavisinde kullanılabilir.

EEG sinyallerinin analizi, nörogeribildirim protokollerinin kişiye özel olarak tasarlanmasına olanak tanır. Eğitim, meditasyon ve performans artırma gibi alanlarda geniş bir kullanım yelpazesi sunar. EEG ve nörogeribildirim arasındaki bu ilişki, daha yenilikçi uygulamaların geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

2. Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi

Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (Functional Magnetic Resonance Imaging - fMRI), yüksek mekansal çözünürlük ve hızlı zaman çözünürlüğü sayesinde, tüm beyindeki aktiviteyi cerrahi müdahale veya kontrast madde enjeksiyonu gerektirmeden, sadece birkaç saniye içinde görüntüleme imkanı sunan invaziv olmayan bir teknolojidir. Beynin oksijen tüketimine bağlı olarak deoksijene hemoglobin (dHb) seviyelerindeki değişiklikleri ölçen fMRI, bu değişiklikleri kan oksijenasyonu seviyesine bağlı BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) sinyali olarak kaydeder. Sinirsel aktivite sırasında oksijenli kanın belirli beyin bölgelerine fazla tedarik edilmesi, BOLD sinyalinin güçlenmesine neden olur. Bu yenilikçi teknoloji, çevrimiçi veri analiziyle gerçek zamanlı kullanım imkanı sağlayarak, nörogeribildirim alanında yeni yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulama alanlarının genişlemesine katkıda bulunmuştur (Dewiputri & Auer, 2013).

Son yıllarda, çözümlenmiş nörogeribildirim (Decoded Neurofeedback - DecNef) ve fonksiyonel bağlantı temelli nörogeribildirim (Functional Connectivity based Neurofeedback - FCNef) gibi ileri düzey teknikler tanıtılmıştır. Bu yöntemler, sinirsel aktivite desenlerine veya beyin bölgeleri arasındaki bağlantılara odaklanarak daha hassas geri bildirim sağlamayı

mümkün kılar. Böylece, yalnızca ilgi ağı ortalama aktivasyon seviyeleri yerine, daha özgül beyin ağları üzerinde çalışmalar yapılır. Çok değişkenli analiz ve bilinçaltı öğrenme protokollerinin entegrasyonu ile katılımcılara farkında olmadan daha etkili geri bildirim sağlanarak, daha karmaşık bilişsel işlemlere ilişkin beyin aktivitesinin düzenlenmesi mümkün olur (Watanabe vd., 2017).

fMRI nörogeribildiriminin gelişimi dört önemli yönde ilerlemiştir. İlk olarak, kapalı nörogeribildirim, katılımcıların hangi beyin fonksiyonlarının eğitildiğini bilmeden etkili sonuçlar elde edebileceklerini göstermiştir. İkinci olarak, dışsal ödüller yerine sadece görsel ve işitsel geri bildirim puanları kullanılarak katılımcıların beyin aktivasyonlarını düzenlemesi sağlanmıştır. Üçüncü olarak, çok değişkenli yöntemler sayesinde fMRI sinyalleri daha hassas bir şekilde modüle edilmiştir. Son olarak, bağlantı tabanlı nörogeribildirim, beyin ağlarındaki etkileşimleri değiştirmeyi mümkün kılarak psikiyatrik bozuklukların biyobelirteçlerine katkı sağlamıştır (Watanabe vd., 2017).

Bu ilerlemeler, fMRI nörogeribildiriminin etkinliğini artırmış ve daha geniş uygulama alanları yaratmıştır. Hem klinik hem de klinik olmayan uygulamalarda bilişsel performansı iyileştirme ve psikolojik bozuklukların tedavisi gibi alanlarda umut verici sonuçlar elde edilmiştir (Linhartová vd., 2019). Ancak, geri bildirim yorumlanması ve sinirsel davranış üzerindeki etkileri konusunda hâlâ bazı zorluklar bulunmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, fMRI nörogeribildiriminin potansiyelini daha da keşfetmek, protokolleri optimize etmek ve klinik kullanımlarını genişletmek için kritik öneme sahiptir.

3. Kantitatif Elektroensefalografi Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi

Kantitatif Elektroensefalografi (Quantitative Electroencephalography - qEEG), beynin elektriksel aktivitelerini nicel olarak analiz etmeye yönelik ileri bir teknolojidir ve nörogeribildirim sistemlerinde bireysel protokollerin geliştirilmesi için önemli bir araçtır. EEG sinyalinin farklı bileşenlerini anlamaya yönelik ilk çalışmalar 1930'larda başlasa da, bilgisayarların veri işleme kapasitelerinin artışıyla qEEG teknolojisindeki önemli ilerlemeler mümkün hale gelmiştir. Bu gelişmeler, bireylerin beyin aktivitelerinin sağlıklı bir referans grubuyla karşılaştırılmasını sağlayan normatif veritabanlarının geliştirilmesiyle birlikte, nörogeribildirim protokollerinin kişiselleştirilmesine olanak tanımıştır (Wigton & Krigbaum, 2015).

qEEG tabanlı nörogeribildirim (qNGB), bireyin beyin aktivitelerindeki sapmaları normatif Z-skorumları kullanarak değerlendirilen ve bu sapmalara dayalı kişiselleştirilmiş protokoller geliştiren bir yaklaşımdır. Bu yöntem, bireyin beyin aktivitelerini normatif değerlere ($Z=0$) yaklaştırmayı hedefler ve bu süreçte dikkat eksikliği, anksiyete ve depresyon gibi nörolojik bozuklukların tedavisinde önemli bir araç olarak öne çıkar. Özellikle yüksek

beta frekanslarının anksiyete ve irritabiliteyle ilişkilendirildiği durumlarda bu frekansların azaltılmasını hedefleyen protokoller uygulanırken, düşük alfa frekanslarının depresyonla ilişkilendirildiği durumlarda ise bu frekansların artırılması amaçlanır.

Normatif veritabanlarının kullanımı, bireyin EEG aktivitelerindeki sapmaları analiz ederek daha dengeli ve stabil bir beyin fonksiyonu elde edilmesini sağlar. Ayrıca, qNGB protokolleri bireyin klinik geçmişi ve semptomlarına göre özelleştirilir ve gerektiğinde modifiye edilerek maksimum klinik fayda sağlamayı hedefler. Bu yaklaşımlar, nörogeribildirim alanında kişiselleştirilmiş tedavi süreçlerinin geliştirilmesine öncülük ederek daha esnek ve etkili bir yöntem sunmaktadır (Wigton & Krigbaum, 2015).

4. Düşük Çözünürlüklü Elektromanyetik Tomografi Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi

Düşük Çözünürlüklü Elektromanyetik Tomografi (Low-Resolution Electromagnetic Tomography - LORETA), EEG sinyallerini kullanarak beyindeki elektriksel nöronal aktivitenin üç boyutlu bir uzayda dağılımını tahmin eden popüler bir ters çözümleme tekniğidir. Bu yöntem, kafa derisine yerleştirilen elektrotlardan elde edilen yüzey sinyallerini analiz ederek, beynin derin kortikal yapılarındaki elektriksel aktiviteyi uzamsal olarak düşük çözünürlüklü bir harita halinde sunar. EEG, beyin yüzeyindeki elektriksel potansiyel farklarını ölçerken, LORETA bu farkların kaynaklarını, yani beyin dokusundaki akım yoğunluğunu tahmin eder ve çözüm sonuçlarını kanıtlanmış beyin atlaslarıyla (örneğin, Talairach veya Lancaster atlasları) eşleştirerek işlevsel haritalar oluşturur. Bu, beyindeki nörolojik aktivitelerin daha derin ve bütüncül bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlar (Congedo, 2003).

LORETA'nın ters çözümleme tekniği sayesinde, EEG'nin geleneksel olarak yalnızca yüzeye sınırlı olan sinyalleri beynin derin yapılarındaki elektriksel aktiviteyi de haritalayabilir. Yöntem, tüm beyin hacmi boyunca akım dağılımını hesaplar ve sınırlı sayıda dipol kaynağı varsayımı yapmak yerine daha esnek ve doğru sonuçlar sunar. Bu sayede, sinirsel aktivitenin beyindeki farklı bölgelerle ilişkilendirilmesi açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Ancak, yöntemin bazı sınırlamaları da vardır. Örneğin, beyindeki elektriksel aktivite kaynaklarının sınırlarının net bir şekilde belirlenememesi ve derin yapılardan gelen sinyallerin zayıflığı nedeniyle rekonstrüksiyonun bulanık hale gelmesi önemli bir dezavantajdır. Ayrıca, yüzeye yakın aktivitelerin derinliklerini olduğundan fazla tahmin etme eğilimi, göz hareketleri ve yüz kaslarının hareketi gibi fizyolojik artefaktlar ile çevresel gürültülere duyarlılığı, sonuçların doğruluğunu olumsuz etkileyebilir (Congedo, 2003).

LORETA, nörogeribildirim ve nöroterapi gibi alanlarda, özellikle anksiyete, depresyon ve dikkat eksikliği gibi nöropsikiyatrik bozuklukların

tedavisinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Derin yapıları analiz edebilme yeteneği, araştırmacılar ve klinik uzmanlar için önemli bir avantaj sağlamakta, bireylerin beyin aktivitelerini daha bilinçli bir şekilde düzenlemelerine olanak tanımaktadır (Koberda, 2015).

5. *Canlı Z-Skor Nörogeribildirim Sistemi*

Canlı Z-skoru eğitimi (Live Z-Score Training - LZT), EEG biyogeribildirim sistemlerinde gerçek zamanlı olarak normatif Z-skorumlarının hesaplanmasını, görüntülenmesini ve işlenmesini sağlayan bir yaklaşımdır. Genellikle kafaya yerleştirilen iki veya daha fazla elektrot kullanılarak gerçekleştirilen bu yöntem, beyin farklı işlevlerini (örneğin, güç, asimetri, faz gecikmesi, tutarlılık) bilimsel olarak geliştirilmiş normatif veritabanlarıyla karşılaştıran sürekli hesaplamalar yapar. Canlı Z-skorumları, bireyin anlık beyin durumunu yansıtarak dinamik ve kapsamlı bir değerlendirme sunarken, sağlanan geri bildirim, hastanın yaş grubuna göre bu anlık istatistiksel karşılaştırmalara dayalı olarak düzenlenir. Geri bildirim genellikle kişinin beyin aktivitesi normlara daha yakın olduğunda netleşen ve parlaklaşan bir görüntü izlemeyi, normlardan sapıldığında ise görüntünün soluklaşarak titremeye başlamasını içerir. Bu süreç, bireyin beyin işlevlerini çok boyutlu bir şekilde eğitmeyi hedefler ve nöronal aktiviteleri optimize etmek için kapsamlı bir araç sunar. Diğer biyogeribildirim yöntemlerine benzer şekilde, bu yöntem de beyni normalleştirilmiş işlevlere yönlendirmeyi amaçlar. Canlı Z-skoru eğitimi üzerine yapılan çalışmalar, genellikle vaka serileri şeklinde sunulmuş olup, yöntemin potansiyel faydalarını destekleyen birçok bilimsel veri içermektedir (Budzynski vd., 2009; D. C. Hammond, 2011).

Z-skoru nörogeribildirim, bireyin beyin aktivitesinin sağlıklı bir grup ortalamasından ne kadar farklı olduğunu ölçerek bu farklılıkları daha dengeli ve istikrarlı bir hale getirmeyi amaçlar. Aynı zamanda, belirgin sapmaların (yüksek veya düşük Z-skorumları) neden olduğu semptomların tedavisi için bir yol haritası sunar (Thatcher, 2013). LZT eğitimi, gerçek zamanlı analiz yeteneğiyle bireyin beyin aktivitesini normalleştirme süreçlerine dinamik bir yaklaşım sunar ve geleneksel biyogeribildirim yöntemlerine kıyasla daha esnek ve kişiselleştirilmiş bir deneyim sağlar.

6. *Düşük Enerjili Nörogeribildirim Sistemi*

Dr. Len Ochs tarafından geliştirilen Düşük Enerjili Nörogeribildirim Sistemi (Low Energy Neurofeedback System, LENS), hem fiziksel hem de psikolojik travmalardan etkilenmiş beyinlerdeki elektriksel aktivitenin düzenlenmesine yardımcı olan bir yöntemdir. LENS, beyin baskın EEG frekansını temel alır ve bu frekanstan biraz daha yüksek bir ofset frekansı oluşturur. Bu frekans, radyo frekansı taşıyıcı dalgası şeklinde beyne iletilerek elektriksel aktivitenin yeniden düzenlenmesine yardımcı olur. Bu süreç,

beynin kendi sinyallerini optimize etmesini ve normal işlevine dönmesini hedefler. Bu sıra dışı biyolojik geri bildirim yöntemi, geri bildirim fark edilmez şekilde sunulması ve deneğin tamamen pasif bir durumda kalmasıyla öne çıkar (S. Larsen vd., 2006).

LENS'in en önemli avantajlarından biri, tedavinin hızlı ve etkili bir şekilde uygulanabilmesidir. Bir seans süresi bir saniye kadar kısa olabilir ve bu süre zarfında yüksek etkinlik sağlayabilir. Non-invaziv yapısı, düşük teknolojik bir prosedürle çalışması ve hastanın sinir sistemi tepkisi ile nörolojik hassasiyetine göre uyarlanabilir olması, LENS'i diğer yöntemlerden farklı kılar. Ayrıca, hiperaktif bireyler gibi iş birliği gereksinimi düşük olan hastalarda bile etkili sonuçlar alınabilir (C. Hammond, 2007).

LENS, geleneksel nörogeribildirim yöntemlerine kıyasla farklı bir yaklaşımla çalışır. Geleneksel yöntemler, genellikle semptomlara veya qEEG beyin haritalarındaki anormalliklere dayalı olarak sınırlı sayıda elektrot sahasını hedef alırken, LENS daha geniş bir alanı kapsar. Bu yöntem, topografik EEG haritalarını kullanarak genlik ve değişkenliğe dayalı seçimler yapar. Tedavi sırasında geri bildirim sinyalleri her saniyede 16 kez güncellenir ve EEG'nin baskın frekansına göre ayarlanır. Bu özellikler, tedavi sürecini daha esnek ve etkili hale getirir (C. Hammond, 2007).

LENS'in uygulama alanları oldukça geniştir. Travma sonrası stres bozukluğu (H. S. Larsen, 2009), depresyon, anksiyete (Blaskovits vd., 2017), öfke kontrolü (D. C. Hammond, 2010) ve fibromiyalji (Torres vd., 2024) gibi psikolojik ve nörolojik rahatsızlıklarda etkili bir şekilde kullanılabilir. Bunun yanında, merkezi sinir sistemi rahatsızlıkları bulunan çocuklar ve yetişkinler, hiperaktif bireyler ve öğrenme güçlüğü yaşayan hastalar için de etkili bir tedavi yöntemi sunar. Tedavi sırasında kullanılan geri bildirim sinyalleri farklı yoğunluk, frekans ve dalga biçimlerine sahip olabilir ve bu özellikler klinik etkiler üzerinde çeşitli sonuçlar doğurabilir.

LENS, geleneksel nörogeribildirim yöntemlerinden farklı bir perspektif sunar. Hızlı, etkili ve uyarlanabilir özellikleriyle dikkat çeken bu yöntem, geniş bir yelpazede rahatsızlıkları hedef alabilir ve farklı popülasyonlarda başarıyla uygulanabilir. LENS, gelecekte nörogeribildirim alanında önemli bir yer edinebilecek potansiyele sahiptir ve tedavi seçeneklerini genişleten bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

7. *Yavaş Kortikal Potansiyel Tabanlı Nörogeribildirim Sistemi*

Yavaş Kortikal Potansiyeller (Slow Cortical Potential - SCP), kortikal elektriksel aktivitenin birkaç yüz milisaniyeden birkaç saniyeye kadar süren uzun süreli değişimlerini ifade eder. SCP'ler, hem dış uyaranlarla tetiklenebilen hem de herhangi bir dış etki olmaksızın kendiliğinden ortaya çıkabilen sinyaller olarak, bilgi işleme süreçlerini düzenlemede ve beynin içsel durumlarını yansıtmada önemli bir rol oynar. Bu sinyal grubuna, motor

ve duyu-motor ritimlerin yanı sıra motor dışı bilişsel görevler gibi farklı sinyaller de dahildir (Gevensleben vd., 2014; Golub vd., 2016)

Motor ve duyu-motor sinyallerin kontrolü, çeşitli bilişsel süreçlerin birbiriyle uyumlu bir şekilde çalışmasını gerektirir. Beyin, duyu bilgileri birleştirir, yaklaşan hareketleri planlar, motor komutların sonuçlarını öngörür ve hem bedensel hem de çevresel değişimlere adapte olur. Duyu-motor kontrolünün en önemli özelliklerinden biri, motor becerilerin zamanla öğrenilebilir, uyarlanabilir ve geliştirilebilir olmasıdır. Ancak, bu karmaşık süreçler, altında yatan sinirsel mekanizmaların derinlemesine anlaşılmasını zorlaştırmaktadır (Golub vd., 2016)

Negatif SCP'lerin, altta yatan nöral yapılar için uyarılma eşliğini düşürdüğü ve bilişsel veya davranışsal hazırlık süreçlerini kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Pozitif SCP'ler ise kortikal uyarılmanın azaldığını gösterir ve genellikle davranışsal inhibisyon ile ilişkilendirilir. Örneğin, negatif SCP'ler daha hızlı reaksiyon süreleriyle ilişkilendirilirken, pozitif SCP'ler azalmış irkilme refleksleriyle ilişkilendirilir. Koşullu Negatif Varyasyon (Contingent Negative Variation - CNV), SCP'lerin dikkat, motivasyon ve motor hazırlık süreçlerindeki önemini gösteren özel bir örnektir. CNV, prefrontal korteks, motor alanlar ve anterior singulat korteks gibi bölgelerin aktivitesine dayanır. CNV'nin erken bileşenleri genellikle motor alanlarla, geç bileşenleri ise frontal korteks ve talamusla ilişkilidir (Gevensleben vd., 2014).

SCP nörogeribildiriminde, sinyallerin doğru şekilde kaydedilmesi ve işlenmesi büyük önem taşır. Bu amaçla, çok düşük frekansları algılayabilen bir amplifikatör ve artefaktları kontrol etmek için dikey ve yatay Elektrookülogram (EOG) kullanımı gereklidir. Göz hareketleri, kas aktivitesi ve duruş değişikliklerinden kaynaklanan artefaktlar SCP kayıtlarını bozabileceğinden, çevrimiçi düzeltme algoritmalarının uygulanması önemlidir. Ayrıca, elektrotların doğru yerleşimi ve düşük empedanslı (5 kOhm'un altında) elektrotların kullanımı, kayıt doğruluğunu artırır (Strehl, 2009)

SCP eğitimi sırasında, bireylerden kortikal uyarılabilirliği artırmak için negatif kaymalar veya kortikal inhibisyonu sağlamak için pozitif kaymalar üretmeleri istenir. Bu süreç genellikle görsel veya işitsel geribildirimlerle desteklenir. Teknik gerekliliklere dikkat edilmesi, SCP nörogeribildiriminin etkinliğini ve güvenilirliğini artırır (Strehl, 2009).

SCP nörogeribildirim, dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu, epilepsi ve migren gibi rahatsızlıkların tedavisinde etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. SCP'lerin bireylerin kortikal süreçlerini bilinçli bir şekilde düzenlemelerine olanak tanınması, bu teknolojiyi hem klinik hem de araştırma perspektifinde değerli bir araç haline getirmektedir. Ancak, SCP nörogeribildiriminin klinik etkinliği ve uzun vadeli etkileri hakkında daha fazla ampirik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Gevensleben vd., 2014; Strehl, 2009).

Nörogeribildirimde Kullanılan Çeşitli Yazılımlar

Nörofeedback eğitimi olarak da bilinen süreçte, motorla ilgili kortikal sinyalleri yardımcı robotik veya elektriksel uyarım cihazlarına bağlamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, aktif motor eğitimi sırasında beyin ve cihaz arasında bir köprü kurarak işlevsel iyileşmeyi destekler. Literatürde bu tür uygulamaların değişken, ancak çoğunlukla olumlu sonuçlar sağladığı bildirilmektedir. Bu yaklaşımlar, nörogeribildirim yazılımlarının rehabilitasyon ve tedavi süreçlerinde sunduğu yenilikçi çözümleri temsil etmektedir (Behboodi vd., 2022). Beyin ve cihaz etkileşimlerini güçlendiren bu yöntemlerin yanı sıra, mobil teknolojilerin entegrasyonu da nörogeribildirim süreçlerinde önemli bir yenilik sunmaktadır.

Son yıllarda, nörogeribildirim yazılımlarında taşınabilirlik ve erişilebilirlik konularına yönelik önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Mobil teknolojilerin hızlı gelişimi, nörogeribildirim sistemlerinin yalnızca laboratuvar ortamında değil, gündelik yaşamın bir parçası olarak da kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda, mobil uygulamalar ve sanal gerçeklik teknolojileri, nörogeribildirim yazılımlarını hem taşınabilir hem de kullanıcı dostu hale getiren yenilikçi çözümler sunmaktadır.

Mobil Nörogeribildirim Yazılımları

Mobil nörogeribildirim yazılımları, taşınabilirlik ve erişilebilirlik avantajlarıyla eğitimden psikolojik desteğe kadar geniş bir yelpazede etkili çözümler sunmaktadır. Bu yazılımlar, kullanıcıların bilişsel ve duygusal durumlarını düzenlemelerine yardımcı olmayı hedeflerken, düşük maliyetli ve kullanıcı dostu özellikleriyle dikkat çekmektedir. Aşağıda bu alanda öne çıkan bazı uygulamalar ele alınmıştır.

Stopczynski vd. tarafından geliştirilen Smartphone Brain Scanner 2 (SBS2), nörogeribildirim yazılımlarını taşınabilir bir boyuta taşıyan açık kaynaklı bir yazılım platformudur. Bu yazılım, kablosuz EEG başlıklarını Android akıllı telefonlar veya tabletlerle entegre ederek, gerçek zamanlı 3 boyutlu kaynak yeniden yapılandırması ve nörogeribildirim eğitimi gibi uygulamalarda kullanılabilir. SBS2, zamanla senkronize edilmiş görsel-işitsel uyarıların (metin, resim veya video) sunulmasını sağlarken, mobil cihazlar üzerinde nörogörüntüleme yanıtlarının yakalanmasına da olanak tanır. Düşük maliyetli tüketici donanımını etkili bir şekilde bir beyin görüntüleme laboratuvarına dönüştüren bu teknoloji, nörogeribildirim yazılımlarının erişilebilirliğini artırmakta ve uygulama alanlarını genişletmektedir (Stopczynski vd., 2014).

Bunun yanı sıra, çocukların kaygılarını düzenleme becerilerini geliştirmek amacıyla tasarlanan 'Mind-Full', düşük sosyoekonomik statüye sahip okullardaki küçük çocuklara yönelik bir başka dikkat çekici mobil uygulamadır. Bu yazılım, hem okulda hem de evde çocukların kaygı

düzelelerini yönetmelerine yardımcı olmuş; kaygılı davranışların ev ortamında azaldığını, okul performanslarının iyileştiğini ve kortizol testleriyle fizyolojik stres seviyelerinde belirgin düzelme olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, Mind-Full'un bireylerin duygusal düzenlemelerini desteklemede etkili bir araç olduğunu ve nörogeribildirim yazılımlarının toplumsal fayda sağlayan çözümler üretme potansiyelini ortaya koymaktadır (Antle vd., 2019).

Benzer şekilde, disleksili çocukların okuma anlayışını, okuma hızını ve diğer okuma becerilerini geliştirmeyi amaçlayan 'Auto Train Brain', nörogeribildirim ve çok duyulu öğrenme yöntemlerini bir araya getiren yenilikçi bir mobil uygulamadır. Klinik bir çalışmada, Auto Train Brain'in okuma becerileri üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen bilişsel gelişmeler, özel disleksi eğitimiyle elde edilen gelişmelerle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, nörogeribildirim ve çok duyulu öğrenme yönteminin uygulanmasının deney grubunun okuma anlayışını kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha fazla geliştirdiğini göstermiştir. Hem Auto Train Brain hem de özel eğitim, fonemik farkındalığı ve sözcük olmayan yazımı geliştirme konusunda etkili bulunmuştur (Eroğlu vd., 2022).

Mobil nörogeribildirim yazılımlarının bu örnekleri, bireylerin duygusal ve bilişsel gelişimini destekleme potansiyelleriyle, eğitim ve sağlık gibi alanlarda değerli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu yazılımlar, nörogeribildirim teknolojilerinin daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlayarak, bireysel ve toplumsal fayda yaratmayı hedeflemektedir.

Oyun Tabanlı Nörogeribildirim Yazılımları

Nörogeribildirim yazılımlarının eğlence ve eğitim alanlarındaki yenilikçi uygulamaları, kullanıcıların bilişsel becerilerini geliştirme potansiyeliyle dikkat çekmektedir. Özellikle oyun tabanlı nörogeribildirim yazılımları, bireylerin dikkat sürelerini artırmak, kaygı düzeylerini azaltmak ve öğrenme süreçlerini desteklemek gibi önemli faydalar sağlamaktadır. Bu bağlamda, farklı yaklaşımlar ve uygulamalar aşağıda ele alınmıştır.

Dikkat tabanlı oyunlar, nörogeribildirim teknolojilerinin bilişsel becerileri geliştirmedeki potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda yapılan bir çalışmada, oyuncuların EEG sinyallerinin örnek entropi değerleriyle ölçülen dikkat düzeylerini kullanarak bir matrisi doldurmasını gerektiren bir oyun tasarlanmıştır. Oyuncuların dikkat seviyeleri oyunun temel kontrol parametresi olarak belirlenmiş ve nörogeribildirim etkisi bu oyun üzerinden incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, nörogeribildirim ile EEG tabanlı oyunların dikkat puanlarını ve bilişsel becerileri artırmada etkili bir araç olduğunu göstermiştir (Thomas & Vinod, 2016).

Bunun yanı sıra, hazır bilgisayar oyunlarını nörogeribildirim oyunlarına dönüştürme fikri, oyunlarının eğlenceli yönünü koruyarak eğitsel etkilerini artırmayı hedeflemektedir. Bu, oyunları zihinsel veya fiziksel durumların düzenlenmesine destek olmak için etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Ancak mevcut nörogeribildirim oyunlarının genellikle yüksek maliyetli olması ve uzun süre boyunca ilgi çekiciliğini koruyamaması, bu alanda önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu soruna çözüm olarak geliştirilen bir sistem, hazır bilgisayar oyunlarını nörogeribildirim oyunlarına dönüştürmeyi mümkün kılarak, çocukların ilgisini daha uzun süre canlı tutmayı hedeflemektedir. Sistem, çocuğun algılanan fizyolojik durumuna bağlı olarak ekran öğelerinin karartılmasını sağlayan doku tabanlı grafik katmanları kullanır ve bu katmanlar, oyunun genel görsel tasarımıyla uyumlu olacak şekilde özelleştirilebilir. Bu yaklaşım, çocukların ilgisini daha uzun süre canlı tutmayı başarmış ve nörogeribildirim eğitimini etkili bir şekilde desteklemiştir (Mandryk vd., 2013).

Elektroensefalogram, bireylerin zihinsel durumlarını izlemek için yaygın bir araçtır. EEG monitörlerinden elde edilen geri bildirimler, nörogeribildirimle birleştirilerek kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik durumlarını düzenlemelerine yardımcı olur. Bu yaklaşım, hem fiziksel hem de psikolojik iyileşme süreçlerini destekler. Motor imgelemeye dayalı olarak geliştirilen bir zihin kontrollü oyun, BCI tasarımıyla video oyunu deneyimini birleştirir. Bu oyun, EEG sinyallerini analiz ederek sol ve sağ el motor imgelemesini sınıflandırır. Oyun, kullanıcıların dikkat sürelerini geliştirmelerine yardımcı olmak amacıyla nörogeribildirimi görsel bir şekilde sunar. EEG sinyalleri sadece izleme için değil, aynı zamanda oyunun kontrolü için de kullanılır, böylece kullanıcı ve oyun arasında etkileşimli bir döngü oluşturulur. Oyun, EEG sinyallerini analiz ederek kullanıcıların dikkat seviyelerini artırmada etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda, bu oyun kullanıcı ile oyun arasında etkileşimli bir döngü oluşturarak hem eğlence hem de dikkat süresi eğitimi sağlamaktadır (Yang vd., 2018).

BCI tabanlı video oyunları arasında yer alan 'FarmerKeeper', kullanıcıların dikkat düzeylerini belirli bir eşğin üzerinde tutmalarını gerektiren bir mekanizma ile çalışır. Oyunun amacı, kayıp çiftlik hayvanlarını arayan bir karakteri kontrol ederek dikkat odaklı nörogeribildirim eğitimine destek sağlamaktır. Çalışma, dikkat artırma ve kaygı azaltma gibi önemli faydalar sağladığını ortaya koymuş ve oyun tabanlı nörogeribildirim yaklaşımlarının potansiyelini gözler önüne sermiştir (Mercado vd., 2019).

Genel olarak, oyun tabanlı nörogeribildirim yazılımları, yalnızca eğlence ve rahatlama sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda eğitim ve rehabilitasyon süreçlerine de katkıda bulunabilecek etkili araçlar sunmaktadır. Bu çeşitli uygulamalar, bireylerin bilişsel becerilerini geliştirme ve toplumsal fayda sağlama potansiyeli taşımaktadır.

Açık Kaynaklı Platformlar

Mobil cihazlarla çalışan yazılımların yanı sıra, 'NFBLab' gibi açık kaynaklı platformlar da nörogeribildirim süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. NFBLab, deneysel paradigmaların yeniden üretilebilirliğini

artırmayı ve bireyselleştirilmiş kafa modelleriyle kaynak tabanlı nörogeribildirim uygulamalarını desteklemeyi amaçlar. EEG ve Manyetoensefalografi (MEG) verilerinden elde edilen beyin ritimlerini analiz ederek, düşük gecikmeli geri bildirim sunma yeteneğiyle eğitim etkinliğini artırır. Lab Streaming Layer protokolü ve Fieldtrip tamponu aracılığıyla birçok EEG ve MEG cihazıyla uyumlu olan yazılım, standart BCI paradigmasını desteklemesi ve yenilikçi sinyal işleme algoritmaları ile öne çıkar (Smetanın vd., 2018) .

BBA Nörogeribildirim Yazılımları

Beyin bilgisayar arayüzü teknolojileri, nörogeribildirim uygulamalarının geliştirilmesi ve uygulanmasında önemli bir rol oynayarak, hem araştırma hem de klinik alanda yeni ufuklar açmaktadır. Bu kapsamda, ‘Pyff’, nörogeribildirim ve uyarıcı sunumu için geliştirilen Python tabanlı, platformdan bağımsız bir çerçeve olarak öne çıkmaktadır. Kullanıcı dostu yapısı sayesinde, nörobilimsel deneylerin geliştirilmesi ve yürütülmesini kolaylaştırırken, harici donanımlarla entegrasyon sağlayan çeşitli kütüphaneler içerir. Mevcut çözümler genellikle C++ veya Matlab gibi karmaşık platformlara dayanırken, Pyff bu süreci basitleştirerek, bilgisayar bilimci olmayan kullanıcıların da kullanımına olanak tanır. Psikofizik deneylerinden biyolojik geri bildirim ve BBA deneylerine kadar çok çeşitli alanlarda uygulanabilen Pyff, açık kaynaklı yapısıyla deneysel paradigmanın paylaşımını kolaylaştırır ve sonuçların yeniden üretilebilirliğine katkı sağlar. Bu yenilikçi araç, araştırma grupları arasında iş birliğini teşvik ederek, nörogeribildirim uygulamalarını daha erişilebilir hale getirmeyi hedeflemektedir (Venthur vd., 2010).

BBA tabanlı yazılımlar, nörogeribildirim uygulamalarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, özellikle acemi programcılar için kolayca kullanılabilir araçların eksikliği, bu alandaki ilerlemeyi sınırlamaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için geliştirilen ‘NeuroBlock’, blok tabanlı bir programlama yaklaşımı sunarak nörogeribildirim uygulamalarının tasarımını kolaylaştırmaktadır. Sistem, EEG cihazlarından elde edilen alfa ve beta dalga bantlarını analiz ederek, kullanıcıların duygusal durumlarına göre özelleştirilebilen uygulamalar geliştirilmesine olanak tanır. EEG verileri, Open Sound Control (OSC) protokolü ile gerçek zamanlı olarak bir web uygulamasına aktarılır ve programlanabilir sahne nesnelere kullanılarak görsel geri bildirim sağlanır. Kullanıcı dostu bir arayüze sahip olan NeuroBlock, Scratch benzeri bir tasarımı benimseyerek programlama sürecini basitleştirir. 40 katılımcıyla yapılan bir çalışmada, acemi programcıların NeuroBlock kullanarak etkili nörogeribildirim uygulamaları geliştirebildiği ve sistemi kullanıcı dostu bulduğu ortaya konulmuştur. Bu araç, nörogeribildirim alanında erişilebilirliği

artırarak BBA uygulamalarında yeni bir standart oluşturmaktadır (Crawford & Gilbert, 2017).

Nörogeribildirim, BBA teknolojisine dayalı olarak beyin aktivitesini düzenleyerek normalleştirilmiş beyin fonksiyonlarına ulaşmayı hedefler. Bu doğrultuda geliştirilen 'BrainKilter', dört katmanlı bir model temelinde çalışan bir EEG analiz platformudur. Platform, taşınabilirlik ve erişilebilirlik sunarak, kullanıcıların EEG işlemeyi, uyarım-indüksiyonu hedeflemeyi ve çevrimiçi veri analizini gerçekleştirmelerine olanak tanır. Özelleştirilebilir deneysel protokoller ve sinyal kod çözme modülleri sayesinde, araştırma ve klinik nörogeribildirim uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabilir. Sağlıklı bireylerde yapılan çok parametrelili nörogeribildirim eğitimlerinde, uyumsuzluk negatif sinyallerinin genliğini düzenleyerek etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır. BrainKilter, nörogeribildirim deneylerinin parametrelerini optimize etmek ve kullanıcı dostu bir ortam sunmak için tasarlanmıştır (Pei vd., 2020).

BBA tabanlı nörogeribildirim yazılımları, bireysel geri bildirim mekanizmalarıyla nörogeribildirim süreçlerini kolaylaştırarak hem klinik hem de eğitim alanında önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu yazılımlar, kullanıcı dostu ve etkili çözümler sağlayarak BBA teknolojilerinin daha geniş kitlelere ulaşmasını desteklemektedir.

Sanal Gerçeklik Tabanlı Nörogeribildirim Yazılımları

Sanal gerçeklik (Virtual Reality, VR), son yıllarda eğitimden rehabilitasyona kadar geniş bir yelpazede uygulama alanı bulan yenilikçi bir teknolojidir. Biyolojik sensörler ve nörogeribildirim sistemleriyle entegre edilen VR, bireylerin bilişsel ve duygusal durumlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesini mümkün kılmakta ve bu doğrultuda kullanıcıya özel geri bildirim mekanizmaları sunmaktadır.

VR, eğitim materyallerine erişim için öğrencilere heyecan verici yeni olanaklar sunmaktadır. Biyolojik sensörlerle entegre edildiğinde, sanal eğitim ortamlarında öğrencilerin fizyolojik durumları ve bilişsel aktiviteleri anlık olarak izlenebilir hale gelmektedir. Örneğin, EEG tabanlı bir nörogeribildirim sistemi sayesinde öğrencilerin dikkat düzeyi ve stres seviyesi gibi belirteçler analiz edilebilir. Bu analizler doğrultusunda, sanal gerçeklik ortamı öğrencinin bireysel ihtiyaçlarına göre adapte edilebilir ve böylece kapalı devre bir geri bildirim sistemi oluşturulur. Bu entegrasyon, bireyselleştirilmiş öğrenme deneyimlerini desteklemekle kalmaz, aynı zamanda bilişsel performansı artırma potansiyeli taşır. Eğitimde sanal gerçeklik ve nörogeribildirim teknolojilerinin birleşimi, öğrenci katılımını artırmak ve daha verimli öğrenme süreçleri sunmak için güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır (Hubbard vd., 2017).

Nörogeribildirim eğitimi, bireylerin duygusal düzenleme kapasitelerini güçlendirmeyi hedeflerken, VR teknolojisinin bu süreçteki entegrasyonu

etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Olumsuz duyguların düzenlenmesi amacıyla beta bant gücünü azaltmayı hedefleyen bir araştırmada, VR tabanlı bir nörogeribildirim yazılımı kullanılmış ve Uluslararası Duygusal Resim Sistemi'nden seçilen negatif görseller uyaran olarak sunulmuştur. Bu çalışma, VR tabanlı nörogeribildirim sistemlerinin fizyolojik tepkilerle davranışsal performans üzerindeki etkilerini inceleyerek gelecekteki araştırmalar için sağlam bir temel oluşturmaktadır (Arpaia vd., 2022).

Genç katılımcılarla yapılan bir çalışmada, VR tabanlı nörogeribildirim sistemlerinin dikkatsizlik ve dürtüsellik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Katılımcılar kontrol grubu, VR grubu ve VR olmayan grup olmak üzere üçe ayrılmıştır. VR ve VR olmayan gruplar, iki hafta boyunca sekiz seans nörogeribildirim eğitimi alırken, kontrol grubuna herhangi bir müdahale yapılmamıştır. VR grubu, sanal dünyaya erişim sağlamak için başa takılan ekran (HMD) ve baş izleyici kullanırken, VR olmayan grup sabit bir bakış açısıyla bilgisayar monitörü üzerinden eğitim almıştır. Eğitim sonrası uygulanan sürekli performans görevi sonuçları, VR ve VR olmayan grupların performansında artış olduğunu, kontrol grubunda ise anlamlı bir değişim olmadığını göstermiştir. Özellikle VR grubunun daha iyi sonuçlar elde etmesi, VR tabanlı nörogeribildirim sistemlerinin dikkatsizlik ve dürtüsellikğin rehabilitasyonunda etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır (Cho vd., 2004).

VR teknolojisi nörogeribildirim yazılımlarını yeniden şekillendiren önemli bir araçtır. Kullanıcıya sürükleyici bir 3 boyutlu simülasyon ortamı sağlayan VR, nörogeribildirimde yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. VR teknolojisi, sağlıklı bireylerin eğlencesinden, fiziksel veya zihinsel bozuklukları olan bireylerin rehabilitasyonuna kadar birçok alanda beyin bilgisayar arayüzü sistemleriyle ilişkilendirilmiştir. Duygu düzenleme süreçlerine entegrasyonu, kullanıcıların duygusal uyaranlara daha doğal ve derin bir şekilde odaklanmasını sağlarken, sezgisel ve antropomorfik geri bildirimler üretme potansiyeli taşır. Özellikle 3 boyutlu sanal insanlar, duygusal yüz ifadeleri, konuşma ve duruşlarla zenginleştirilmiş geri bildirimler sunarak, monoton metin tabanlı geri bildirimlerin yerini alabilir. Bu yenilikçi yaklaşım, nörogeribildirim yazılımlarının kullanıcı deneyimini dönüştürme ve daha etkili çözümler sunma potansiyeline sahiptir (K. Li vd., 2024).

VR tabanlı nörogeribildirim yazılımları, bireylerin dikkat, duygusal düzenleme ve bilişsel performans gibi önemli becerilerini geliştirme potansiyeli sunarak, hem eğitim hem de rehabilitasyon süreçlerinde güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. VR'nin sürükleyici yapısı ve biyolojik geri bildirim sistemleriyle entegrasyonu, yalnızca kullanıcı deneyimini iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda bu teknolojilerin daha geniş kitlelere erişimini sağlamaktadır. Bu yenilikçi yaklaşımlar, gelecekte nörogeribildirim

yazılımlarının daha etkili ve erişilebilir çözümler sunmasına olanak tanımaktadır.

Klinik ve Bilişsel Uygulamalar

1. Uykusuzluk Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Uykusuzluk, uykuya dalma, uykuyu sürdürme veya erken uyanma gibi uyku kalitesini etkileyen zorluklarla karakterize bir uyku bozukluğudur. Hem fiziksel hem de zihinsel sağlık üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Uykusuzluk, yalnızca sıkıntıya neden olmakla kalmaz, aynı zamanda solunum ve kalp hastalıkları gibi fiziksel sağlık sorunları ve ruhsal bozukluklarla da güçlü bir ilişki içindedir. Araştırmalar, uykusuzluğun genellikle aşırı uyarılma ile bağlantılı olduğunu göstermektedir. Bu durum, artan kalp atış hızı, kortikal aktivasyon ve kas gerginliği gibi biyolojik belirtilerle kendini gösterir.

Günümüzde uykusuzluğun tedavisinde iki ana yaklaşım öne çıkmaktadır:

- Farmakolojik Tedavi: İlaçlar kısa vadede etkili olabilir, ancak uzun vadeli kullanımları bilişsel ve motor koordinasyon sorunlarına, bağımlılığa ve geri tepme uykusuzluğu gibi istenmeyen yan etkilere yol açabilir.
- Bilişsel Davranışçı Terapi (Cognitive Behavioral Therapy - CBT-I): CBT-I, uyku düzenini ve uykuya dair olumsuz düşünceleri ele alarak etkili bir yöntem olarak öne çıkar. Ancak, CBT-I'nin aşırı uyarılmayı azaltmadaki etkisi sınırlıdır ve tedavi edilen hastaların yalnızca %60'ı tedavi sonrası "iyi uyuyan" olarak kabul edilmektedir.

Aşırı uyarılmanın uykusuzlukta önemli bir rol oynadığı göz önünde bulundurulduğunda, bu durumu düzenlemeyi hedefleyen tedavi yöntemleri dikkate değerdir. Nörogeribildirim, uykusuzluk tedavisinde kullanılan alternatif bir yöntemdir. Uzun vadeli faydalar sağlayabilen bu yöntem, kortikal aktiviteyi hedef alarak aşırı uyarılmayı azaltmayı amaçlar (Lambert-Beudet vd., 2021).

Aşırı uyarılmanın uykusuzlukta önemli bir rol oynadığı göz önünde bulundurulduğunda, bu durumu düzenlemeyi hedefleyen tedavi yöntemleri dikkate değerdir. Uzun vadeli faydalar sağlayabilen nörogeribildirim, kortikal aktiviteyi hedef alarak aşırı uyarılmayı azaltmayı amaçlar. Bu tedavi, aşırı uyarılmanın yarattığı olumsuz etkileri azaltarak uykuya dalma, uykuyu sürdürme ve genel uyku kalitesinde iyileşmeler sağlar. Literatürdeki çalışmalar, nörogeribildirim uykusuzluk semptomlarının tedavisinde etkili bir alternatif olabileceğini ve uzun vadeli sonuçlar açısından umut vaat ettiğini ortaya koymaktadır (Lambert-Beudet vd., 2021).

Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular

Hammer vd., iki farklı Z-skor nörogeribildirim (NGB) protokolü, uykusuzluk tedavisinde uyku kalitesini ve gündüz işlev bozukluklarını iyileştirme potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. Katılımcılar, modifiye edilmiş Sensörimotor Ritim (SMR) ve bireysel olarak tasarlanmış protokollere rastgele atanmış ve toplamda 15 adet 20 dakikalık NGB seansı almıştır. Çalışma sonucunda, Uykusuzluk Şiddeti İndeksi (ISI), Pittsburgh Uyku Kalitesi Envanteri (PSQI) ve yaşam kalitesinde anlamlı iyileşmeler gözlenmiştir. EEG analizlerinde, başlangıçta yüksek delta ve beta güç seviyelerinin tedavi sonrası azaldığı ve tüm katılımcıların normal uyku düzenine kavuştuğu tespit edilmiştir. İki grup arasında önemli bir fark olmaması nedeniyle, gelecekteki çalışmalarda uygulanması daha kolay olan SMR protokolünün tercih edilmesini önermiştir (Hammer vd., 2011).

Kwan vd., kortikal uyarılmayı azaltmaya yönelik nörogeribildirim protokolünün, bilişsel-davranışçı tedaviye kıyasla uykusuzluk üzerindeki etkisini incelemiştir. On yedi uykusuzluk hastası, NGB veya CBT-I gruplarına rastgele atanmıştır. Nörogeribildirim grubunda beta dalgalarında azalma, teta ve alfa dalgalarında artış gözlenmiş, bu da kortikal uyarılmanın azaldığını göstermiştir. Her iki grupta da uykusuzluk şiddeti indeksi ve Pittsburgh uyku kalitesi indeksi puanlarında anlamlı azalmalar görülmüş, uyku verimliliği ve memnuniyeti artmıştır. Ancak, uyku hakkında işlevsiz inançlar ve tutumlar puanları sadece CBT-I grubunda azalmıştır. Sonuçlar, nörogeribildirim kortikal hiper uyarılmayı azaltarak uykusuzluk semptomlarını hafiflettiğini, ancak bilişsel işlev bozukluklarını iyileştirmede CBT-I kadar etkili olmadığını göstermektedir (Kwan vd., 2022).

Schabus vd., sensörimotor ritim NGB'nin uykusuzluk tedavisindeki etkinliğini, çift kör plasebo kontrollü bir tasarımla test edilmiştir. Uykusuzluğu olan 25 hasta üzerinde yapılan araştırmada, nörogeribildirim ve plasebo geri bildirim grupları arasında uyku şikayetlerinde öznel iyileşme açısından fark bulunmamış, bu iyileşmelerin spesifik olmayan plasebo etkilerinden kaynaklandığı görülmüştür. Nesnel elektroensefalografik ölçümler ve uyku parametrelerinde herhangi bir değişiklik saptanmamıştır. Sonuçlar, NGB'nin uykusuzluk için bilişsel davranışçı terapiye bir alternatif olamayacağını ve etkinliğinin daha fazla araştırılmasını gerektirdiğini göstermektedir (Schabus vd., 2017).

Cortoos vd., merkezi sinir sistemi uyarılmasını hedefleyen tele-nörogeribildirim ve tele-biyogeribildirim protokollerinin uykusuzluk üzerindeki etkileri, 71 hasta üzerinde incelemiştir. Hastalar rastgele şekilde tele-nörogeribildirim (n = 9) veya tele-biyogeribildirim (n = 8) protokolüne atanmış ve tedavi süresi boyunca polisomnografi ölçümleri alınmıştır. Tedavi sonrası, yalnızca NGB grubunda toplam uyku süresinde anlamlı bir artış gözlenmiş, uyku gecikmesinde ise her iki grupta iyileşme sağlanmıştır. Evdeki uyku kayıtları NGB grubunda genel bir iyileşme gösterirken, laboratuvar

kayıtlarında değişiklik saptanmamıştır. Sonuçlar, 12 seans süren NGB'nin uykusuzluk tedavisinde etkili olabileceğini, ancak uyku algısı ve ölçüm yerleri gibi metodolojik sınırlamaların önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Cortoos vd., 2010).

Farklı bir araştırmada, İsveç birincil bakımında uykusuzluk teşhisi konan hastalarda INGBra-Yavaş Dalgalanmalar (ISF) nörogeribildirim eğitiminin uyku kalitesi ve genel refah üzerindeki etkilerini değerlendirilmiştir. Dokuz katılımcının yer aldığı bu tek vaka tasarımı çalışmasında, 3 haftalık başlangıç ölçümlerinin ardından 12 haftalık ISF-NGB eğitimi uygulanmıştır. Uyku kalitesi ve süresi gibi parametreler Fitbit Inspire 3 aktivite izleyicileriyle, ayrıca Pittsburgh uyku kalitesi indeksi, hasta sağlık anketi ve yaygın anksiyete bozukluğu ölçęi gibi standart ölçeklerle ölçülmüştür. Katılımcıların öznel deneyimleri ve tedavi süreçleri de nitel veriyle analiz edilmiştir. Ön sonuçlar, ISF-NGB'nin uyku süresi, kalitesi ve verimliliğini iyileştirme potansiyeline işaret etmektedir (Edvardsson, 2024).

Elvira vd., canlı Z-skor nörogeribildirim eğitiminin kronik uykusuzluk tedavisindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Ergenlikten beri kronik uykusuzluk çeken 32 yaşındaki bir erkek katılımcı, 35 dakikalık toplam 30 qEEG rehberliğinde LZT seansı almıştır. Çalışmada, katılımcının qEEG ölçümleri ve uyku kalitesine ilişkin görsel analog ölçek verileri temel çıktılar olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, qEEG ölçümlerinde %90,63'lük bir iyileşme ve klinik semptomlarda %82,55 oranında rahatlama göstermiştir. Bu bulgular, canlı Z-skor temelli NGB'nin uykusuzluk tedavisinde etkili bir yöntem olabileceğini öne sürmekte, ancak yöntemin etkinliğini daha kesin bir şekilde değerlendirmek için ileri araştırmalara ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır (Perez-Elvira vd., 2019).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Uykusuzluk tedavisinde nörogeribildirim, tedaviye kişisel bir yaklaşım sunarak farklı bireylerin ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, metodolojik kısıtlamalar ve plasebo etkilerinin etkisi üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Gelecekte, nörogeribildirimle birlikte kullanılan biyomarkerlerin ve uyku döngüsüne dayalı protokollerin, bu tedavinin etkinliğini artırabileceği öngörülmektedir.

2. Majör Depresif Bozuklukta Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Majör depresif bozukluk (Major Depressive Disorder - MDD), en az iki hafta süren depresif ataklarla karakterize ciddi bir ruhsal hastalıktır ve dünya genelinde artan vaka sayısıyla önemli bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilmektedir. Depresif ataklar, bilişsel değişiklikler, ilgi kaybı, vejetatif şikayetler gibi semptomları içerirken, MDD aynı zamanda intihar girişimleri

için önemli bir risk faktörüdür. Güncel tedaviler çoğunlukla psikoterapi ve farmakoterapiye dayanmakla birlikte, bu yaklaşımlar tüm hastalarda etkili olmamaktadır. Alternatif tedavi yöntemleri arasında transkraniyal manyetik stimülasyon ve elektrokonvülsif terapi gibi invaziv olmayan beyin stimülasyonu teknikleri bulunurken, bu yöntemlerin yan etkileri ve sınırlamaları tartışılmaktadır. Bunun aksine, nörogeribildirim eğitimi, hastaların tedavi süreçlerinde daha aktif bir rol üstlenmelerine olanak sağlayarak, geleneksel tedavilere bir alternatif sunmaktadır (Trambaiolli vd., 2021). Son yıllarda yapılan birçok çalışma, nörogeribildirim depresyon tedavisindeki etkinliğini araştırmıştır.

Depresyon Tedavisinde Klinik Gelişmeler

Nörogeribildirimle ilgili meta-analizler ve bireysel çalışmalar, yöntemin depresif semptomların hafifletilmesinde ve genel klinik iyileşmede etkili olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, meta-analiz sonuçlarındaki depresyon ve nörofizyolojik iyileşmelerin, bireysel çalışmaların EEG analizleriyle paralellik göstermesi, NGB'nin depresyon tedavisinde hem klinik hem de nörofizyolojik bir temel sunduğunu desteklemektedir.

Xia vd., yaptıkları meta-analizde nörogeribildirim majör depresif bozuklukların tedavisindeki etkinliğini değerlendirmiştir. Depresyon semptomları, nörofizyolojik sonuçlar ve nöropsikolojik işlev üzerindeki etkileri inceleyen 22 çalışmanın analizi, NGB'nin depresif semptomlarda (Hedges'in $g = -0,600$) ve nörofizyolojik sonuçlarda (Hedges'in $g = -0,726$) anlamlı iyileşmeler sağladığını ortaya koymuştur. Nöropsikolojik işlevler üzerinde ise orta düzeyde bir etki büyüklüğü (Hedges'in $g = -0,418$) gözlemlenmiştir. Daha uzun müdahale sürelerinin depresyon semptomları ve nöropsikolojik işlevde daha iyi sonuçlar sağladığı, buna karşın daha kısa seansların nörofizyolojik iyileşmelerle ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bulgular, nörogeribildirim farmakolojik olmayan bir müdahale olarak depresyon tedavisinde etkili ve umut vadeden bir yöntem olduğunu göstermektedir (Xia vd., 2024)

Majör depresif bozukluk tedavisine yönelik gerçekleştirilen bir çalışmada, NGB'nin etkinliği, frontal alfa aktivitesi asimetrisinin azaltılmasına odaklanılarak incelenmiştir. DSM-IV kriterlerine göre MDD tanısı almış 9 katılımcı, 10 hafta boyunca en fazla 30 nörogeribildirim seansı ile tedavi edilmiştir. Tedavi sırasında ve öncesindeki 6 hafta boyunca antidepresan kullanımında değişiklik yapılmamış, depresif semptomlar hızlı depresif semptomlar envanteri'nin öz bildirim versiyonu ile değerlendirilmiştir. Katılımcıların %11.1'inde yanıt, %44.4'ünde remisyon gözlemlenirken, kadınlarda tedavi etkinliği daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, alfa aktivitesindeki asimetrisinin seanslar boyunca önemli ölçüde azaldığı ve bu azalmanın klinik iyileşme ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, frontal alfa asimetrisini azaltmayı hedefleyen nörogeribildirim MDB tedavisinde

etkili olabileceğini öne sürmektedir. Ancak bu sonuçların doğrulanması için randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Peeters vd., 2014).

Cheon vd., majör depresif bozuklukta nörogeribildirim depresif semptomlar ve elektrofizyolojik bozukluklar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Yirmi katılımcının dahil edildiği prospektif, açık etiketli çalışmada, 8 hafta boyunca haftada iki veya üç kez F3'te beta ve Pz'de alfa/teta eğitimi uygulanmıştır. Her ziyarette 30 dakika beta ve 30 dakika alfa/teta eğitimi gerçekleştirilmiştir. Klinik değerlendirmeler, HAM-D, HAM-A, BDI-II, BAI ve CGI-S ölçekleri ile yapılmış, ayrıca dinlenme durumu EEG'leri analiz edilmiştir. Çalışma sonunda, depresif ve anksiyete semptomlarında, psikolojik değerlendirme ve tanıda kullanılan klinik ölçeklerden HAM-D, HAM-A, BDI ve CGI-S puanlarında önemli iyileşmeler gözlenmiştir. HAM-D'ye göre kümülatif yanıt oranları 4. ve 8. haftalarda sırasıyla %35 ve %75, remisyon oranları ise %15 ve %55 olarak belirlenmiştir. Ancak, EEG'deki alfa gücü asimetrisinde anlamlı bir fark saptanmamıştır. Küçük örneklem büyüklüğü ve kontrol grubunun olmaması sınırlamaları arasında yer almakla birlikte, nörogeribildirim depresif semptomları ve anksiyeteyi azaltmada etkili bir yöntem olabileceği öne sürülmüştür (Cheon vd., 2016).

Nörogeribildirim ve Beyin Dinamikleri

Depresyonun nörofizyolojik temellerini düzenlemeyi hedefleyen çalışmalar, NGB'nin sadece semptomları hafifletmekle kalmayıp, EEG parametrelerini ve altta yatan beyin dinamiklerini değiştirme potansiyeline işaret etmektedir. Depresif semptomların azaldığı klinik çalışmaların aynı zamanda EEG parametrelerinde de iyileşmelerle sonuçlanması, NGB'nin nöral mekanizmalar üzerindeki etkisini desteklemektedir.

Escolano vd., majör depresif bozukluğu olan hastalarda NGB eğitiminin çalışma belleği (ÇB) performansı üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Parieto-okspital bölgedeki bireysel üst alfa gücünü artırmayı hedefleyen sekiz seanslık bir NGB protokolü, 40 kişilik NGB grubu ile müdahalesiz 20 kişilik bir kontrol grubunda uygulanmıştır. NGB grubu, eğitim sonrası ÇB performansında ve işlem hızında anlamlı iyileşmeler göstermiştir. Ayrıca, EEG analizlerinde üst alfa gücünde artış ve subgenual anterior singulat kortekste alfa bandında yoğunluk artışı kaydedilmiştir. İşlem hızı artışı ile beta gücü arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Bu bulgular, NGB eğitiminin MDD'li hastalarda ÇB performansını iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Escolano vd., 2014).

Wu vd., standartlaştırılmış ağırlıklı düşük çözünürlüklü elektromanyetik tomografi Z-skoru nörogeribildirim (swLZNF) yönteminin, MDD ve kaygı semptomları olan hastalarda etkilerini incelemiştir. 48 katılımcı, swLZNF tedavisi alan grup ve yalnızca standart tedavi gören kontrol grubu olarak ikiye ayrılmıştır. swLZNF grubundaki hastalar, haftada

iki kez bir saatlik seanslarla toplam on seanslık bir tedavi almıştır. Klinik değerlendirmeler Beck Depresyon Envanteri-II ve Beck Kaygı Envanteri ile yapılmış, ayrıca elektroensefalografi parametreleri ve derin beyin aktiviteleri analiz edilmiştir. Bu çalışma, swLZF'nin MDD hastalarında depresyon, kaygı semptomları ve atipik beyin aktivitelerini azaltmada etkili olabileceğini göstermiş, ancak randomize kontrollü tasarım eksikliği önemli bir sınırlama olarak belirtilmiştir (Y.-C. Wu vd., 2024).

Bilişsel İşlevler ve Ruminasyon Semptomları

Ruminasyon ve bilişsel işlevlerdeki bozulmalar, MDD'nin sık görülen belirtileri arasında yer almakta ve nörogeribildirim, bu belirtilerin yönetiminde önemli bir potansiyel sunmaktadır. Ruminasyon sırasında azalan beyin bağlantılarının, NGB müdahaleleri sonrasında artış göstermesi, bilişsel işlevleri iyileştirme potansiyelini desteklemektedir.

Ganesan vd., majör depresif bozukluğu olan bireylerde düşüncelilik (ruminasyon) semptomlarının altında yatan nöral dinamikleri ve nörogeribildirim bu dinamikler üzerindeki etkilerini incelemiştir. 36 MDD hastası ve 26 sağlıklı kontrol (HC) bireyinde dinlenme ve ruminasyon sırasında fonksiyonel MRI ile dinamik ağ bağlantısı (Dynamic Functional Network Connectivity – dFNC) analiz edilmiştir. MDD hastaları aktif ve sham nörogeribildirim gruplarına (n = 18), sağlıklı kontroller ise aktif ve sham gruplarına (n = 13) ayrılmıştır. Ruminatif şiddet RRS-B ölçeğiyle değerlendirilmiş ve dört tekrarlayan dFNC durumu tanımlanmıştır. MDD hastalarının ruminasyon sırasında belirli bir dFNC durumunda daha az zaman geçirdiği tespit edilmiş ve bu durum RRS-B puanlarıyla negatif korelasyon göstermiştir. Aktif nörogeribildirim uygulanan MDD grubunda bu duruma harcanan zaman önemli ölçüde artmıştır. Sonuçlar, nörogeribildirim MDD'li hastalarda işlevsiz beyin dinamiklerini düzenleme ve ruminasyon semptomlarını hafifletme potansiyelini ortaya koymaktadır. Ancak, çalışmanın küçük ve dengesiz örneklem büyüklüğü gibi sınırlamaları bulunduğu belirtilmiştir (Ganesan vd., 2024).

Bir diğer çalışmada, majör depresif bozukluğun patofizyolojisinde beynin belirginlik ağının (Salience Network - SN) olumsuz uyarılara aşırı tepki verme rolü araştırılmıştır. On katılımcıdan oluşan gerçek NGB grubu, SN'nin bir düğümünden gelen aktiviteleri görerek bu tepkileri aşağı düzenlemeyi öğrenmeye çalışmıştır. Diğer on katılımcı ise sahte NGB prosedürüne tabi tutulmuştur. Katılımcılar, eğitim öncesi ve sonrası, olumsuz sahneler ve sıfatlara karşı duygusal tepkilerini değerlendiren görevleri tamamlamıştır. Gerçek NGB grubundaki katılımcılar, olumsuz uyarılara karşı SN tepkisinde, olumsuz sahnelere ve olumsuz kendini tanımlayıcı sıfatlara verdikleri duygusal tepkilerde anlamlı azalmalar göstermiştir. Bu bulgular, SN'nin MDD'deki olumsuz bilişsel önyargılara katkıda

bulduğunu ve NGB'nin bu süreçleri düzenlemede etkili bir yöntem olabileceğini ortaya koymaktadır (Hamilton vd., 2016).

Anksiyete ve Depresyonun Birlikte Yönetimi

Depresyon ve anksiyete genellikle birlikte görülen durumlar olup, NGB'nin bu iki bozukluğu aynı anda yönetme kapasitesi farklı çalışmalarla doğrulanmıştır. EEG analizlerindeki değişikliklerin, her iki durumun semptomlarını hafifletmekle ilişkilendirilmesi, NGB'nin geniş bir etki alanına sahip olduğunu göstermektedir.

Wang vd., majör depresif bozukluğu olan hastalarda NGB eğitiminin etkinliğini değerlendirmiştir. On dört katılımcı, altı hafta boyunca haftada bir saat NGB eğitimi alan bir gruba ve eğitim almayan bir kontrol grubuna rastgele atanmıştır. NGB öncesi ve sonrası EEG analizleri, F3 (sol) ve F4 (sağ) bölgelerinde alfa gücü asimetrisinde (A1) değişiklikler incelenmiştir. NGB grubu, A1 seviyelerinde artış gösterirken, kontrol grubunda azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, NGB eğitime yanıt veren hastaların anksiyete ve depresyon puanlarında anlamlı azalmalar kaydedilmiş, yanıt vermeyen grupta ise bu puanlar artış göstermiştir. Çalışma, NGB'nin MDD'li bireylerde sol frontal hipoarousal ve sağ frontal hipoarousal'ı iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır (S.-Y. Wang vd., 2016).

Lee vd., tedaviye dirençli depresyon hastalarında NGB eğitiminin depresif semptomlar ve fonksiyonel iyileşme üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Yirmi dört hasta, NGB ve yalnızca ilaç gruplarına rastgele atanmış ve 12 sağıklı yetişkin kontrol grubu olarak çalışmaya dahil edilmiştir. NGB grubundaki hastalara 12 hafta boyunca ilaç tedavisine ek olarak 12-24 nörogeribildirim seansı uygulanmıştır. Klinik değerlendirmeler HAM-D, BDI-II, CGI-S, EQ-5D-5L ve SDS ölçekleriyle yapılmış, Beyin Türevli Nörotrofik Faktör (BDNF) serum düzeyleri tedavi öncesi ve sonrası analiz edilmiştir. Çalışma sonunda, NGB grubunda depresif semptomlarda anlamlı azalma ve yaşam kalitesi ile fonksiyonel iyileşmede önemli artış gözlenmiştir. Yanıt ve remisyon oranları NGB grubunda sırasıyla %58,3 ve %50,0 olarak belirlenmiş, diğer gruba göre üstünlük sağlanmıştır. Ancak, BDNF seviyelerinde her iki grupta da anlamlı bir değişiklik bulunmamıştır. Çalışma, hastalarda NGB'nin destekleyici bir tedavi olarak etkili olabileceğini önermektedir (Lee vd., 2019).

Wang vd., majör depresif bozukluk ve anksiyete semptomları olan hastalarda Alfa-Asimetri nörogeribildirim ve yüksek beta azaltma nörogeribildirim (Beta) yöntemlerinin depresyon, anksiyete ve EEG parametreleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Eşlik eden MDD ve anksiyete semptomlarına sahip 87 hasta, NGB, Beta ve kontrol gruplarına rastgele atanmış, her iki nörogeribildirim grubu toplam on seanslık eğitim almıştır. Klinik değerlendirmeler BDI-II ve BAI ölçekleriyle yapılmış, EEG verileri ise frontal alfa asimetrisi (A1 skoru) ve parietal beta gücü üzerinden analiz

edilmiştir. Çalışma sonunda, her iki NGB grubunda depresyon ve anksiyete semptomlarında anlamlı azalmalar kaydedilmiştir. Ancak, NGB ve Beta grupları arasında klinik sonuçlar açısından bir fark gözlenmemiştir. EEG analizinde, Beta grubu parietal korteksteki yüksek beta gücünü azaltmada daha etkili bulunmuştur. Bu bulgular, invaziv olmayan nörogeribildirim yöntemlerinin MDD ve anksiyete semptomlarının tedavisinde etkili olabileceğini ve gelecekteki uygulamalarda kullanılabileceğini göstermiştir (S.-Y. Wang vd., 2019).

Kronik hastalıklarla ilişkili depresif belirtilerin yönetiminde NGB'nin etkinliği, kanser hastaları üzerinde yapılan çalışmalarla da desteklenmektedir. Krawutschke vd., yaşları 31 ile 73 arasında değişen 18 kanser hastası ve tedavi sürecini tamamlayan bireyde elektroensefalografik nörogeribildirim (EEG NGB) depresif semptomlar ve olayla ilişkili potansiyeller (ERP) üzerindeki etkilerini incelemiştir. Beş haftalık bireyselleştirilmiş alfa ve teta/beta NGB müdahalesi sonrasında, katılımcılarda P300 genliklerinde anlamlı bir azalma ($p < .05$) ve depresif semptomlarda belirgin bir iyileşme görülmüştür. Özellikle 55 yaş altındaki bireylerin tedaviden daha fazla fayda sağladığı belirtilmiştir. Negatif ve pozitif değerlere sahip yüksek uyarılma uyarılarına verilen yanıtlar sınırlı düzeyde anlamlı bulunmuştur. Bulgular, EEG NGB'nin depresyonu hafifletme ve beyin aktivitesini düzenleme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir, ancak ERP'ler üzerindeki etkilerin daha kapsamlı araştırılması gerekmektedir (Krawutschke vd., 2024). Kanser hastalarında depresyon ve nörofizyolojik etkiler üzerine yapılan NGB çalışmaları, bu yöntemin onkoloji alanında da etkili bir destekleyici tedavi olabileceğini göstermektedir. Ancak, bu bulgular daha fazla hasta grubu üzerinde doğrulanmalıdır.

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Nörogeribildirim, majör depresif bozukluk tedavisinde depresyon semptomlarını hafifletme ve bilişsel işlevleri iyileştirme açısından etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, hiperaktivite ve bilişsel işlev bozuklukları gibi ek semptomlar üzerindeki sınırlı etkileri, bu alanlarda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini göstermektedir. Gelecekte, daha geniş örneklem grupları ve uzun vadeli takip çalışmalarını içeren araştırmalar, bu tedavi yönteminin etkinliğini ve kalıcılığını daha net bir şekilde ortaya koyabilir. Ayrıca, sanal gerçeklik ve mobil teknolojilerin entegrasyonu, nörogeribildirim erişilebilirliğini artırarak daha geniş bir hasta kitlesine ulaşmasına olanak tanıyabilir.

Yapılan araştırmalar, nörogeribildirim depresyon ve anksiyete gibi semptomları azaltmada etkili olmasının yanı sıra, EEG parametrelerindeki değişikliklerle nöral dinamikleri düzenleme potansiyelini de ortaya koymaktadır. Ancak, mevcut literatür, bireyselleştirilmiş protokollerin geliştirilmesi ve randomize kontrollü çalışmaların genişletilmesi gerekliliğine

dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda, nörogeribildirim yönteminin daha kişiselleştirilmiş bir yaklaşımla uygulanması, hem tedavi etkinliğini artırabilir hem de uzun vadede daha kapsamlı bir çözüm sunabilir.

3. Şizofreni Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Şizofreni, halüsinasyonlar, anormal düşünce ve davranışlar, iletişim zorlukları ve günlük yaşam aktivitelerinde bozulmalarla karakterize edilen ciddi bir nöropsikiyatrik hastalıktır. Genetik ve çevresel faktörler, bu hastalığın gelişiminde etkili olabilir. Genellikle genç erişkinlikte başlar ve dünya genelinde yaklaşık %1 oranında görülür, erkeklerde ise kadınlara göre daha yaygındır. Tedavi edilmezse depresyon, kaygı bozuklukları, şiddet eğilimleri ve intihar gibi ciddi komplikasyonlar ortaya çıkabilir. Şizofreni hastalarının yaşam süresi, sağlıklı bireylere kıyasla 10-25 yıl daha kısadır. Bu hastaların %4,9'u intihar nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Şizofreninin tedavi maliyetleri de yüksek olup, erken tanı ve tedavi ile hastalığın yönetimi daha kolay hale gelebilir (Aksoy vd., 2024). Nörogeribildirim, şizofreni tedavisinde dürtüsellik, bilişsel işlevler ve psikososyal iyileşme gibi birçok alanda umut vadeden bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Birçok araştırma, nörogeribildirim eğitiminin şizofreni tedavisindeki klinik, bilişsel ve psikososyal iyileşmelere katkısını incelemiştir.

Dürtüsellik ve Şiddet Davranışlarının Azaltılması

Li vd., dürtüsel davranışlar sergileyen erkek şizofreni hastalarında nörogeribildirim tedavisinin etkinliğini bilimsel yöntemlerle değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada, 80 hasta rastgele bir şekilde iki gruba ayrılmıştır. Bir grup risperidon (bir antipsikotik ilaç) ve aktif nörogeribildirim terapisi alırken, diğer grup risperidon ve sham nörogeribildirim (etkisiz bir plasebo tedavisi) almıştır. Çalışma, randomize, tek kör ve sham kontrollü olarak tasarlanmıştır. Altı hafta süren tedavi protokolü boyunca, Pozitif ve Negatif Sendrom Ölçeği (PANSS) ile değiştirilmiş açık saldırganlık ölçeği puanlarında, özellikle çalışma grubunda anlamlı iyileşmeler gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, ekstrapiramidal yan etkiler derecelendirme ölçeği puanlarında her iki grupta da herhangi bir değişiklik saptanmamıştır. Elde edilen bulgular, NGB tedavisinin dürtüsel davranışlar ve şizofreni semptomlarının şiddetini azaltmada etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir (Z. Li vd., 2024). Dürtüsellik ve şiddet davranışlarının kontrol altına alınması, şizofreni tedavisinde önemli bir hedefken, bilişsel ve psikososyal iyileşmeler de tedavi sürecinin tamamlayıcı unsurlarıdır.

Bilişsel İşlev ve Psikososyal İyileşme

Markiewicz vd., şizofreni hastalarının klinik, bilişsel ve psikososyal durumlarını iyileştirmek amacıyla NGB eğitiminin etkinliğini araştırmıştır. Stabil durumda olan ve eksik remisyondaki 44 erkek hasta, standart rehabilitasyon veya NGB eğitimi ile iki farklı 3 aylık rehabilitasyon programına dahil edilmiştir. Nörogeribildirim eğitimi, kantitatif elektroensefalogram ve beyinden türetilen nörotrofik faktör (BDNF) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tedavi öncesi ve sonrası yapılan değerlendirmelerde klinik (pozitif ve negatif sendrom ölçeği), bilişsel (renkli izler testi, d2 testi) ve psikososyal işlevsellik (genel öz yeterlilik ölçeği, Beck bilişsel içgörü ölçeği ve hastalığı kabul ölçeği) gibi ölçütlerin yanı sıra qEEG, işitsel olayla ilişkili potansiyeller ve serum BDNF düzeyi incelenmiştir. Sonuçlar, her iki grupta da klinik iyileşme sağlandığını, ancak NGB grubunun psikososyal işlevsellik ve serum BDNF düzeylerinde standart rehabilitasyona kıyasla anlamlı iyileşmeler gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, NGB tedavisinin bilişsel, psikososyal ve BDNF düzeyleri üzerindeki etkilerinin PANSS alt sendromlarıyla ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Markiewicz vd., 2021).

Markiewicz ve Dobrowolska, remisyon aşamasındaki 18 şizofreni hastasında Galvanik Cilt Tepkisi (Galvanic Skin Response - GSR) NGB eğitiminin etkilerini değerlendirmiştir. Çalışma, PANSS, BDNF serum düzeyleri ve çeşitli bilişsel ve psikososyal ölçütler kullanılarak analiz edilmiştir. Üç aylık değerlendirme sonucunda, PANSS puanlarında, bilişsel ve sosyal işlevlerde ve BDNF düzeylerinde anlamlı iyileşmeler kaydedilmiştir. Ayrıca, konsantrasyon ve dikkatte iyileşmeyi gösteren beyin dalgası oranlarında ve algısal analizi yansıtan ERP parametrelerinde olumlu değişiklikler gözlenmiştir. GSR NGB'nin umut vadeden bu sonuçları, yöntemin şizofreni rehabilitasyonunda potansiyel bir tedavi aracı olabileceğini göstermektedir. Ancak, bulguların doğrulanması için daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir (Markiewicz & Dobrowolska, 2020).

Markiewicz vd., şizofreni hastalarında nörogeribildirim reelin proteininin serum düzeyleri ile klinik ve nörobilişsel parametreler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Paranoid şizofreni tanısı almış 37 erkek hasta, standart antipsikotik tedaviye ek olarak 3 aylık NGB eğitimi alan grup (N = 18) ve yalnızca standart tedavi ve sosyal destek alan kontrol grubu (N = 19) olarak ikiye ayrılmıştır. Sonuçlar, NGB grubunda reelin serum düzeylerinde anlamlı bir artış ve PANSS negatif ile genel semptomlarında azalma olduğunu göstermiştir. Ayrıca, NGB grubunda d2 Sürdürülebilir Dikkat Testi ve Beck Bilişsel İçgörü Ölçeği (BCIS) puanlarında belirgin iyileşmeler kaydedilmiştir. AIS puanlarında NGB grubunda dinamik bir iyileşme gözlenmiş ancak kontrol grubundan istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratacak düzeye ulaşmamıştır. Çalışma, şizofreni hastalarında 3 aylık NGB tedavisinin klinik

ve nörobilişsel iyileşmeleri desteklediğini ve bu iyileşmelerin reelin proteininin serum düzeylerindeki artışla bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır (Markiewicz vd., 2024).

Yoğun Nörogeribildirim Seanslarının Etkileri

Turiaco vd., alfa/teta nörogeribildirim eğitiminin şizofreni hastalarındaki bilişsel işlevlere etkisini değerlendirmiştir. DSM-5 kriterlerine göre şizofreni tanısı almış, stabil atipik antipsikotik tedavisi alan 10 hasta (ortalama yaş $36 \pm 2,3$ yıl) 8 günlük yoğun NGB seanslarına katılmıştır. ENB 2, MMSE, Stroop testi ve PANSS ile yapılan değerlendirmeler sonucunda, bilişsel performans ölçütlerinde anlamlı iyileşmeler gözlenmiş ($p < 0,05$), ancak PANSS puanlarında değişiklik saptanmamıştır. NGB'nin bilişsel semptomların tedavisinde etkili bir yardımcı yöntem olabileceği belirtilmiştir (Turiaco vd., 2024). Şizofreni tedavisinde nörogeribildirim eğitiminin yoğun bir şekilde uygulanmasının, bilişsel gelişim açısından dikkat çekici sonuçlar doğurabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bireyselleştirilmiş Protokoller ve Uzun Süreli Etkiler

Sürmeli vd., şizofreni hastalarında kantitatif elektroensefalografi kılavuzluğunda NGB tedavisinin etkinliğini değerlendirmiştir. Çalışmaya, 17-54 yaş aralığında, çoğunluğu kronik şizofreni tanısı almış 51 katılımcı dahil edilmiştir. Katılımcılara, qEEG analizine dayalı bireyselleştirilmiş NGB protokolleri uygulanmış ve ortalama 58,5 seans tamamlanmıştır. Tedavinin etkinliği, PANSS, Minnesota çok yönlü kişilik envanteri ve dikkat değişkenleri testi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, 47 katılımcıda PANSS puanlarında ve diğer ölçütlerde anlamlı iyileşmeler göstermiştir. 40 katılımcının uzun süreli takibi, NGB'nin kalıcı etkilerini doğrulamıştır. Çalışma, NGB'nin şizofreni semptomlarının tedavisinde etkili bir yöntem olarak kullanılabilirliğini ve bu alanda önemli kanıtlar sunduğunu vurgulamaktadır (Sürmeli vd., 2012).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Nörogeribildirim, şizofreni tedavisinde dürtüsellik, bilişsel işlevler ve psikososyal iyileşme gibi birçok alanda umut vadeden bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Çalışmaların genel sonuçlarına bakıldığında, NGB'nin özellikle bilişsel ve psikososyal işlevlerdeki iyileşme açısından etkili olduğu görülmektedir. Ancak, yöntem her zaman homojen sonuçlar üretmemiştir. Örneğin, Li vd. çalışması, dürtüsellik ve saldırganlık üzerinde anlamlı etkiler gösterirken, Turiaco vd. çalışmasında PANSS puanlarında değişiklik gözlenmemiştir. Bu durum, tedavi protokollerinin spesifik semptomlara göre optimize edilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Gelecekteki çalışmalar, özellikle nörogeribildirim tedavisinin biyobelirteçlerle ilişkisini ve uzun dönem etkilerini değerlendirmek için daha geniş ölçekli, randomize kontrollü araştırmalara odaklanmalıdır. Ayrıca, bireyselleştirilmiş tedavi yaklaşımları, farklı semptom profilleri için nörogeribildirim protokollerinin uyarlanabilirliğini artırabilir. Bu tür araştırmalar, nörogeribildirim etkinliğini daha iyi anlamamıza ve şizofreni tedavisindeki yerini sağlamlaştırılmamıza katkı sağlayacaktır.

4. DEHB Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Dikkat eksikliği/hiperaktivite bozukluğu (DEHB), dünya genelinde en sık görülen nörogelişimsel bozukluklardan biridir. Klinik kılavuzlar, kısa ve uzun vadede en etkili sonuçları sağlayan metilfenidat ve çeşitli amfetamin formülasyonları gibi ilaçların psikososyal müdahalelerle birlikte kullanılmasını öneren multimodal tedavi yaklaşımlarını desteklemektedir. Son yıllarda, DEHB tedavisinde bilişsel terapi, nörogeribildirim ve transkraniyal doğru akım stimülasyonu gibi farmakolojik olmayan yöntemlere odaklanan çalışmaların sayısında önemli bir artış yaşanmıştır (Fernández vd., 2024).

Farmakolojik Olmayan Tedavi Yaklaşımları

Nörogeribildirim (NGB) Araştırmaları

Nörogeribildirim, DEHB tedavisinde dikkat çekici bir farmakolojik olmayan yöntem olarak öne çıkmaktadır. Gevensleben vd., DEHB tanısı almış çocuklarda NGB'nin klinik etkinliğini bilgisayarlı dikkat becerileri eğitimi ile karşılaştırmıştır. Araştırma, 8-12 yaş arası 102 çocuk üzerinde gerçekleştirilmiş ve 36 seanslık bir NGB programı uygulanmıştır. Katılımcılar rastgele teta/beta eğitimi ve yavaş kortikal potansiyel eğitiminden oluşan iki farklı NGB protokolü veya kontrol grubuna atanmıştır. NGB grubunda kaydedilen iyileşmeler, kontrol grubuna kıyasla daha belirgin olmuş ve DEHB davranışlarını ölçen hiperkinetik bozukluklar için dış gözlem Formu toplam puanı için etki büyüklüğü .60 olarak hesaplanmıştır. İki NGB protokolü arasında etkiler açısından fark bulunmamış ve ebeveynlerin tedaviye yönelik tutumları benzer olmuştur. Bu bulgular, NGB'nin DEHB'li çocuklarda klinik olarak etkili bir yöntem olduğunu, ancak tedavi protokollerinin optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir (Gevensleben vd., 2009).

Moradi vd., DEHB tanısı almış çocuklarda qEEG ve SmartMind yazılımı temelli NGB uygulamasının zaman algısı, dikkat ve çalışma belleği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma, belirli dışlama kriterlerini karşılayan 32 erkek çocuk üzerinde gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar rastgele deney grubu (NGB + SmartMind tedavisi) ve kontrol grubuna atanmıştır.

Deney grubunda 30 hafta boyunca haftada üç kez, 45 dakikalık oturumlar uygulanmıştır. Müdahale öncesi ve sonrası yapılan testler, dikkat ve zaman algısında önemli gelişmeler sağlandığını göstermiştir. Ancak, “komisyon hatası” gibi bazı alanlarda anlamlı bir gelişme gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, tedavinin sınırlı alanlarda daha az etkili olabileceğini göstermektedir (Moradi vd., 2024).

Shojaei vd., DEHB tanısı almış ilkökul öğrencilerinde nörogeribildirim dikkat eksikliği ve hiperaktivite semptomlarını azaltmadaki etkinliğini incelemiştir. 2023 yılında Tahran’daki 7-12 yaş arası DEHB tanısı almış ilkökul öğrencilerinden randomize klinik bir tasarımla 50’si deney grubu, 50’si kontrol grubu olarak seçilmiştir. Deney grubunda, her biri 90 dakika süren toplam 20 NGB seansı uygulanmıştır. Veriler, ebeveynlerin doldurduğu Connors hiperaktivite ve dikkat eksikliği anketi ile ön test ve son test ölçümleri şeklinde toplanmıştır. Sonuçlar, nörogeribildirim DEHB’li çocuklarda dikkat eksikliği ve hiperaktivite semptomlarını anlamlı şekilde azalttığını göstermiştir ($P < 0,05$). Bu bulgular, nörogeribildirim DEHB tedavisinde etkili bir yöntem olduğunu desteklemekte ve yaygın kullanımını önermektedir (Shojaei vd., 2024).

Nörogeribildirim ve Sanal Gerçeklik Entegrasyonu

Zheng vd., DEHB tanısı almış çocuklarda sanal gerçeklik ile entegre edilmiş yakın kızılötesi spektroskopisi (Near-Infrared Spectroscopy - NIRS) tabanlı NGB eğitiminin etkinliğini incelemiştir. Araştırmaya 7-12 yaş arası 138 çocuk dahil edilmiş ve katılımcılar rastgele üç gruba atanmıştır: VR sınıf ortamında NIRS tabanlı NGB grubu, geleneksel bilgisayarlı bilişsel eğitim (aktif kontrol grubu) ve bekleme listesi kontrol grubu. Müdahale tamamlandıktan sonra ve 2 ay sonra değerlendirmeler yapılmıştır. Temel sonuçlar, dikkat kontrolü, tepki inhibisyonu ve çalışma belleği gibi yönetici işlev ölçümleri ile hemogloblin düzeylerindeki değişiklikleri içermiştir. İkincil sonuçlar ise ebeveyn ve öğretmen raporlarına dayalı DEHB semptomlarının ve günlük yönetici işlev davranışlarının değerlendirmesini kapsamıştır. Çalışma, VR teknolojisiyle birleştirilmiş NIRS tabanlı NGB’nin DEHB’li çocuklar için etkili bir müdahale olup olmadığını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, DEHB tedavisinde yenilikçi yöntemlerin uygulanabilirliğine dair önemli kanıtlar sunmuştur (Zheng vd., 2024).

Wu vd., DEHB tanısı almış çocuklarda nörogeribildirim ve sanal gerçeklik eğitiminin birleştirilmesinin terapötik etkileri incelenmiştir. Mart 2021 - Aralık 2022 arasında gerçekleştirilen çalışmada, katılımcılar rastgele iki gruba ayrılmıştır: bir grup standart NGB terapisi alırken (kontrol grubu), diğer grup NGB ve VR eğitim sistemini içeren bir müdahale almıştır. Üç ay süren müdahalenin ardından SNAP-IV ölçeği ile değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuçlar, NGB ve VR eğitimi birleştiren yöntemin özellikle dikkat eksikliği semptomlarında önemli iyileşmeler sağladığını göstermiştir

(ortalama azalma 24,0'dan 16,8'e, etki büyüklüğü 2,72). Hiperaktivite/dürtüsellik ve karşıt gelme bozukluğu (ODD) puanlarında da azalmalar kaydedilmiş ancak bu etkiler daha sınırlı kalmıştır. Müdahale grubu, kontrol grubuna kıyasla tüm semptomlarda daha iyi sonuçlar göstermiştir. Bulgular, bu yenilikçi yaklaşımın DEHB'li çocuklarda dikkat eksikliğini azaltmada etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur (C. Wu vd., 2024).

Mobil Nörogeribildirim Araştırmaları

Kwon vd., mobil nörogeribildirim DEHB'li çocuklarda klinik semptomlar, dikkat becerileri ve uygulama fonksiyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Seul Ulusal Üniversitesi Çocuk Hastanesi'nden 8-15 yaş arası 74 DEHB'li çocuk, rastgele mobil nörogeribildirim (n = 35) ve kontrol (sahte; n = 39) gruplarına atanmıştır. Mobil nörogeribildirim eğitimi, 3 ay boyunca haftada 3 gün, günde 30 dakika süreyle bir mobil uygulama ve EEG sensörlü bir kulaklık ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, mobil NGB'nin dikkatsizlik semptomlarını azaltmada etkili olduğunu göstermiştir. Özellikle görsel sürekli performans testinde ihmal hataları, mobil NGB grubunda normal aralığa düşmüştür. İşitsel tepki süreleri mobil nörogeribildirim + ilaç grubunda azalırken, sahte + ilaç grubunda artış göstermiştir. Bununla birlikte, diğer performans sonuçlarında gruplar arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Sonuç olarak, mobil nörogeribildirim, DEHB'li çocuklar için ilaç tedavisini destekleyen etkili bir ek tedavi seçeneği olabileceği vurgulanmıştır (Kwon vd., 2024).

Davranışçı ve Aile Terapileri

Doulatyari vd., DEHB tanısı almış çocuklarda davranışçı terapi, aile terapisi ve nörogeribildirim anksiyete üzerindeki etkilerini karşılaştırmayı amaçlamıştır. Araştırmaya, İran'ın Karaj şehrindeki bir ilkokuldan rastgele seçilen 40 öğrenci ve anneleri katılmıştır. Deney gruplarına Barkley davranış terapisi, Minuchin yapısal aile terapisi ve nörogeribildirim uygulanırken, kontrol grubuna herhangi bir terapi uygulanmamıştır. SPSS ile yapılan analizler, her üç tedavi yönteminin de anksiyete üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Post-hoc testler, deney ve kontrol grupları arasında anlamlı farklar ortaya koymuştur. Üç aylık takip, terapilerin etkisinin sürdürülebilir olduğunu göstermiştir (Doulatyari vd., 2024).

Ahmed vd., nörogeribildirim DEHB'li çocuklarda dikkat seviyesini artırma ve davranış sorunlarını azaltmadaki etkinliğini incelemeyi amaçlamıştır. Araştırmaya, amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilen 7 ve 10 yaşlarındaki iki DEHB'li çocuk katılmıştır. Katılımcılar, dört aylık nörogeribildirim eğitimi almış ve sonuçlar ön test ve son testlerle değerlendirilmiştir. DEHB-T ve nörogeribildirim dikkat seviyesi

değerlendirme raporları aracılığıyla yapılan analizler, nörogeribildirim eğitiminin dikkat seviyesini artırmada etkili olduğunu ve DEHB davranışlarını azalttığını göstermiştir. NöroSky yazılımı ile yapılan analizler de bu bulguları desteklemiştir. Sonuçlar, bu yöntemin DEHB'li çocuklar üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini ortaya koymuş, ebeveyn ve öğretmenlere rehberlik edebilecek bir yaklaşım sunmuştur (Ahmad vd., 2024).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Yapılan çalışmalar, nörogeribildirim DEHB'li çocuklarda dikkat eksikliği ve davranışsal sorunları azaltmada etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Sanal gerçeklik ve mobil uygulamalar gibi yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu, bu tedavi yöntemlerinin erişilebilirliğini artırmakta ve klinik uygulamalardaki etkisini güçlendirmektedir. Bununla birlikte, hiperaktivite ve dürtüsellik semptomları üzerindeki sınırlı etkiler, bu alanlarda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Uzun vadeli takip çalışmaları ve daha büyük örneklem grupları ile bu yöntemlerin etkinliği ve kalıcılığı daha iyi değerlendirilebilir.

5. Yaşlı Bireylerin Bilişsel Performans Gelişiminde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Yaşlı bireylerde bilişsel performansın korunması ve geliştirilmesi, nörobilim ve psikoloji alanlarında giderek daha fazla ilgi gören bir araştırma alanı haline gelmiştir. Yaşlanma süreciyle birlikte ortaya çıkan dikkat, çalışma belleği ve hafıza gibi bilişsel işlevlerdeki doğal gerileme, bireylerin yaşam kalitesini ve bağımsızlıklarını etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, bireylerin beyin aktivitelerini bilinçli bir şekilde düzenlemelerine olanak tanıyan nörogeribildirim yöntemleri, bilişsel işlevlerin desteklenmesinde ve hatta yeniden güçlendirilmesinde umut vadeden yenilikçi yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, farklı NGB protokollerinin yaşlı bireylerde bilişsel işlevlere olan etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemektedir.

Kısa Süreli ve Yoğun Nörogeribildirim Protokolleri

Reis vd., sağlıklı yaşlı bireylerde kısa ve yoğun alfa-teta NGB protokolünün çalışma belleği performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Katılımcılar, sadece NGB alan grup, bilişsel eğitimle desteklenmiş NGB alan grup, sadece bilişsel eğitim alan grup ve sahte nöro geribildirim alan kontrol grubu olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Sekiz gün boyunca, 30 dakikalık seanslar uygulanmıştır. NGB grubu, alfa ve teta bantlarında öz düzenleme öğrenmiş ve matris rotasyon görevinde performans artışı göstermiştir. Frontal teta artışı, alfada iyileşme ve bilişsel görevlerde daha iyi performansla

ilişkilendirilmiştir. Çalışma, fm θ artırma protokolünün yaşlı bireylerde dikkat ve çalışma belleğini iyileştirdiğini ortaya koymuştur (Reis vd., 2016).

Wang ve Hsieh, frontal-orta hat teta (fm θ) aktivitesini artırmaya yönelik bir protokolün yaşlı ve genç bireylerde dikkat ve çalışma belleği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmaya 32 katılımcı dahil edilmiş ve bireyler rastgele olarak fm θ artırmaya yönelik nöro geri bildirim eğitimi veya sahte nöro geri bildirim grubuna atanmıştır. Sonuçlar, yaşlı bireylerde dikkati bir hedefe yönlendirme (yönelim puanları) ve hem yaşlı hem de genç bireylerde dikkat odaklama (çatışma puanları) becerilerinde önemli iyileşmeler olduğunu göstermiştir. Ancak, dış uyarılara hızlı tepki verme becerisinde (uyarı puanları) bir gelişme gözlenmemiştir. Ayrıca, fm θ eğitiminin yaşlı bireylerde çalışma belleği işlevini iyileştirdiği ve her iki grupta da dinlenme EEG'sini düzenlediği bulunmuştur. Genel olarak, fm θ artırmaya yönelik bu protokolün yaşlı bireylerde dikkat ve çalışma belleğini, genç bireylerde ise yönetici işlevleri geliştirdiği görülmüştür (J.-R. Wang & Hsieh, 2013).

Frekansların Etkisi: Alfa, Beta ve Gamma Protokolleri

Zoefel vd., EEG'de bireysel olarak belirlenen üst alfa (UA) frekans bandının nörogeribildirim yoluyla eğitilebilirliği ve bilişsel performans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bir hafta süren beş seanslık eğitim sonucunda, on dört katılımcının on biri UA genliğini önemli ölçüde artırmıştır. NGB grubunda, kontrol grubuna kıyasla zihinsel rotasyon testi puanlarında anlamlı bir artış kaydedilmiştir. Ayrıca, UA genliği artışının diğer frekans bantlarından bağımsız olduğu ve eğitim seanslarının etkilerinin sürdüğü tespit edilmiştir. Sonuçlar, NGB'nin UA bandını hedefleyerek bilişsel performansı artırabileceğini ve bu artışın bilişsel kontrolle güçlü bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir (Zoefel vd., 2011). Bu bulgular, farklı frekans bantlarının hedeflenmesiyle NGB uygulamalarının çeşitlendirilebileceğini göstermekte ve diğer protokollerin etkilerini daha kapsamlı bir şekilde incelemek için önemli bir temel oluşturmaktadır. Diğer frekans bantlarının etkileri de önemli araştırma alanlarından biri olmuştur

Staufenbiel vd., EEG'de gamma ve beta NGB protokollerinin yaşlı bireylerde bilişsel performans ve beyin aktivitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmaya katılan 20 yaşlı birey, 21 gün boyunca toplam 8 seans (her biri 30 dakika) gamma veya beta nörogeribildirim eğitimi almıştır. Sonuçlar, her iki protokolün de eğitim sırasında beyin aktivitesini önemli ölçüde artırdığını ve yaşlı bireylerin beyinlerinin nörogeribildirim yoluyla eğitilebileceğini göstermiştir. Ancak, bilişsel performans (IQ ve hafıza testleri) veya dinlenme durumundaki EEG ölçümlerinde bir etkisi bulunamamıştır. Bu bulgular, yaşlı bireylerin nörogeribildirimle eğitilebildiğini, ancak bilişsel performans üzerindeki etkilerin protokolün

tasarımına ve uygulamasına bağlı olabileceğini ortaya koymaktadır (Staufenbiel vd., 2014).

Hafıza Performansı ve Stres İlişkisi

Lecomte ve Juhel, nörogeribildirim 65 yaş üstü bireylerin hafıza performansı üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Üç gruba ayrılan 30 katılımcıdan, NGB grubundakiler alfa frekans gücünü ve alfa/teta oranını artırmayı öğrenmiştir. Ancak, EEG aktivitesindeki bu değişiklikler stres ve anksiyete seviyeleriyle ilişkili bulunmamış ve hafıza performansında (kelime hatırlama ve öğrenme) bir iyileşme sağlanamamıştır. Sonuçlar, NGB eğitiminin geniş uygulama potansiyeline işaret ederken, bilişsel performans üzerindeki etkilerini netleştirmek için daha sistematik çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (Lecomte & Juhel, 2011).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Yaşlı bireylerde nörogeribildirim, bilişsel işlevlerin korunması ve geliştirilmesi açısından umut vaat etmektedir. Literatürdeki bulgular, nörogeribildirim dikkat, çalışma belleği ve bilişsel kontrol gibi alanlarda genel olarak olumlu etkiler sağladığını göstermiştir. Bununla birlikte, bu etkilerin şiddeti ve kalıcılığı, uygulanan protokolün tasarımı, hedeflenen frekans bandı, bireyselleştirme düzeyi ve uygulama süresine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Gelecekteki çalışmalar, farklı yaş grupları ve bilişsel profillerde nörogeribildirim etkinliğini daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmelidir. Özellikle bireylerin EEG özelliklerine dayalı olarak özelleştirilmiş protokollerin geliştirilmesi, tedavi etkinliğini artırmak için kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca, uzun vadeli etkileri ve farklı frekans bantlarının nörogeribildirim süreçlerine olan katkısını anlamak için daha geniş ölçekli ve uzun dönemli araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür çalışmalar, nörogeribildirim teknolojilerinin hem bireysel kullanımını hem de klinik uygulamalarını daha etkin ve yaygın hale getirebilir. Böylelikle, yaşlı bireylerin bilişsel işlevlerini destekleyen, kişiselleştirilmiş ve kanıta dayalı müdahalelerin geliştirilmesi mümkün olacaktır.

6. Öğrenme Güçlüğü ve Disleksinin Yönetiminde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Disleksi, bireylerin yazma, okuma ve öğrenme süreçlerinde karşılaştıkları ciddi zorluklarla tanımlanan bir nörobiyolojik bozukluktur. Geleneksel yöntemlerle uygulanan okuma geliştirme programları genellikle etkili sonuçlar vermez ya da uzun süreli ve yoğun terapi gerektirir. Bu bağlamda, nörogeribildirim eğitimi, disleksi tedavisinde umut verici bir

yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Nörogeribildirim, beynin elektriksel aktivitelerini düzenlemeyi hedefleyerek öğrenme performansını artırmaya yönelik bir araç sunar. Ancak, bu alandaki araştırmalar sınırlı bir örneklem büyüklüğü ve tek bantlı eğitim protokolleriyle sınırlı kalmıştır. Bu durum, NGB eğitiminin öğrenme güçlüğündeki iyileşme üzerindeki etkinliğini kesin olarak belirlemeyi güçleştirmektedir. Disleksi tedavisinde bu eğitim potansiyel bir çözüm sunarken, yöntemin etkinliğini daha iyi anlamak için daha kapsamlı ve metodolojik açıdan güçlü çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Othman vd., 2020).

Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular

Araştırmacılar, yaşları 8 ile 15,98 arasında değişen (ort. yaş = 10,33) 19 çocuk (11 erkek, 8 kız) üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmaya, kişisel veya ailesel bir akıl hastalığı geçmişi, beyin hasarı, nörolojik bozukluk, ciddi tıbbi durumlar, uyuşturucu veya alkol bağımlılığı ile ailede genetik bozukluk öyküsü olmayan bireyler dahil edilmiştir. Katılımcılar rastgele şekilde deney (n=10) ve kontrol (n=9) gruplarına atanmıştır. Her iki gruba da iyileştirici öğretim programı uygulanmıştır. Tüm katılımcılar, NGB eğitimi öncesinde ve sonrasında, okuma ve heceleme yeteneklerini değerlendiren testlere tabi tutulmuş; ayrıca nöropsikolojik testler ve kantitatif elektroensefalografi değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçlar, deney grubunun heceleme becerilerinde önemli ölçüde gelişme gösterdiğini ortaya koymuştur. Ancak, okuma becerilerinde benzer bir gelişme saptanmamıştır (Breteler vd., 2010).

Azadi çalışmasında, Norveçli disleksik çocuklarda okuma becerisini geliştirmek amacıyla NGB eğitimi değerlendirmeyi hedeflemiştir. 14-15 yaşlarında 5 katılımcıyla yürütülen bu müdahale öncesi-sonrası çoklu vaka tasarımı çalışmasında, 25 NGB seansı, 15 Teta/Beta eğitimi ve dil alanlarında odaklanan 10 bireysel eğitim uygulanmıştır. Sonuçlar, tüm katılımcılar arasında okuma ve fonolojik becerilerde iyileşme gözlemlendiğini göstermiştir. Ayrıca, qEEG analizi, çeşitli beyin bölgelerinde teta, alfa ve beta aktivitelerinde değişiklikler tespit etmiştir. Çalışma, disleksinin heterojen yapısını ve birçok beyin bölgesinin disleksiye dahil olduğunu doğrulamıştır. Ancak, sınırlı katılımcı sayısı ve okuma becerisini etkileyebilecek diğer değişkenlerin düşük kontrolü gibi sınırlamalar mevcuttur. Bu sonuçlar, daha büyük örneklem ve genişletilmiş eğitim seanslarıyla daha fazla araştırmanın gerekliliğini vurgulamaktadır (Azadi, 2016).

Chegini vd., disleksili çocuklarda bilişsel rehabilitasyon ile NGB'nin dikkat, çalışma belleği, işlem hızı ve kaygı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Araştırma, 7-10 yaş arası disleksili çocuklardan oluşan 30 katılımcı ile gerçekleştirilmiş ve rastgele iki gruba ayrılmıştır: bilişsel rehabilitasyon grubu ve NGB grubu. Her iki grup da belirli bir eğitim programına tabi tutulmuş ve sonuçlar entegre görsel ve işitsel fonksiyon testi,

Wechsler bellek ölçeği ve Spence çocuk kaygı ölçeği kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, NGB grubunun dikkat, bellek ve işlem hızı puanlarında daha fazla artış gösterdiğini, ayrıca takip aşamasında kaygı düzeylerinin daha fazla azaldığını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, nörogeribildirim disleksili çocuklarda bilişsel ve duygusal gelişimi desteklemede etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir (Chegini vd., 2022).

Başka bir çalışmada, disleksili öğrencilerde bilişsel eksiklikler ve görsel-motor algı üzerindeki NGB eğitiminin etkinliği araştırılmıştır. Tahran'da 8-11 yaşlarındaki disleksili öğrencilerden oluşan örneklem, 40 katılımcı arasından seçilmiş ve rastgele deney (n=16) ve kontrol (n=17) gruplarına atanmıştır. Deney grubu, 45 dakika süren toplamda sekiz hafta boyunca nörogeribildirim eğitimi alırken, kontrol grubuna herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır. Çalışmada kullanılan araçlar arasında Tower of London, Stroop, sürekli işlem testi, n-geri testi ve Bender-Gestalt görsel-motor koordinasyon ölçümleri yer almıştır. Sonuçlar, NGB eğitiminin bilişsel performansı artırdığı, dikkat ve işlem hızını iyileştirdiği, ayrıca görsel-motor koordinasyon üzerindeki etkisinin anlamlı olduğunu göstermiştir ($P<0,05$). Bu bulgular, NGB'nin disleksik çocukların semptomlarını hafifletmek için etkili bir yöntem olabileceğini ortaya koymaktadır (Zarenezhad vd., 2020).

Eroğlu, disleksili bireylerin bilişsel işlevlerini geliştirmek amacıyla, NGB ve çoklu duyusal öğrenme prensiplerini birleştiren Auto Train Brain adlı mobil uygulamayı incelemiştir. Bu uygulama, EMOTIV EPOC+ cihazından alınan qEEG sinyallerini işleyerek, görsel ve işitsel geri bildirimler aracılığıyla beyin aktivitelerini iyileştirmeyi hedeflemektedir. Araştırmaya, deney grubunda yer alan 16 disleksili birey ve kontrol grubunda yer alan 14 disleksili birey katılmıştır. Deney grubu, yaklaşık 30 dakika süren ve toplamda 60'tan fazla nörogeribildirim seansı alırken, kontrol grubu yalnızca özel eğitim almıştır. Katılımcıların okuma becerileri, tedavi öncesi ve sonrası TILLS testi ile değerlendirilmiştir. Araştırma bulguları, nörogeribildirim ve çoklu duyusal öğrenme yönteminin birlikte uygulanmasının, disleksili bireylerde okuma ve okuduğunu anlama becerilerinde anlamlı bir gelişim sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle, deney grubunun okuduğunu anlama becerisi, kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak daha fazla iyileşme göstermiştir (Eroğlu, 2020).

Nazari vd., NGB'nin okuma becerileri, fonolojik farkındalık ve EEG üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmaya yaşları 8 ile 10 arasında değişen, 20 adet 30 dakikalık NGB seansını ve takip ölçümlerini tamamlayan 6 çocuk katılmıştır. Sonuçlar, katılımcıların okuma ve fonolojik farkındalık becerilerinde anlamlı iyileşmeler olduğunu ortaya koymuştur. EEG analizi, hedeflenen bantlarda (delta, teta ve beta) güç değişiklikleri göstermemiş, ancak T3-T4 bölgesinde teta bandında, Cz-Fz bölgesinde delta bandında ve Cz-Fz, Cz-Pz ve Cz-C4 bölgelerinde beta bandında koheransın normalleştiğini ortaya koymuştur. Bu koheransta görülen değişimlerin, okuma becerileri ve fonolojik farkındalıktaki gelişmeleri duyusal ve motor alanların

daha iyi entegrasyonu ile açıklayabileceği düşünülmektedir (Nazari vd., 2012).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Nörogeribildirim, disleksi ve öğrenme güçlüklerinin yönetiminde etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Çalışmalar, nörogeribildirim okuma, heceleme, dikkat, işlem hızı ve fonolojik farkındalık gibi alanlarda anlamlı iyileşmeler sağladığını göstermektedir. Bu sonuçların farklı demografik gruplar üzerinde ve daha geniş bir örnekleme doğrulanması, yöntemin genellenabilirliğini artıracaktır. Özellikle beyin aktivitelerindeki değişimlerin, bu ilerlemelere doğrudan katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Ancak, örneklem büyüklükleri, farklı metodolojik yaklaşımlar ve kontrolsüz değişkenler, bu alandaki araştırmaların en büyük kısıtlarıdır. Nörogeribildirim uygulamalarında elde edilen olumlu sonuçların sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve uzun vadeli etkilerini anlamak, yöntemin etkinliği ve güvenilirliğini daha iyi ortaya koyacaktır. Bu bulgular, eğitim ve terapi süreçlerinde nörogeribildirim uygulanabilir bir yöntem olduğunu doğrulamada önemli bir yere sahiptir.

7. Epilepsi Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Epilepsi, çocukluk çağında en sık görülen nörolojik bozukluklardan biridir ve provoke edilmemiş nöbetlerle karakterize edilir. Nöbetler, beynin anormal elektriksel aktivitesine bağlı olarak motor, duyuşsal, davranışsal ve bilinçsel işlevlerin bozulmasına neden olur. Genelleşmiş nöbetler beynin her iki tarafını etkilerken, fokal nöbetler yalnızca belirli bir bölgede meydana gelir. Epilepsili çocuklar, bilişsel bozukluklar ve ruhsal sağlık sorunları açısından yüksek risk altındadır.

Mevcut tedaviler arasında antiepileptik ilaçlar (AED), cerrahi müdahale, ketojenik diyet ve vagus sinir uyarımı yer almaktadır. Ancak AED'lerin bilişsel yan etkileri ve uzun vadeli etkinliklerinin sınırlı olması, özellikle pediatrik popülasyonda alternatif tedavi arayışlarını artırmıştır. Bu bağlamda nörogeribildirim, bireylere EEG yoluyla gerçek zamanlı geri bildirim sağlayarak beyin dalgası düzenlerini kontrol etmeyi amaçlayan bir yöntem olarak dikkat çekmektedir. Beyin dalgalarının anormal elektriksel aktivitelerinden kaynaklanan nöbetlerin kontrol altına alınmasında nörogeribildirim potansiyeli, daha güvenli ve etkili tedavi seçenekleri geliştirilmesi açısından önemlidir. Mevcut bulgular, bu yöntemin epilepsi tedavisinde umut vaat ettiğini göstermektedir; ancak daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Nigro, 2019).

Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular

Epilepsili hastalarda gerçekleştirilen bir araştırmada, yavaş kortikal potansiyel kaymalarını kontrol etmeyi öğrenen fokal epilepsili bireylerde nöbet sıklığındaki değişimler incelenmiştir. Çalışmada, ilaca dirençli 27 hastanın SCP kontrol yeteneği ve klinik iyileşmeleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, geri bildirimli denemelerde SCP genlik farkının seanslar boyunca doğrusal olarak arttığını ve ortalama nöbet sıklığında %25'lik bir azalma olduğunu göstermiştir. Ancak, hastaların üçte birinde klinik iyileşme gözlenmemiştir. Bulgular, SCP kontrolünün klinik sonuçlara etkisini ve büyük negatif SCP'lerin nöbet sıklığını azaltmada sınırlı etkisini ortaya koymaktadır (Kotchoubey vd., 1999).

Tıbbi olarak kontrol edilemeyen nöbetleri olan 25 epilepsi hastası üzerinde gerçekleştirilen bir araştırmada, qEEG rehberliğinde nörogeribildirim eğitimi uygulanmıştır. Çalışmada, hastaların %75'inde teta hipokoheransı, %42'sinde alfa koheransında azalma, %50'sinde beta hipokoheransı ve %25'inde delta hipokoheransı tespit edilmiştir. Alfa koheransında artış ise hastaların %33'ünde gözlenmiştir. Tedavi sonrası, güç ve koherans anormalliklerinin büyük çoğunluğu normale dönerken, hastaların tamamı nöbetsiz hale gelmiş ve %76'sı antikonvülzan ilaç kullanımını bırakmıştır. Bulgular, qEEG tabanlı nörogeribildirim yönteminin ilaçlara dirençli epilepsi vakalarında etkili bir tedavi seçeneği olabileceğini göstermektedir (Walker, 2008).

Zhao vd., ilaca dirençli epilepsisi olan altı hasta üzerinde nörogeribildirim eğitiminin EEG üzerindeki etkileri ve epilepsi semptomlarına olan katkısı araştırılmıştır. Hastalar, 12-15 Hz sensörimotor ritmi artırma ve 4-9 Hz teta aktivitesini azaltma odaklı eğitim almıştır. Tedavi seanslarından sonra, EEG sensörimotor ritmi/teta güç spektral yoğunluğu oranında artış görülmüş, bu da NGB protokolüyle uyumlu bir sonuç olarak değerlendirilmiştir. Ek olarak, EEG'nin doğrusal olmayan bir ölçümü olan yaklaşık entropi (ApEn), tedavi süresince artış göstermiştir. ApEn artışı, özellikle eğitim bölgesine yakın (C4) ve aynı yarımküredeki kanallarda daha belirgin olmuştur. Tüm hastalarda nöbet semptomlarında iyileşme kaydedilmiş ve bu sonuçlar, EEG biyofeedback eğitiminin epilepsi semptomlarını hafifletmede etkili bir yöntem olabileceğini ortaya koymuştur (Zhao vd., 2009).

Bir diğer çalışmada tıbbi tedaviye dirençli epilepsi hastalarında LORETA z-skor nörogeribildirim tekniklerinin Varsayılan Mod Ağı (Default Mode Network - DMN) üzerinde eğitim yoluyla nöbet sıklığını azaltmadaki potansiyel etkinliğini incelemiştir. Araştırmaya, bir yıl boyunca tek bir akademik merkezdeki Nörogeribildirim Kliniği'nde takip edilen ve cerrahi tedaviye uygun olmayan ya da cerrahiye reddeden 6 hasta dahil edilmiştir. Hastaların yaş ortalaması 33 olup, epilepsi süreleri ortalama 17,2 yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışmaya katılanların büyük çoğunluğu (5/6) fokal

başlangıçlı epilepsiye sahiptir ve hiçbirinin yapısal bir beyin lezyonu yoktur. Hastalar, haftada 1-2 kez, 20-30 dakikalık seanslarla yaklaşık 20,8 hafta boyunca DMN üzerinde LORETA z-skore nörogeribildirim eğitimi almıştır. Sonuçlar, 6 hastanın 5'inde haftalık nöbet sıklığında subjektif bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Bu küçük ölçekli çalışmada, DMN'ye yönelik LORETA z-skor nörogeribildirim eğitimlerinin nöbet sıklığını azaltmada umut verici bir yöntem olabileceği belirtilmiştir. Ancak, bu yöntemin etkinliğinin daha geniş kapsamlı çalışmalarda değerlendirmesi gerektiği vurgulanmıştır (C Frey, 2015).

Kontrollü fokal epilepsisi olan çocuklar ve ergenler üzerinde gerçekleştirilen bir araştırma, iki farklı nörogeribildirim modalitesinin bilişsel işlev, yaşam kalitesi ve klinik sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmaya katılan 44 birey, sensörimotor ritim NGB, yavaş kortikal potansiyeller NGB ve sahte NGB gruplarına randomize edilerek 25 seanslık bir müdahale sürecine katılmıştır. Sonuçlar, SMR NGB'nin dikkat değiştirme görevi reaksiyon süresini anlamlı derecede azalttığını ve bu değişimin EEG'deki teta gücü ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, SMR grubu beta koheransında belirgin bir azalma kaydetmiştir. Tüm gruplarda yaşam kalitesinde iyileşme görülmüş ve sahte NGB grubunda plasebo etkisinin güçlü olduğu belirtilmiştir. Çalışma, NGB'nin pediatrik epilepside bilişsel işlevi geliştirme ve yaşam kalitesini artırma potansiyelini vurgulamaktadır (Morales-Quezada vd., 2019).

İlaç dirençli fokal epilepsili dört hastada sensörimotor ritim nörogeribildirim eğitiminin nöbet sıklığı, bilişsel işlevler ve beyin bağlantıları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Altı ila sekiz hafta süren eğitim sonrasında tüm hastalarda nöbet sıklığında %35 ila %100 arasında azalma kaydedilmiş ve bilişsel işlevlerde anlamlı iyileşmeler tespit edilmiştir. Ayrıca, subkortikal ve işitsel ağlar arasında artan kesirli anizotropi değerleri, SMR eğitiminin nöromodülatör etkilerini desteklemiştir. Bu bulgular, SMR nörogeribildirim eğitiminin ilaç dirençli fokal epilepsili hastalar için etkili bir tedavi seçeneği olabileceğini göstermektedir (Abolghasemkhan-Salmasi vd., 2023).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Nörogeribildirim, epilepsi tedavisinde, özellikle ilaçlara dirençli vakalarda, umut vadeden bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Mevcut çalışmalar, nörogeribildirim tekniklerinin nöbet sıklığını azaltma, bilişsel işlevleri iyileştirme ve yaşam kalitesini artırma potansiyelini göstermiştir. Sensörimotor ritim ve yavaş kortikal potansiyel gibi modaliteler, nöbetlerin kontrol altına alınmasında etkili bulunmuş, EEG analizleriyle bu yöntemlerin beyindeki nörofizyolojik değişimlere yol açtığı ortaya konmuştur.

Bununla birlikte, mevcut literatürde bazı sınırlamalar dikkat çekmektedir. Çoğu çalışma, küçük örneklem büyüklükleriyle gerçekleştirilmiş olup, randomize kontrollü tasarımların eksikliği genel

sonuçların genellenebilirliğini sınırlamaktadır. Ayrıca, plasebo etkilerinin bazı nörogeribildirim çalışmalarında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, yöntemin etkinliğinin daha ayrıntılı ve metodolojik olarak sağlam çalışmalarla doğrulanmasını gerektirmektedir. Yeni teknolojilerin, beyin ağları arasındaki işlevsel bağlantıları hedefleyen daha karmaşık protokollerle birleştirilmesi, epilepsi tedavisinde nörogeribildirim daha etkili bir yöntem olarak yer edinmesini sağlayabilir.

8. Otizm ve Asperger Sendromu Tedavisinde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB), otizm, Asperger sendromu ve atipik otizm gibi gelişimsel bozuklukları kapsayan bir tanımlayıcı terimdir ve toplumda yaklaşık %1 oranında görüldüğü tahmin edilmektedir. Erken çocukluk döneminde başlayan OSB, sosyal etkileşim, iletişim ve davranışsal esneklikte kalıcı zorluklarla karakterize olup, özellikle zihinsel engellilik ve dil gecikmesi gibi eşlik eden durumlarda yaşam boyu süren etkiler gösterebilmektedir. Bu bozukluğun tedavisinde hem davranışsal hem de biyolojik yaklaşımlar kullanılmakla birlikte, alternatif yöntemler de giderek önem kazanmaktadır. Özellikle nörogeribildirim, bu alanda bilişsel ve davranışsal iyileşmeler hedefleyen bir yöntem olarak dikkat çekmektedir (Holtmann vd., 2011).

Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular

Otizm spektrum bozukluğu üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada, 24 çocuk cinsiyet, yaş ve bozukluk şiddetine göre iki gruba ayrılmıştır. Bir grup NGB eğitimi alırken, diğer grup kontrol grubu olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, NGB grubunda otizm semptomlarının %26 oranında azaldığını, kontrol grubunda ise %3'lük bir değişim gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Ebeveyn değerlendirmeleri, NGB eğitimi alan çocuklarda davranış kategorilerinde (sosyalleşme, seslendirme, kaygı, okul çalışması, öfke nöbetleri ve uyku) belirgin iyileşmeler olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, nörogeribildirim otizm semptomlarını iyileştirmede etkili bir yöntem olduğunu desteklemektedir (Jarusiewicz, 2002).

Değerlendirme rehberliğinde gerçekleştirilen bir NGB araştırmasında, 37 Otizm spektrum bozukluğu hastasına 20 seanslık bir uygulama yapılmıştır. Deney ve kontrol grupları yaş, cinsiyet, ırk, el kullanımı, diğer tedaviler ve OSB şiddeti açısından eşleştirilmiştir. Sonuçlar, nörogeribildirim uygulanan grupta OSB semptomlarının %40 oranında azaldığını (ATEC Toplam Puanları ile), %89'luk bir genel başarı oranına ulaşıldığını ve %76 oranında serebral hiperbağlantıda azalma gözlemlendiğini göstermiştir. Ayrıca, azalmış serebral hiperbağlantı olumlu klinik sonuçlarla ilişkilendirilmiştir. Bu bulgular, nörogeribildirim OSB'nin tedavisinde etkili olabileceğini ve beyin

bağlantısındaki düzenlemelerin klinik iyileşmelere katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Coben & Padolsky, 2007).

Otizm hastaları üzerine gerçekleştirilen bir başka çalışmada, OSB tanısı almış hastalarda öğrenme ve konuşma yeteneğini geliştirmek için NGB eğitimi ve konuşma terapisinin etkisi incelenmiştir. Tek vaka çalışmasında, Otizm spektrum bozukluğu tanısı almış 6 yaşındaki bir erkek çocuğa 50 seans EEG biyogeribildirim eğitimi ve 20 seans konuşma terapisi uygulanmıştır. Eğitim sürecinde qEEG ölçümleri ve annenin resmi görüşmeleri kullanılmış, semptomlarda belirgin azalma ve performansta artış gözlenmiştir. Bu çalışma, NGB'nin otistik çocuklarda semptomları azaltmada ve performansı artırmada etkili olabileceğini ortaya koymakta ve gelecekteki araştırmalar için teşvik edici bir temel oluşturmaktadır (Karimi vd., 2011).

OSB'li çocuklarda davranış, biliş ve duygu düzenlemesini geliştirmek amacıyla nörogeribildirim eğitimi yaklaşımları incelenmiştir. Çalışmaya katılan 13 çocuk, 16 NGB seansını tamamlayarak ön ve son değerlendirmelere tabi tutulmuştur. NGB, sosyal etkileşimi teşvik eden, taklit ve duygusal tepkilere dayalı geri bildirim sağlayan bir oyun temeline dayanmaktadır. Eğitim sırasında EEG mu baskılanması (8-12 Hz) çift yönlü olarak eğitilmiş ve bu yöntem, mu ritmini geliştirmenin standart tekniği ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, çocukların her iki yöntemle de mu ritmini kontrol etmeyi öğrendiklerini göstermiştir. Ayrıca, elektrofizyolojik açıdan mu baskılanmasında artış, duygu tanıma ve kendiliğinden taklit gibi duygusal tepkilerde gelişme ve günlük yaşamda davranışsal olarak önemli iyileşmeler gözlenmiştir. Bu bulgular, NGB'nin OSB'li çocuklarda sosyal etkileşim için gerekli olan davranışsal ve duygusal becerileri iyileştirebileceğini ortaya koymaktadır (Friedrich vd., 2015).

İnfradüşük frekanslı (Infra-Low Frequency - ILF) nörogeribildirim prosedürünün OSB tedavisindeki etkinliğine dair sınırlı veri olmasına rağmen, başka bir vaka çalışmasında 5 yaşında OSB tanısı almış bir erkek çocuğa 6 ay boyunca 26 seans ILF NGB tedavisi uygulanmıştır. OSB semptomlarındaki değişimler sistematik ve nicel olarak takip edilmiş, fiziksel ve uyku semptomlarında ortalama %80 ve %77 oranında, davranışsal semptomlarda ise %15 oranında azalma kaydedilmiştir. Bu bulgular, ILF nörogeribildirim OSB semptomlarını azaltmada etkili bir terapötik araç olabileceğini ve klinik uygulamada fayda sağlayabileceğini göstermektedir (Rauter vd., 2022).

Otizm spektrum bozukluğu üzerine gerçekleştirilen bir araştırmada, düşük frekanslı Tekrarlayan Transkraniyal Manyetik Stimülasyon (rTMS) ve elektroensefalografik nörogeribildirim tedavisinin etkisi incelenmiştir. Çalışmaya 42 OSB'li çocuk (~14,5 yaş) katılmış, katılımcılar 18 seanslık TMS-NGB tedavisi uygulanan grup (N = 20) ve bekleme listesi (WTL, N = 22) grubuna ayrılmıştır. Tedavi etkinliği, davranışsal değerlendirmeler ve olayla ilişkili potansiyel (ERP) ölçümleriyle analiz edilmiştir. Sonuçlar, TMS-NGB grubunun, WTL grubuna kıyasla davranışsal ve işlevsel sonuçlarda önemli gelişmeler gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, kombine TMS-

NGB tedavisinin OSB'li çocuklarda yönetici işlevleri iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu desteklemektedir (Sokhadze vd., 2014).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Otizm Spektrum Bozukluğu tedavisinde nörogeribildirim, son yıllarda yapılan araştırmalarla önemli bir alternatif tedavi yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Çalışmalar, nörogeribildirim sosyal etkileşim, dil becerileri, bilişsel işlevler ve davranışsal düzenleme gibi alanlarda önemli iyileşmeler sağladığını göstermektedir. Özellikle EEG tabanlı nörogeribildirim ve infra-düşük frekanslı (ILF) nörogeribildirim uygulamalarının OSB semptom şiddetinde belirgin azalmalar sağladığı ve serebral hiperbağlantının düzenlenmesi yoluyla olumlu klinik sonuçlara katkıda bulunduğu görülmüştür. Ek olarak, nörogeribildirim tekrarlayan transkraniyal manyetik stimülasyon (rTMS) gibi diğer yöntemlerle kombinasyonu, tedavi etkinliğini artırarak OSB'li bireylerin yaşam kalitesine önemli katkılar sunmaktadır. Ancak mevcut çalışmalar, sınırlı örneklem büyüklükleri ve yetersiz kontrol grupları nedeniyle genellebilirlik sorunları taşımaktadır.

Gelecekteki araştırmaların daha geniş örneklem gruplarıyla, farklı yaş aralıkları ve semptom şiddetleri göz önünde bulundurularak yapılması önemlidir. Sonuç olarak, nörogeribildirim, OSB semptomlarını azaltmada ve bireylerin işlevselliğini artırmada etkili bir yöntem olarak umut vadetmektedir. Bilimsel araştırmaların genişletilmesi ve daha güçlü kanıtlarla desteklenmesi durumunda, NGB'nin klinik uygulamalarda yaygınlaşması ve OSB'li bireylerin yaşam kalitesine önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

9. Ağrı Yönetiminde Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Kronik ağrı, küresel çapta yetişkinlerin yaklaşık dörtte birini ve benzer şekilde genç nüfusun önemli bir kısmını etkileyen ciddi bir sağlık sorunu olarak öne çıkmaktadır. Fiziksel, psikolojik ve sosyal alanlarda birçok olumsuz sonuç doğuran kronik ağrı, tedavi edilmediği durumlarda bireylerin yaşam kalitesini önemli ölçüde düşürmekte ve topluma büyük ekonomik yükler getirmektedir. Mevcut tedavi yöntemleri, genellikle ağrıyı hafifletmede ve yeni atakları önlemede yetersiz kalmaktadır. Beynin ağrı algısındaki merkezi rolü göz önüne alındığında, beyin aktivitesini doğrudan hedef alan müdahalelerin bu alandaki potansiyeli giderek daha fazla dikkat çekmektedir.

Araştırmalar, NGB'nin ağrı tedavisinde olumlu etkiler sunabileceğini ve kronik ağrının altında yatan nörofizyolojik mekanizmaları etkileyerek ağrıyı azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu tedavi yönteminin etkinliğini tam olarak anlamak ve potansiyel sınırlılıklarını değerlendirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular

Fibromiyalji üzerine yapılan bir randomize kontrollü çalışmada, nörogeribildirim eğitiminin ağrı, semptom şiddeti, uyku kalitesi ve bilişsel işlevler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Seksen katılımcı, 8 hafta boyunca sensörimotor ve alfa ritmi geribildirim alan nörogeribildirim grubuna (n=60) veya telefon destek grubuna (n=20) atanmıştır. Sonuçlar, nörogeribildirim eğitiminin ağrı şiddeti, fibromiyalji semptomları, uykuya dalma süresi ve dikkat sürdürme becerilerinde anlamlı iyileşmeler sağladığını göstermiştir. Bu bulgular, NGB'nin fibromiyalji tedavisinde etkili bir yöntem olabileceğini desteklemektedir (Y.-L. Wu vd., 2021).

Merkezi nöropatik ağrı olan katılımcılar üzerinde gerçekleştirilen bir araştırmada, kendi kendilerine uygulayabilecekleri nörogeribildirim tedavisinin etkileri incelenmiştir. On beş kronik omurilik yaralanması olan katılımcı, hastanede yapılan dört seanslık ilk eğitimden sonra, evde haftada ortalama 2-3 kez NGB uygulamıştır. NGB protokolü, alfa bandı (9-12 Hz) gücünün yukarı regüle edilmesi, teta (4-8 Hz) ve yüksek beta (20-30 Hz) bantlarının ise aşağı regüle edilmesini kapsamaktadır. Çalışma sonuçları, katılımcıların ağrı seviyelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma sağladığını ve sekiz katılımcıda bu azalmanın klinik olarak anlamlı (%30'dan fazla) olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çoğu katılımcı, alfa bandındaki frekansı yukarı düzenleyerek ağrıda önemli bir azalma elde etmiştir. Sonuç olarak, NGB, katılımcıların ağrı üzerinde kontrol sağlamalarına ve evde bağımsız olarak uygulanabilen etkili bir nöromodülatör tekniği olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır (Vučković vd., 2019).

Taşınabilir EEG cihazı kullanılan başka bir araştırmada, kronik merkezi nöropatik ağrı (Chronic Neuropathic Pain - CNP) ve omurilik yaralanması (Spinal Cord Injury - SCI) olan hastaların evlerinde kendi kendilerine uyguladıkları nörogeribildirim tedavisinin sonuçları incelenmiştir. 20 katılımcıdan 15'i, dört seanslık laboratuvar eğitiminin ardından evde NGB uygulamıştır. NGB protokolü, alfa bandı gücünü yukarı düzenlerken, teta ve üst beta bandı güçlerini aşağı düzenlemeyi hedeflemiştir. Katılımcılar, ortalama 6,9 hafta boyunca sistemi kullanmış, 12'si beyin dalgalarını frekansa özgü bir şekilde düzenlemiş ve en başarılı sonuçları alfa bandı gücünde almıştır. Ağrı şiddetinde %30'dan fazla azalma, 12 katılımcıda istatistiksel olarak anlamlı, 8 katılımcıda ise klinik olarak anlamlı bulunmuştur. Katılımcılar, NGB uygulaması sırasında hafif stresli olsalar da, yüksek kullanıcı memnuniyeti bildirmiştir. Çalışma, taşınabilir NGB'nin CNP tedavisinde etkili ve düşük yan etkiyle ağrı yönetimi sağlayan uygulanabilir bir çözüm olduğunu göstermektedir (Al-Taleb vd., 2019).

Kronik ağrı, travmatik beyin hasarı ve travma sonrası stres bozukluğu (Post-Traumatic Stress Disorder - PTSD) olan askeri gazilerde yaygın bir sorundur. Bu çalışmada, taşınabilir bir EEG başlığı ve mobil bir uygulama kullanarak, gazilerin bağımsız bir şekilde nörogeribildirim uygulama yeteneği

ve etkinliği değerlendirilmiştir. 41 gaziden 36'sı üç aylık bir süre boyunca mobil nörogeribildirim seanslarına katılmıştır. Sonuçlar, gazilerin ağrı yoğunluğu, depresyon, PTSD semptomları, öfke, uyku bozuklukları ve intihar düşünceleri gibi sorunlarda iyileşme gösterdiğini ortaya koymuştur. Seanslardan hemen sonra gaziler, ağrı yoğunluğunda %67'lik bir azalma bildirmiştir. Çalışma, gazilerin minimal eğitim ve destekle mobil nörogeribildirim uygulamalarını bağımsız olarak kullanabildiğini ve taşınabilir teknolojinin ağrı yönetimi için umut verici bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir. Ancak, bu bulguların doğrulanabilmesi için çift kör randomize kontrollü denemelere ihtiyaç duyulmaktadır (Elbogen vd., 2021).

Mayaud vd., kronik bel ağrısı (Chronic Low Back Pain - cLBP) olan 16 çoklu dirençli hastaya alfa faz senkronizasyonu (AFS) beyin rehabilitasyon müdahalesi uygulamıştır. Müdahale, 20 seanslık EEG-AFS nörogeribildirim programından oluşmuş ve ağrı, depresyon, anksiyete gibi klinik ölçütlerle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, müdahalenin çoğu klinik ölçekte büyük ve kalıcı iyileşme sağladığını göstermiştir. EEG verileri, hastaların AFS nörobelirtelerini kontrol etmeyi öğrendiklerini ve dinlenme durumu aktivitelerinde önemli değişiklikler olduğunu doğrulamıştır. Önemli bir bulgu olarak, alfa fazı konsantrasyonu nörobelirtecinin klinik semptomlardaki azalma ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Bu alışma, AFS rehabilitasyonunun en şiddetli cLBP vakalarında klinik olarak kullanılabileceğini ve güvenlik profili ile evde kullanım potansiyeli göz önüne alındığında, steroid olmayan anti-inflamatuar ilaçlar ve opioid kullanımı bağlamında umut verici bir tedavi alternatifini sunduğunu göstermektedir (Mayaud vd., 2019).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Yapılan alışmalar, nörogeribildirim tedavisinin kronik ağrı, fibromiyalji, merkezi nöropatik ağrı, travmatik beyin hasarı, travma sonrası stres bozukluğu gibi çeşitli ağrı durumlarının yönetiminde potansiyel bir tedavi aracı olarak öne çıktığını göstermektedir. NGB, beyin aktivitelerini modifiye ederek, ağrıyı hafifletme ve semptomları iyileştirme konusunda umut verici sonuçlar sunmuştur. Özellikle taşınabilir EEG cihazları ve mobil uygulamalar, hastaların evde bağımsız olarak bu tedavi yöntemini uygulamalarını sağlayarak tedaviye erişilebilirliği artırmaktadır. alışmalar, bu tedavi yönteminin ağrı şiddetinde azalma, semptomların iyileşmesi ve genel yaşam kalitesinde artış sağladığını ortaya koymaktadır.

Gelecekte, NGB tedavisinin daha fazla klinik çalışmada test edilmesi ve farklı ağrı türlerine yönelik protokoller geliştirilmesi önemlidir. Ayrıca, tedavi süreçlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için nörofizyolojik mekanizmaların daha ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerekmektedir. NGB'nin farklı tedavi yöntemleriyle entegrasyonu, örneğin farmakolojik tedavi ve davranışsal terapilerle kombinasyonu, tedavi etkinliğini daha da artırabilir.

10. Bağımlılıkla Mücadelede Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Madde Kullanım Bozuklukları (MKB), dünya genelinde ciddi sağlık, sosyal ve ekonomik sorunlara yol açmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 12 yaş ve üzerindeki bireylerin yaklaşık %14,5'inde MKB görülmekte ve bu gruptaki bireylerin yalnızca %6,5'i tedavi almaktadır. Tedavi sırasında sıklıkla tekrarlama oranlarının yüksek olduğu, bireylerin iyileşme sürecinde birçok girişimde bulunmak zorunda kaldığı bildirilmektedir. Dünya genelinde ise yaklaşık 38,6 milyon kişinin MKB'den etkilendiği ve tedavi görenlerin oranının yalnızca %2 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu düşük tedavi oranları, sistematik ve durumsal birçok engelin varlığına işaret etmektedir. Özellikle yüksek tedavi maliyetleri, sınırlı sigorta kapsamı, gizlilik endişeleri ve tedaviye erişim zorlukları gibi faktörler, bireylerin tedaviye erişimini kısıtlamaktadır (Russo vd., 2023).

MKB'lerin yaygınlığı ve nüks oranlarının yüksekliği göz önüne alındığında, mevcut tedavi yaklaşımlarının etkinliğini artıracak yeni yöntemlerin geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu bağlamda nörogeribildirim (NGB), beyin dalgalarını düzenlemeye yönelik bir eğitim yöntemi olarak, bağımlılıkla ilişkili davranışları iyileştirme potansiyeline sahip bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Russo vd., 2023). NGB'nin etkileri, kokain, alkol, metamfetamin gibi farklı bağımlılık türleri üzerinde araştırılmış ve bu yöntem, yalnızca bağımlılık şiddetini azaltmakla kalmamış, aynı zamanda ruh sağlığı, yaşam kalitesi ve kişilik özellikleri gibi faktörler üzerinde de olumlu etkiler göstermiştir.

Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular

Horrel vd., kokain bağımlılarında nörogeribildirim temelli biyodavranışsal tedavinin etkilerini araştırmıştır. On bağımlı birey üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, 12 seanslık NGB eğitimi sırasında merkezi sensörimotor ritim genliğinin artırılmasının ve frontal teta kontrolünün mümkün olduğu gösterilmiştir. Tedavi sonrası yapılan klinik değerlendirmelerde, depresyon ve stres seviyelerinde azalma, idrar testlerinde ise kokain ve esrar kullanımında düşüş tespit edilmiştir. EEG analizleri, nörogeribildirim sonrası uyuturucuyla ilgili hedef ve hedef dışı ipuçlarına karşı uyandırılmış ve indüklenmiş gama tepkilerinde genel bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Bulgular, gama bandı ölçümlerinin NGB tedavisinin işlevsel sonuçlarını değerlendirmede yeterince hassas olduğunu göstermektedir. Çalışma, kokain kullanım bozukluklarında NGB temelli müdahalelerin klinik ve fizyolojik ilerlemeleri izlemek için önemli bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamaktadır (Horrell vd., 2010).

Başka bir vaka çalışması, sağ ön singulat kortekste düşük çözünürlüklü elektromanyetik tomografi nörogeribildirim (LNGB) eğitiminin, madde

kullanım bozukluklarının tedavisindeki etkinliğini ve limbik ve kortikal bölgelerdeki frekans özgül etkilerini incelemiştir. Araştırmaya, eroin ve alkol bağımlılığı geçmişi olan ve 3 yıldır madde kullanımından uzak duran 28 yaşındaki bir kadın katılımcı dahil edilmiştir. Katılımcı, sağ ACC'de 14-18 Hz aktivitesini artırmayı hedefleyen 25 LNGB seansını tamamlamıştır. Elektrofizyolojik ölçümler, sağ hipokampus, sağ amigdaloid kompleks, sağ orbitofrontal korteks, sağ oksipital lob, sağ insular korteks, sağ unkus ve sol prefrontal kortekste iki bölge dahil olmak üzere toplam dokuz beyin bölgesinde analiz edilmiştir. Sonuçlar, sağ ACC'deki eğitimin bu bölgelerde frekans özgül önemli artışlar ve azalmalar sağladığını ve limbik bölgelerde alfa ve teta frekanslarındaki değişikliklerin bağımlılıkla ilişkili karmaşık davranışsal özelliklere katkıda bulunabileceğini ortaya koymuştur (Cannon vd., 2008).

Yapılan farklı bir araştırma, kristal metamfetamin bağımlısı (Crystal Methamphetamine Dependence - CMD) hastalarda nörogeribildirim artı farmakoterapinin, sadece farmakoterapi ile karşılaştırıldığında bağımlılık şiddeti, ruh sağlığı ve yaşam kalitesi üzerindeki etkinliğini incelemiştir. Araştırmaya katılan 100 hasta rastgele deney ve kontrol gruplarına atanmıştır. Deney grubu, iki ay boyunca ilaç tedavisine ek olarak 50 dakikalık otuz NGB seansı almıştır. Kontrol grubu ise yalnızca ilaç tedavisi görmüştür. Tedavi sonrası yapılan değerlendirmelerde, deney grubunun bağımlılık şiddetinde azalma, ruh sağlığı ve yaşam kalitesinde ise iyileşme gösterdiği belirlenmiştir. Çok değişkenli kovaryans analizi, bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, NGB'nin CMD hastalarında tedavi etkinliğini artırmada faydalı bir yöntem olabileceğini göstermektedir (Rostami & Dehghani-Arani, 2015).

Gerçek zamanlı fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (rtfMRI) tabanlı nörogeribildirim yönteminin kullanıldığı araştırmada, nikotin bağımlısı bireylerde isteğin kendi kendine düzenlenmesini ve bağımlılık şiddetinin bu süreçteki rolü incelenmiştir. Dokuz katılımcı, üç rtfMRI ziyaretine katılmış ve ön singulat korteksten (ACC) sağlanan nörogeribildirimle sigara içme ipuçlarına verilen tepkilerini düzenlemeye çalışmıştır. Sonuçlar, ACC'den alınan geri bildirim, üç ziyaret boyunca hem istek seviyesinde hem de ACC aktivasyonunda tutarlı azalmalar sağladığını göstermiştir. Ayrıca, daha düşük nikotin bağımlılığı şiddetine sahip bireylerin, zamanla ACC aktivasyonunu azaltmada daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, nikotin bağımlılığı tedavisinde daha kişiselleştirilmiş nörogeribildirim yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Canterberry vd., 2013).

Nörogeribildirim eğitiminin uzun süreli yoksunluk yaşayan kokain ve eroin bağımlılarında dürtüsellik, anksiyete ve depresyon üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği çalışmaya 20 bağımlı katılmıştır. NGB grubu, inhibitör eksiklikleri hedefleyen 40 seansa katıldı ve klinik iyileşmeler depresyon, kaygı ve dürtüsellik ölçekleriyle ölçüldü. Sonuçlar, NGB grubunda

dürtüsellik, anksiyete ve depresyon semptomlarında anlamlı azalmalar olduğunu, kontrol grubunda ise bu tür iyileşmelerin görülmediğini ortaya koydu. Çalışma, NGB'nin bağımlılık tedavisinde etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir (Corominas-Roso vd., 2020).

Arani vd., NGB eğitiminin opioid bağımlılığı bozukluğu ile ilişkili nöropsikolojik sendromlar üzerindeki etkinliğini değerlendirmiştir. Araştırmaya katılan 20 opioid bağımlısı hasta, farmakoterapi almakta olup, deney ve kontrol gruplarına atanmıştır. Deney grubu ilaç tedavisine ek olarak 30 NGB seansı alırken, kontrol grubu sadece farmakoterapi görmüştür. Psikopatolojik belirtiler ve istek düzeyleri, SCL-90-R, eroin istek anketi ve kantitatif elektroensefalografi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, deney grubunun kontrol grubuna kıyasla obsesyon, saldırganlık, psikoz gibi psikopatolojik belirtilerde, madde kullanım isteğinde ve beyin aktivite sinyallerinde daha fazla iyileşme gösterdiğini ortaya koymuştur. Deney grubunda, frontal ve merkezi delta, teta ve SMR genliklerinde olumlu değişiklikler kaydedilmiştir. Bulgular, NGB'nin opioid bağımlılığı tedavisinde etkili bir terapötik yöntem olabileceğini göstermektedir (Arani vd., 2010).

Dalkner vd., alkol kullanım bozukluğu olan bireylerde alfa/teta nörogeribildirim eğitiminin kişilik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırmaya 25 erkek katılmış, katılımcılar rastgele olarak NGB alan deney grubu (n = 13) ve standart tedavi gören kontrol grubu (n = 12) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Deney grubu, 6 hafta boyunca haftada iki kez toplam 12 seans NGB almıştır. NGB protokolü, EEG alfa (8-12 Hz) ve teta (4-7 Hz) bantlarını iyileştirmeyi hedeflemiştir. Sonuçlar, deney grubunda Kaçınan Kişilik Vurgulaması gibi stresle ilişkili kişilik özelliklerinde anlamlı azalmalar olduğunu göstermiştir. Çalışma, 12 seanslık NGB eğitiminin alkol kullanım bozukluğu olan bireylerde stres ve kaçınma eğilimlerini azaltmada etkili bir yöntem olabileceğini ortaya koymaktadır (Dalkner vd., 2017).

Vukadinovic vd., nörogeribildirim eğitiminin alkol bağımlılığı olan hastalarda bağımlılıkla ilişkili beyin bölgelerindeki dinlenme durumu fMRI aktivitesini etkileyip etkilemediğini incelemiştir. Araştırmaya katılan 52 hasta randomize edilerek aktif ve sahte gruplara ayrılmıştır. Aktif grup, üç seans nörogeribildirim eğitimi almıştır. Dinlenme durumu verilerinin analizi, ventral dikkat ağı dahil olmak üzere analiz edilen üç ağda aktive olmuş voksellerde küresel bir azalma göstermiştir. Özellikle, ventral dikkat ağındaki aktivitedeki azalma, deneklerin dış uyaranlardan daha bağımsız hale geldiğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, nörogeribildirim eğitiminin alkol bağımlılığı tedavisinde etkili bir yöntem olabileceğini ve dinlenme durumu fMRI verilerinin, bağımlılık ve duygusal süreçlerin değerlendirilmesinde potansiyel biyobelirteçler olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır (Sanader Vukadinovic vd., 2024).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Bağımlılıkla mücadelede NGB, beyin aktivitesini hedef alarak tedaviye yeni bir yaklaşım sunmaktadır. NGB'nin bağımlılıkla mücadeledeki etkinliği, hem nörobiyolojik temellere dayanması hem de bireylerin aktif katılımını sağlaması açısından umut vericidir. Çalışmalar arasında ortak bulgular, nörogeribildirim farklı bağımlılık türlerinde beyin aktivitesini düzenleyerek klinik iyileşmeler sağladığını göstermektedir. Kokain, alkol ve metamfetamin bağımlılığı gibi farklı madde türlerinde NGB'nin depresyon, kaygı ve dürtüsellik gibi semptomları iyileştirdiği, ayrıca bağımlılık şiddetini azalttığı tespit edilmiştir. NGB'nin kişiselleştirilmiş protokollerle uygulanmasının etkilerini artırabileceği ve bağımlılık tedavisinde yaygın bir yöntem olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir.

11. Antisosyal Kişilik ve Kriminal Suçlarda Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Suçlular için geliştirilecek etkili tedavi yöntemleri, hem suç tekrarı riskini azaltmada hem de toplumsal güvenliğin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kriminal bireylerde görülen psikiyatrik bozukluklarla ilişkili anormal elektroensefalograf frekanslarına dair bulgular her geçen gün artmaktadır. Buna rağmen, nörogeribildirim gibi tedavi yaklaşımlarının adli psikiyatrideki kullanımı oldukça sınırlıdır.

Suçlu bireylerin, birden fazla psikiyatrik bozukluğa sahip olmaları, uzun süreli tedavilere uyum sağlamakta yaşadıkları güçlükler ve psikiyatrik dekompanseasyona karşı yüksek duyarlılıkları, bu alanda etkili tedavi protokollerinin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır (Gkotsi & Gasser, 2016). Bu nedenle, nörogeribildirim suçlu popülasyonunda başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için, eğitim protokollerine, seans sürelerine ve beklenen semptom azalmasına yönelik daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde, antisosyal kişilik bozukluğu ve kriminal davranışlarda nörogeribildirim klinik uygulamaları ve bu alanda elde edilen bulgular detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular

Genç suçluların EEG bulgularını inceleyen bir çalışmada, görev odaklı analog/qEEG tabanlı nörogeribildirim eğitiminin etkinliği değerlendirilmiştir. Beş katılımcının dikkat düzeyleri, tedavi öncesi ve sonrası yapılan dikkat testleri ve analog/qEEG değerlendirmeleriyle ölçülmüştür. Uygulanan tedavi 20 veya 40 seanslık bir süreçten oluşmuş ve sonuçlar, analog/qEEG grubunda dikkat performansında anlamlı iyileşmeler, qEEG grubunda ise davranışsal gelişmeler sağlandığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, nöroterapi'nin bilişsel

performansı artırma ve suç tekrarını önleme konusunda umut vadeden bir yöntem olabileceğini göstermektedir (Smith & Sams, 2006).

Gerçek zamanlı fMRI nörogeribildirim, suçlu psikopatların sol ön insula'daki beyin aktivitelerini düzenleyip düzenleyemeyeceklerini değerlendirmek için bir pilot çalışmada incelenmiştir. Dört katılımcının dahil edildiği çalışmada, yalnızca bir katılımcı BOLD sinyalini başarılı bir şekilde artırmayı öğrenmiştir. Daha yüksek Psikopatik kontrol listesi-revize puanlarına sahip bireylerin, BOLD sinyalini düzenleme yeteneklerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tek başarılı katılımcıda, sol ön insulayı düzenlemenin duygusal ağdaki işlevsel bağlantıların yoğunluğunu ve yönünü artırdığı gösterilmiştir. Çalışma, psikopat bireylere beyin aktivitelerini kontrol etmeyi öğretmek için nörogeribildirim potansiyelini göstermektedir, ancak bu bulguların daha fazla çalışma ile desteklenmesi gerekmektedir (Sitaram vd., 2014).

Adli psikiyatri hastaları üzerinde yapılan bir başka vaka çalışmasında, DSM-IV-TR tanı kriterlerine uygun dört hasta, sahte kontrollü bir nörogeribildirim programına katılmıştır. Öz bildirimle değerlendirilen dürtüsellik ve istek düzeyleri, bireyler arasında farklılık göstermiştir. Bir hasta önemli davranışsal iyileşmeler göstermiş olsa da, bu iyileşmeler doğrudan nörogeribildirim tedavisine atfedilememiştir. Bulgular, bireyler arası farklılıkların nörogeribildirim etkinliği üzerindeki etkisini ortaya koymakta ve bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamaktadır (Fielenbach vd., 2019).

Uzun süreli yoksunluk yaşayan kokain ve eroin bağımlılarında nörogeribildirim uygulamasının dürtüsellik, anksiyete ve depresyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tek kör, sahte kontrollü bir protokol kapsamında yürütülen çalışmada, 20 katılımcıya 40 seanslık NGB eğitimi uygulanmış ve sağ-sol prefrontal bölgelerdeki inhibitör eksikliklerin giderilmesi hedeflenmiştir. Klinik iyileşmeler Hamilton depresyon derecelendirme ölçeği ve durum özellik kaygı envanteri ile, dürtüsellik ise Barratt dürtüsellik ölçeği ve sürekli performans testi ile ölçülmüştür. Sonuçlar, nörogeribildirim uygulanan grupta anksiyete, depresyon ve dürtüsellik düzeylerinde anlamlı iyileşmeler olduğunu göstermiştir. Bulgular, NGB'nin klinik semptomların iyileştirilmesinde plasebodan daha etkili bir yöntem olabileceğini işaret etmektedir (Corominas-Roso vd., 2020).

Nöromeditasyonun adli ayakta tedavi hastalarındaki etkilerini değerlendiren bir başka çalışmada, dürtü kontrol sorunları olan sekiz hasta EEG nörogeribildirimi ile desteklenen dört haftalık bir eğitim programına katılmıştır. Terapist rehberliğinde yürütülen bu eğitim, genel olarak faydalı bulunmuş ancak daha uzun ve sık seanslara ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Çalışma, nöromeditasyonun mevcut tedavilere tamamlayıcı bir yöntem olarak uygulanabilirliğini ortaya koymuş ve bu alanda daha geniş örneklem gruplarıyla yapılacak araştırmalar için bir temel oluşturmuştur (van der Schoot vd., 2024).

Antisosyal kişilik bozukluğu olan bireylerde kantitatif EEG rehberliğindeki nörogeribildirim tedavisinin etkilerini inceleyen bir çalışmada, 13 katılımcıdan 12'si 80-120 seanslık nörogeribildirim programı sonrasında qEEG analizleri, MMPI, TOVA ve SA-45 anketlerine göre anlamlı iyileşmeler göstermiştir. Tedavi süresince başka bir terapi modeli uygulanmamış ve elde edilen sonuçlar aile görüşmeleriyle desteklenmiştir. Ancak, bir katılımcıda 38 seanslık LORETA nörogeribildirim sonuç vermemiştir. Bu çalışma, NGB tedavisinin antisosyal kişilik bozukluğu tedavisinde etkili olabileceğini öne sürmekte, ancak bulguların daha fazla kontrollü çalışmayla desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Surmeli & Ertem, 2009).

fMRI tabanlı nörogeribildirim ile borderline kişilik bozukluğu (Borderline Personality Disorder - BPD) hastalarında amigdala aktivitesinin düzenlenmesi incelenmiştir. Dört NGB seansı boyunca, hastalara olumsuz resimler izlerken sağ amigdala aktivitesini aşağı düzenleme talimatı verilmiş ve termometre ekranı aracılığıyla geri bildirim sağlanmıştır. Her seans, dinlenme durumu taraması ve nörogeribildirim olmadan yapılan bir transfer çalışması ile tamamlanmıştır. Sonuçlar, BPD hastalarının sağ amigdala aktivitesini düzenleyebildiğini, ancak bu yetenekte zamanla bir artış gözlenmediğini ortaya koymuştur. Görev sırasında amigdala-ventromedial prefrontal korteks bağlantısında artış görülürken, dinlenme durumunda amigdala-lateral prefrontal korteks bağlantısında değişiklikler kaydedilmiştir. Ayrışma ve 'duygusal farkındalık' eksikliği puanlarında azalma da saptanmıştır. Bulgular, amigdala NGB'nin beyin bağlantılarını ve duygu düzenlemesini iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, bu etkinin doğrulanması için randomize kontrollü çalışmalar gerekmektedir (Paret vd., 2016).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Bu bölümde ele alınan çalışmalar, nörogeribildirim suçlu popülasyonu ve kişilik bozukluğu gibi karmaşık psikiyatrik durumlar için umut vadeden bir tedavi yöntemi olabileceğini göstermektedir. EEG ve fMRI tabanlı yöntemler, bireylerin beyin aktivitelerini düzenleme becerilerini geliştirme, bilişsel performanslarını artırma ve duygusal farkındalıklarını güçlendirme potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, bireyler arası farklılıklar ve bu yaklaşımların sınırları, daha kapsamlı ve detaylı araştırmalara duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

İleride, daha büyük ve çeşitli örneklem gruplarıyla gerçekleştirilecek kontrollü çalışmalar, nörogeribildirim protokollerinin etkinliğini ve pratikteki uygulanabilirliğini değerlendirmek açısından hayati bir öneme sahip olacaktır. Multidisipliner yaklaşımlar, tedavinin kişiselleştirilmesine ve klinik etkinliğinin artırılmasına yönelik önemli adımlar atılmasını sağlayabilir. Bu

gelişmeler, nörogeribildirim adli psikiyatri ve diğer alanlarda yenilikçi bir tedavi yöntemi olarak daha geniş bir kabul görmesine katkıda bulunabilir.

12. Performans Geliştirmede Nörogeribildirim: Klinik Uygulamalar ve Bulgular

Nörogeribildirim, bireylerin hem bilişsel hem de fiziksel performanslarını optimize etmelerine olanak tanıyan yenilikçi bir yöntemdir. Beyin dalgalarının gerçek zamanlı geri bildirim ile belirli nöral aktivite desenlerini düzenleme imkanı sunan bu teknoloji, son yıllarda hem bilimsel araştırmaların hem de uygulamalı alanların odağında yer almaktadır. Eğitim, spor, sanat ve sağlık gibi çok çeşitli alanlarda kullanılan nörogeribildirim, hem bireysel gelişimi destekleyen bir araç hem de performans artırıcı bir müdahale yöntemi olarak kabul görmektedir. Bu bölümde, nörogeribildirim sanat, spor ve bilişsel gelişim gibi çeşitli alanlarda bireylerin performansını ve potansiyelini nasıl artırdığını ortaya koyan dikkat çekici çalışmalara odaklanılmaktadır.

Öne Çıkan Çalışmalar ve Bulgular

Örtük infra-düşük frekanslı nörogeribildirim beyin bağlantıları üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışmada, sağlıklı 52 gönüllü rastgele gerçek veya sahte nörogeribildirim seanslarına atanmış ve seans öncesi ile sonrası fMRI taramalarına tabi tutulmuştur. Analizler sonucunda, NGB sürecinin lateral oksipital korteks, dorsolateral prefrontal korteks, orbitofrontal korteks ve striatum bölgelerini içeren bir beyin devresiyle ilişkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca, belirginlik, dil ve görsel ağlar arasında artan bağlantılar gözlenmiş, bu durum duyuşal işlemede bütünleşmenin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır. Çalışma, tek bir seansın bile içsel beyin bağlantısında anlamlı değişiklikler yaratabileceğini ortaya koymuştur (Dobrushina vd., 2020).

Sağlıklı bireylerde alfa tabanlı NGB eğitiminin farkındalık ve bilişsel işlevler üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışmada, 50 katılımcı iki gruba ayrılmıştır: altı seanslık NGB eğitimi alan grup ve bekleme listesi kontrol grubu. Eğitim, üst alfa gücünün artırılmasına odaklanmıştır. Katılımcılara ön ve son testlerde farkındalık ve bilişsel performans ölçümleri uygulanmıştır. Sonuçlar, NGB grubunda alfa gücünde anlamlı bir artış, farkındalık seviyelerinde iyileşmeler ve bilişsel performansta bir gelişim eğilimi göstermiştir. Ayrıca, alfa gücünün bilişsel işleyiş üzerindeki etkisi aracılık yoluyla doğrulanmış, ancak farkındalık için böyle bir etki bulunamamıştır. Çalışma, NGB'nin sağlıklı bireylerde farkındalık kapasitesini artırmada etkili bir yöntem olabileceğini ortaya koymaktadır (Navarro Gil vd., 2018).

Sağlıklı bireylerde müzik uyaranları kullanılarak alfa nörogeribildirim eğitiminin uzun vadeli etkilerini inceleyen bir çalışmada, 40 katılımcı NGB ve kontrol gruplarına ayrılmıştır. NGB grubunda, eğitim sonrası kontrol

grubunda gözlemlenmeyen alfa ritminde anlamlı bir artış tespit edilmiştir. Eğitim sırasında alfa ritmindeki iyileşmeler, seansın başlangıcında daha belirgin olmuş, seans sonunda ise azalmıştır. Stroop testi, mini mental durum sınavı ve algılanan stres ölçeği gibi ölçütlerde anlamlı bir değişiklik gözlenmemesine rağmen, kısa ve sık seanslarla yapılan eğitimin daha uzun ve sürekli seanslardan daha etkili olabileceği bulunmuştur. Bu bulgular, NGB'nin sağlıklı bireylerde nörofizyolojik iyileşme sağlama potansiyelini ve eğitim protokolünün önemini vurgulamaktadır (Nawaz vd., 2022).

Nörogeribildirim teknikleri, bilişsel performansı iyileştirmede etkili olsa da, bazı bireylerin bu yöntemle beyin aktivitelerini kontrol etmeyi öğrenemediği görülmüştür. Zaman ve maliyet açısından verimli uygulamalar geliştirmek amacıyla gerçekleştirilen bir araştırmada, 10 seans boyunca 7 sağlıklı katılımcının düşük beta bandı (β L) aktivitesini artırma başarısını etkileyen faktörler incelenmiştir. İlk seanstaki EEG sinyallerinin farklı frekans bantları ve IQ test puanları, başarıyı öngörmeye etkili değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Analizler, ilk seanstaki düşük beta gücünün, son seanstaki performans üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir ($R^2 = \%73,9$). Radyal Bazlı Fonksiyon (RBF) ağı ile geliştirilen tahmin sistemi, bireylerin eğitim süreçlerini optimize etme potansiyeline sahip olup, nörogeribildirim uygulamalarında zaman ve maliyet tasarrufu sağlayabileceği öne sürülmüştür. Bu yaklaşım, nörogeribildirim eğitimlerinin daha verimli ve yaygın hale getirilmesine katkı sunmaktadır (Sho'ouri, 2021).

Sanatsal Performansta Nörogeribildirim

Biyogeribildirim destekli elektrokortikal aktivite modülasyonunun performans üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışmada, konservatuvar öğrencilerinin stresli koşullarda müzik performansındaki gelişmeleri değerlendirilmiştir. Alfa/teta nörogeribildirim eğitiminin kullanıldığı bu çalışmada, dikkat ve gevşeme protokolleri uygulanan öğrencilerde müzik performansının uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelerde belirgin şekilde iyileştiği saptanmıştır. Özellikle, teta (5-8 Hz) bandının alfa (8-11 Hz) bandı genliklerine göre yükseltilmesini öğrenmenin performans artışı ile güçlü bir ilişki gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, bu eğitimin, Alexander tekniği gibi alternatif müdahalelerle karşılaştırıldığında anlamlı derecede üstün bir performans iyileşmesi sağladığı vurgulanmıştır. Bulgular, nörogeribildirim stres yönetimi, sanatsal yaratıcılık ve performans geliştirmede etkili bir araç olduğunu göstermektedir (Egner & Gruzelier, 2003).

Dans alanına uyarlanan benzer bir araştırmada ise alfa-teta nörogeribildirim ve kalp atış hızı değişkenliği biyogeribildirimi karşılaştırılmıştır. Araştırmaya katılan 24 balo salonu ve Latin dansçısı arasında, biyogeribildirim uygulamaları sonucunda performansta anlamlı iyileşmeler gözlenmiş, ancak kontrol grubunda böyle bir etki bulunmamıştır. Bununla birlikte, iki yöntem arasında performansa sağladıkları katkılar

açısından farklılıklar tespit edilmiş ve bulguların daha geniş örneklem gruplarında tekrarlanması önerilmiştir (Raymond vd., 2005).

EEG tabanlı nörogeribildirim, teta ile alfa dalgalarının oranını artırmaya odaklanan bir protokol aracılığıyla müzik ve dans performansında mesleki gelişim sağlamıştır. Başlangıçta hipnagogik bir durum oluşturmayı hedefleyen bu yaklaşım, psikolojik bütünleşme ve gelişmiş bilişsel-duygusal süreçlerle sonuçlanmıştır. Çalışma yalnızca sanatsal performansla sınırlı kalmayarak alkolizm, depresyon, anksiyete ve TSSB tedavisinde de faydalı bulunmuştur. Teta ve alfa dalgalarının çalışma belleği, öğrenme, meditasyon ve dikkat gibi süreçlerdeki rolü, bu eğitimin optimal performans ve psikoterapideki bütünleştirici etkilerini desteklemektedir. Bulgular, NGB'nin yaratıcı süreçleri ve teknik becerileri geliştirme açısından etkili bir araç olduğunu göstermektedir (J. Gruzelier, 2009).

Aktörlerin sahne performanslarını geliştirmek için yapılan başka bir çalışmada, nörogeribildirim müzisyenler ve dansçılar üzerinde elde edilen bulgularla uyumlu şekilde etkili olduğu bulunmuştur. Duyusal-motor ritim eğitimi alan aktörlerde, özellikle yaratıcılık ve performansın “akış” deneyiminde iyileşme görülmüştür. Teta ritminin alfa ritmine göre eğitildiği yavaş dalga protokolü, müzikalite, yaratıcılık ve iletişim gibi performans unsurlarında tutarlı faydalar sağlamıştır. Ayrıca, acemi performansçılarda dikkat, hafıza ve psikomotor becerilerin geliştirilmesinde de etkili olduğu gözlemlenmiştir. Rekabetçi dansçılarda yapılan karşılaştırmalar, nörogeribildirim hem profesyonel hem de amatör sanatçılar için güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. Bulgular, sanatsal süreçlerin ve performansın geliştirilmesinde nörogeribildirim potansiyelini vurgulamaktadır (J. H. Gruzelier, 2018).

Spor Performansında Nörogeribildirim

Nörogeribildirim spor psikolojisindeki etkilerini inceleyen bir çalışmada, üniversite düzeyindeki okçuluk sporcularına SMR eğitimi uygulanmıştır. Dört hafta süren müdahale kapsamında, 12 seanslık nörogeribildirim eğitiminin yarışma öncesi ve sonrası haz, uyarılma düzeyleri, hassasiyet ve performans üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Deney grubunda, SMR/teta oranında ve yarışma sırasında EEG bileşenlerinde istatistiksel olarak anlamlı değişiklikler gözlemlenirken ($p < 0.05$), kontrol grubunda bu tür bir değişiklik tespit edilmemiştir. Bulgular, NGB'nin psikolojik durumları ve elektroensefalografik ölçümleri düzenleyerek okçuluk performansını artırdığını ve doğru atışları teşvik ettiğini ortaya koymaktadır. Çalışma, nörogeribildirim sporcuların hem fiziksel hem de psikolojik süreçlerini optimize etmede etkili bir yöntem olduğunu vurgulamaktadır (Paul vd., 2022).

Golf performansını geliştirmek için nörogeribildirim kullanan bir çalışmada, katılımcılara kişiselleştirilmiş olay kilitli EEG profilleri temelinde

eğitim verilmiştir. Eğitimde, optimal prefrontal beyin durumlarını tanımlayan frekans bantları ve genliklere göre geri bildirim sağlanmıştır. ABAB tasarımında gerçekleştirilen dört serilik eğitim sırasında, geri bildirim verilen serilerde başarılı vuruş yüzdesi önemli ölçüde artmıştır. Katılımcıların ortalama performansı %25 oranında iyileşmiştir. Bulgular, optimal zihinsel durumların kişiselleştirilebileceğini ve bağlamsal koşullandırmanın öğrenme hızını artırmada etkili olduğunu göstermiştir. Çalışma, NGB'nin golf gibi yüksek odaklanma gerektiren spor dallarında performans iyileştirmek için güçlü bir araç olduğunu ve klinik uygulamalara yönelik yeni perspektifler sunduğunu ortaya koymaktadır (Arns vd., 2008).

Sensörimotor ritim nörogeribildirim eğitiminin golf performansı üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışmada, profesyonel düzeye geçiş aşamasındaki 16 golf rastgele SMR ve kontrol gruplarına atanmıştır. Katılımcılardan, müdahale öncesi ve sonrası EEG kaydedilirken golf vuruşu yapmaları istenmiştir. Sonuçlar, SMR grubundaki katılımcıların vuruş performansında anlamlı bir iyileşme gösterdiğini ve kontrol grubuna kıyasla daha yüksek SMR gücüne ulaştığını ortaya koymuştur. SMR'nin artırılmasının, üstün vuruş performansına yol açan gelişmiş dikkat işleme ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bulgular, SMR nörogeribildirim eğitiminin eylem hazırlığını optimize ederek golf performansını geliştirmek için etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir (Cheng vd., 2015).

EEG tabanlı nörogeribildirim sporcular üzerindeki etkilerini değerlendiren başka bir çalışmada, yarı profesyonel atletlerin katıldığı eğitim programının fizyolojik ve davranışsal ölçütler üzerindeki sonuçları incelenmiştir. Program, duysal-motor ritim ve beta1 (13-20 Hz) genliklerinin artırılması, teta (4-7,5 Hz) ve beta2 (20-30 Hz) genliklerinin ise azaltılması üzerine tasarlanmıştır. Her atletik antrenman sonrası uygulanan işitsel-görsel gevşeme uyarımını da içeren bu yaklaşım, alfa ve beta1 bant gücünde artış sağlamıştır. Eğitimi grupdaki katılımcılar, görsel dikkat testlerinde reaksiyon sürelerini önemli ölçüde iyileştirirken, kontrol grubuna kıyasla iş doğruluğu ve hız gibi performans ölçütlerinde üstünlük göstermiştir. Bulgular, NGB'nin sporcuların fizyolojik ve davranışsal performansını optimize etmek için etkili bir araç olduğunu ve spor eğitiminde bütünsel bir yaklaşımı desteklediğini ortaya koymaktadır (Mikicin vd., 2015).

Nörogeribildirim eğitiminin dart sporundaki etkilerini inceleyen bir çalışmada, motor performans ve bilinçli motor işleme üzerindeki değişimler değerlendirilmiştir. Araştırmaya katılan 20 yetenekli dart oyuncusu, ön test, nörogeribildirim eğitimi, son test, baskı altında test ve ikinci son test aşamalarından geçmiştir. Eğitim, F4 bölgesindeki alfa frekans bandında (8-12 Hz) düzenlemeye odaklanmıştır. Sonuçlar, nörogeribildirim alan grupta bilinçli motor işlemeyi azaltarak motor performansını artırdığını ve baskı altında performansın sürdürüldüğünü göstermiştir. Kontrol grubunda ise bu etkiler gözlemlenmemiştir. Bulgular, NGB eğitiminin spor performansını

iyileştirdiğini ve sporculara otomatiklik hissi kazandırdığını ortaya koymaktadır (Norouzi vd., 2018).

Atış performansını artırmaya yönelik nörogeribildirim eğitiminin (SP-NGB) fizyolojik etkilerini araştıran bir çalışmada, 45 sağlıklı katılımcı rastgele üç gruba ayrılmıştır: duyuşal-motor ritime, alfa ritmine (Alfa) dayalı nörogeribildirim grupları ve kontrol grubu. Üç haftalık, altı seanslık eğitim sonunda SMR grubunda atış performansında önemli bir iyileşme gözlenirken, Alfa grubunda performans azalmış, kontrol grubunda ise değişiklik görülmemiştir. Ayrıca, nörogeribildirim gruplarında dinlenme EEG güç özelliklerinde anlamlı değişiklikler tespit edilmiştir. Eğitim sürecinde, SMR grubundaki katılımcıların eğitim zorluğunun Alfa grubuna göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Her iki nörogeribildirim grubunda da geri bildirim özelliklerinin iyileştiği ve zihin stratejileri aracılığıyla düzenleme sağlandığı görülmüştür. Bulgular, SP-NGB'nin beyin düzenlemesinde etkili olduğunu ve nöroplastisiteyi destekleyerek performansı artırma potansiyeline sahip bir yöntem sunduğunu göstermektedir (Gong vd., 2020).

Genel Değerlendirme ve Gelecekteki Perspektifler

Bu bölümde ele alınan çalışmalar, nörogeribildirim sanatsal ve spor performansını iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu güçlü bir şekilde desteklemektedir. Hem fizyolojik hem de davranışsal ölçütlerde gözlemlenen olumlu etkiler, yöntemin çok yönlülüğünü ve uygulanabilirliğini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, mevcut araştırmaların bazı metodolojik sınırlamaları bulunmaktadır. Örneğin, birçok çalışmanın sınırlı örneklem gruplarına dayanması ve uzun vadeli etkilerin yeterince incelenmemesi, yöntemin etkinliğini daha geniş kapsamda değerlendirmek için fırsatlar sunmaktadır. Gelecekte, daha büyük örneklem grupları ve uzun süreli izleme çalışmalarının yapılması, yöntemin etkinliğini daha kapsamlı bir şekilde doğrulayabilir. NGB teknolojisi, hem beyin aktivitelerini optimize etmede hem de bireylerin performanslarını artırmada güçlü bir araçtır. Teknolojik gelişmeler ve daha fazla araştırma ile bu alandaki potansiyelinin daha da genişlemesi beklenmektedir.

Sonuç

Nörogeribildirim, son yıllarda teknolojidaki ilerlemelerle birlikte sağlık, eğitim ve kişisel gelişim alanlarında önemli bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Özellikle dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu, majör depresif bozukluk ve yaşlı bireylerde bilişsel rehabilitasyon gibi klinik uygulamalarda etkili sonuçlar sağladığı görülmüştür. Elektroensefalografi teknolojisindeki gelişmeler, bireylerin beyin aktivitelerini daha hızlı ve doğru bir şekilde analiz etmeyi mümkün kılmış, böylece nörogeribildirim protokollerinin etkinliği artmıştır. Taşınabilir EEG cihazlarının yaygınlaşması

ve kullanıcı dostu mobil uygulamaların geliştirilmesi, nörogeribildirim günlük yaşama entegrasyonunu kolaylaştırmıştır. Bu gelişmeler sayesinde bireyler, nörogeribildirim yöntemlerini ev ortamında, kendi başlarına uygulayabilmekte ve bu yöntem klinik ortamların ötesine geçerek geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmektedir.

Yapay Zeka (YZ) destekli algoritmaların bu alana entegre edilmesi, nörogeribildirim protokollerinin kişiselleştirilmesine olanak tanımıştır. YZ tabanlı analizler, bireylerin beyin dalgalarını detaylı bir şekilde değerlendirerek en etkili geri bildirim mekanizmalarının tasarlanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, sanal gerçeklik teknolojisiyle birleştirilen nörogeribildirim uygulamaları, kullanıcı deneyimini daha sürükleyici ve etkili hale getirmektedir. Bu teknolojik entegrasyonlar, nörogeribildirim gelecekteki potansiyelini artıracak önemli yeniliklerdir.

Bununla birlikte, mevcut literatür, nörogeribildirim umut vadeden bir yöntem olduğunu ortaya koyarken bazı sınırlamalara da işaret etmektedir. Daha geniş örneklem gruplarını kapsayan, uzun vadeli etkileri değerlendiren ve farklı protokollerin etkinliğini karşılaştıran randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle bireyselleştirilmiş nörogeribildirim protokollerinin geliştirilmesi, bu yöntemin klinik ve kişisel kullanımda daha yüksek etkinlik sağlamasına katkıda bulunabilir.

Multidisipliner yaklaşımlar ise nörogeribildirim çalışmalarını daha kapsamlı bir çerçevede ele alma fırsatı sunmaktadır. Nöroloji, psikoloji, mühendislik ve yapay zeka gibi farklı disiplinlerin iş birliği, bu alandaki bilgi birikimini derinleştirirken yeni uygulama olanaklarını da artıracaktır.

Gelecekte nörogeribildirim eğitim, sağlık ve eğlence gibi alanlarda daha yaygın bir şekilde kullanılması beklenmektedir. Örneğin, dikkat ve öğrenme becerilerini geliştiren eğitim uygulamaları ya da stres yönetimini destekleyen taşınabilir sağlık cihazları, bu teknolojinin farklı alanlardaki uygulanabilirliğini göstermektedir. Sanal gerçeklik ve mobil teknolojilerin entegrasyonu, nörogeribildirim uygulamalarının erişilebilirliğini artıracak ve kullanıcı deneyimini iyileştirecektir.

Sonuç olarak, nörogeribildirim, bireylerin beyin aktivitelerini bilinçli bir şekilde düzenlemelerine olanak tanıyan güçlü bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir. Güncel çalışmalar ve teknolojik ilerlemeler, bu yöntemin etkinliğini artırarak daha geniş bir uygulama alanı sunmaktadır. İlerleyen dönemde gerçekleştirilecek araştırmalar, nörogeribildirim bireysel ve toplumsal düzeyde daha büyük faydalar sağlamasını mümkün kılacaktır. Bu çalışmalar, bilimsel bulgular ve teknolojik yeniliklerle desteklenerek nörogeribildirim daha erişilebilir, etkili ve kapsamlı bir yöntem haline gelmesine katkıda bulunacaktır.

Referanslar

- Abolghasemkhah-Salmasi, D., Fallahi, A., Hoseini-Tabatabaei, N., Hashemi-Fesharaki, S.-S., Rostami, R., & Nazem-Zadeh, M.-R. (2023). Assessing the Effectiveness of Neurofeedback for Drug-Resistant Focal Epilepsy: A Preliminary MRI Study (SSRN Scholarly Paper 4648960). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4648960>
- Ahmad, A. C., Teoh, E. H., & Omar, S. (2024). Effectiveness of Neurofeedback Training on Behavior and Attention Level of Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (Adhd): A Case Study. *Journal of Social Sciences and Business*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12543178>
- Aksoy, G., Cattan, G., Chakraborty, S., & Karabatak, M. (2024). Quantum Machine-Based Decision Support System for the Detection of Schizophrenia from EEG Records. *Journal of Medical Systems*, 48(1), 29. <https://doi.org/10.1007/s10916-024-02048-0>
- Al-Taleb, M. K. H., Purcell, M., Fraser, M., Petric-Gray, N., & Vuckovic, A. (2019). Home used, patient self-managed, brain-computer interface for the management of central neuropathic pain post spinal cord injury: Usability study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16(1), 128. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0588-7>
- Antle, A. N., McLaren, E.-S., Fiedler, H., & Johnson, N. (2019). Evaluating the Impact of a Mobile Neurofeedback App for Young Children at School and Home. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-13. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300266>
- Arani, F. D., Rostami, R., & Nostratabadi, M. (2010). Effectiveness of Neurofeedback Training as a Treatment for Opioid-Dependent Patients. *Clinical EEG and Neuroscience*, 41(3), 170-177. <https://doi.org/10.1177/155005941004100313>
- Arns, M., Kleinnijenhuis, M., Fallahpour, K., & Breteler, R. (2008). Golf Performance Enhancement and Real-Life Neurofeedback Training Using Personalized Event-Locked EEG Profiles. *Journal of Neurotherapy*, 11(4), 11-18. <https://doi.org/10.1080/10874200802149656>
- Arpaia, P., Coyle, D., D'Errico, G., De Benedetto, E., De Paolis, L. T., du Bois, N., Grassini, S., Mastrati, G., Moccaldi, N., & Vallefucio, E. (2022). Virtual Reality Enhances EEG-Based Neurofeedback for Emotional Self-regulation. *İçinde L. T. De Paolis, P. Arpaia, & M. Sacco (Ed.), Extended Reality (ss. 420-431)*. Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15553-6_29
- Azadi, P. (2016). Neurofeedback training for symptom reduction in children with dyslexia: Multiple case study [Master thesis, NTNU]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2427144>
- Behboodi, A., Lee, W. A., Hinchberger, V. S., & Damiano, D. L. (2022). Determining optimal mobile neurofeedback methods for motor neurorehabilitation in children and adults with non-progressive neurological disorders: A scoping review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19(1), 104. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01081-9>
- Blaskovits, F., Tyerman, J., & Luctkar-Flude, M. (2017). Effectiveness of neurofeedback therapy for anxiety and stress in adults living with a chronic

- illness: A systematic review protocol. *JBISIRIR-2016-003118*. <https://doi.org/10.11124/JBISIRIR-2016-003118>
- Breteler, M. H. M., Arns, M., Peters, S., Giepman, I., & Verhoeven, L. (2010). Improvements in Spelling after QEEG-based Neurofeedback in Dyslexia: A Randomized Controlled Treatment Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(1), 5-11. <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9105-2>
- Budzynski, T. H., Budzynski, H. K., Evans, J. R., & Abarbanel, A. (2009). *Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback: Advanced Theory and Applications*. Academic Press.
- C Frey, L. (2015). LORETA Z-score Neurofeedback in Patients with Medically Refractory Epilepsy. *Journal of Neurology and Neurobiology*, 1(1). <https://doi.org/10.16966/2379-7150.102>
- Cannon, R., Lubar, J., Sokhadze, E., & Baldwin, D. (2008). LORETA Neurofeedback for Addiction and the Possible Neurophysiology of Psychological Processes Influenced: A Case Study and Region of Interest Analysis of LORETA Neurofeedback in Right Anterior Cingulate Cortex. *Journal of Neurotherapy*, 12(4), 227-241. <https://doi.org/10.1080/10874200802501948>
- Canterberry, M., Hanlon, C. A., Hartwell, K. J., Li, X., Owens, M., LeMatty, T., Prisciandaro, J. J., Borckardt, J., Saladin, M. E., Brady, K. T., & George, M. S. (2013). Sustained Reduction of Nicotine Craving With Real-Time Neurofeedback: Exploring the Role of Severity of Dependence. *Nicotine & Tobacco Research*, 15(12), 2120-2124. <https://doi.org/10.1093/ntr/ntt122>
- Chegini, R., Peymani, J., Taghiloo, S., & Hassani-Abharian, P. (2022). Comparison of the impact of cognitive rehabilitation and neurofeedback on attention, working memory, processing speed, and anxiety in dyslexia: Cognitive rehabilitation versus neurofeedback. *Chronic Diseases Journal*, 179-188. <https://doi.org/10.22122/cdj.v10i4.641>
- Cheng, M.-Y., Huang, C.-J., Chang, Y.-K., Koester, D., Schack, T., & Hung, T.-M. (2015). Sensorimotor Rhythm Neurofeedback Enhances Golf Putting Performance. <https://doi.org/10.1123/jsep.2015-0166>
- Cheon, E.-J., Koo, B.-H., & Choi, J.-H. (2016). The Efficacy of Neurofeedback in Patients with Major Depressive Disorder: An Open Labeled Prospective Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 41(1), 103-110. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9315-8>
- Cho, B.-H., Kim, S., Shin, D. I., Lee, J. H., Min Lee, S., Young Kim, I., & Kim, S. I. (2004). Neurofeedback Training with Virtual Reality for Inattention and Impulsiveness. *CyberPsychology & Behavior*, 7(5), 519-526. <https://doi.org/10.1089/cpb.2004.7.519>
- Coben, R., & Padolsky, I. (2007). Assessment-Guided Neurofeedback for Autistic Spectrum Disorder. *Journal of Neurotherapy*, 11(1), 5-23. https://doi.org/10.1300/J184v11n01_02
- Congedo, M. F. (2003). *Tomographic neurofeedback: A new technique for the self-regulation of brain electrical activity [Ph.D.]*. <https://www.proquest.com/docview/305294947/abstract/ADADD3039C43470EPQ/1>
- Corominas-Roso, M., Ibern, I., Capdevila, M., Ramon, R., Roncero, C., & Ramos-Quiroga, J. A. (2020). Benefits of EEG-Neurofeedback on the Modulation of Impulsivity in a Sample of Cocaine and Heroin Long-Term Abstinent Inmates:

- A Pilot Study. *International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology*, 64(12), 1275-1298. <https://doi.org/10.1177/0306624X20904704>
- Corrado, S., Tosti, B., Mancone, S., Di Libero, T., Rodio, A., Andrade, A., & Diotaiuti, P. (2024). Improving Mental Skills in Precision Sports by Using Neurofeedback Training: A Narrative Review. *Sports*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/sports12030070>
- Cortoo, A., De Valck, E., Arns, M., Breteler, M. H. M., & Cluydts, R. (2010). An Exploratory Study on the Effects of Tele-neurofeedback and Tele-biofeedback on Objective and Subjective Sleep in Patients with Primary Insomnia. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(2), 125-134. <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9116-z>
- Crawford, C. S., & Gilbert, J. E. (2017). NeuroBlock: A block-based programming approach to neurofeedback application development. 2017 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC), 303-307. <https://doi.org/10.1109/VLHCC.2017.8103483>
- Dalkner, N., Unterrainer, H. F., Wood, G., Skliris, D., Holasek, S. J., Gruzelier, J. H., & Neuper, C. (2017). Short-term Beneficial Effects of 12 Sessions of Neurofeedback on Avoidant Personality Accentuation in the Treatment of Alcohol Use Disorder. *Frontiers in Psychology*, 8, 1688. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01688>
- Dewiputri, W. I., & Auer, T. (2013). Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) Neurofeedback: Implementations and Applications. *The Malaysian Journal of Medical Sciences : MJMS*, 20(5), 5-15.
- Dobrushina, O. R., Vlasova, R. M., Rumshiskaya, A. D., Litvinova, L. D., Merzhina, E. A., Sinitsyn, V. E., & Pechenkova, E. V. (2020). Modulation of Intrinsic Brain Connectivity by Implicit Electroencephalographic Neurofeedback. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00192>
- Doulatyari, N., Tajeri, B., Khajvand-Khoushli, A., & Akbari, H. (2024). Barkley behavioral therapy, Minuchin structural family therapy, and neurofeedback effect on children with attention-deficit/hyperactivity disorder: Therapy and attention-deficit/hyperactivity. *Chronic Diseases Journal*, 206-212. <https://doi.org/10.22122/cdj.v12i4.745>
- Edvardsson, A. (2024). Multimodal Infra-Slow Fluctuations neurofeedback training for people with sleep difficulties: Implications for working with athletes. 19th conference of the European Network of Young Specialists in Sport Psychology (ENYSSP), Tallin, Estonia, 23-25 May, 2024. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hh:diva-53881>
- Egner, T., & Gruzelier, J. H. (2003). Ecological validity of neurofeedback: Modulation of slow wave EEG enhances musical performance. *NeuroReport*, 14(9), 1221.
- Elbogen, E. B., Alsobrooks, A., Battles, S., Molloy, K., Dennis, P. A., Beckham, J. C., McLean, S. A., Keith, J. R., & Russoniello, C. (2021). Mobile Neurofeedback for Pain Management in Veterans with TBI and PTSD. *Pain Medicine*, 22(2), 329-337. <https://doi.org/10.1093/pm/pnz269>
- Eroğlu, G. (2020). Improving reading abilities in dyslexia with neurofeedback and multi-sensory learning [Thesis]. https://doi.org/10.1/10345752_Urfal%C4%B1oglu_Eroglu%2C_Gunet.pdf

- Eroğlu, G., Teber, S., Ertürk, K., Kırmızı, M., Ekici, B., Arman, F., Balcısoy, S., Özcan, Y. Z., & Çetin, M. (2022). A mobile app that uses neurofeedback and multi-sensory learning methods improves reading abilities in dyslexia: A pilot study. *Applied Neuropsychology: Child*, 11(3), 518-528. <https://doi.org/10.1080/21622965.2021.1908897>
- Escolano, C., Navarro-Gil, M., Garcia-Campayo, J., Congedo, M., De Ridder, D., & Mínguez, J. (2014). A controlled study on the cognitive effect of alpha neurofeedback training in patients with major depressive disorder. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00296>
- Fernández, B., Barros, J., Machado, E., Maldonado, E., Moreira, A. R., & Gomes, H. J. (2024). Neurofeedback treatment for Attention Deficit Hyperactivity Disorder in adults. *European Psychiatry*, 67(S1), S621-S621. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2024.1288>
- Fielenbach, S., Donkers, F. C. L., Spreen, M., Smit, A., & Bogaerts, S. (2019). Theta/SMR Neurofeedback Training Works Well for Some Forensic Psychiatric Patients, But Not for Others: A Sham-Controlled Clinical Case Series. *International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology*, 63(14), 2422-2439. <https://doi.org/10.1177/0306624X19849562>
- Friedrich, E. V. C., Sivanathan, A., Lim, T., Suttie, N., Louchart, S., Pillen, S., & Pineda, J. A. (2015). An Effective Neurofeedback Intervention to Improve Social Interactions in Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(12), 4084-4100. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2523-5>
- Ganesan, S., Misaki, M., Zalesky, A., & Tsuchiyagaito, A. (2024). Functional brain network dynamics of brooding in depression: Insights from real-time fMRI neurofeedback. *medRxiv*, 2024.05.05.24306889. <https://doi.org/10.1101/2024.05.05.24306889>
- Gevensleben, H., Albrecht, B., Lütcke, H., Auer, T., Dewiputri, W. I., Schweizer, R., Moll, G., Heinrich, H., & Rothenberger, A. (2014). Neurofeedback of slow cortical potentials: Neural mechanisms and feasibility of a placebo-controlled design in healthy adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 990. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00990>
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Vogel, C., Schlamp, D., Kratz, O., Studer, P., Rothenberger, A., Moll, G. H., & Heinrich, H. (2009). Is neurofeedback an efficacious treatment for ADHD? A randomised controlled clinical trial. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50(7), 780-789. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2008.02033.x>
- Gkotsi, G. M., & Gasser, J. (2016). Neuroscience in forensic psychiatry: From responsibility to dangerousness. Ethical and legal implications of using neuroscience for dangerousness assessments. *International Journal of Law and Psychiatry*, 46, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.ijlp.2016.02.030>
- Golub, M. D., Chase, S. M., Batista, A. P., & Yu, B. M. (2016). Brain-computer interfaces for dissecting cognitive processes underlying sensorimotor control. *Current Opinion in Neurobiology*, 37, 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2015.12.005>
- Gong, A., Nan, W., Yin, E., Jiang, C., & Fu, Y. (2020). Efficacy, Trainability, and Neuroplasticity of SMR vs. Alpha Rhythm Shooting Performance Neurofeedback Training. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00094>

- Gruzelier, J. (2009). A theory of alpha/theta neurofeedback, creative performance enhancement, long distance functional connectivity and psychological integration. *Cognitive Processing*, 10(1), 101-109. <https://doi.org/10.1007/s10339-008-0248-5>
- Gruzelier, J. H. (2018). Enhancing Creativity with Neurofeedback in the Performing Arts: Actors, Musicians, Dancers. İçinde S. Burgoyne (Ed.), *Creativity in Theatre: Theory and Action in Theatre/Drama Education* (ss. 223-245). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78928-6_14
- Hamilton, J. P., Glover, G. H., Bagarinao, E., Chang, C., Mackey, S., Sacchet, M. D., & Gotlib, I. H. (2016). Effects of salience-network-node neurofeedback training on affective biases in major depressive disorder. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 249, 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.pscychresns.2016.01.016>
- Hammer, B. U., Colbert, A. P., Brown, K. A., & Ilioi, E. C. (2011). Neurofeedback for Insomnia: A Pilot Study of Z-Score SMR and Individualized Protocols. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 36(4), 251-264. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9165-y>
- Hammond, C. (2007). *LENS: The Low Energy Neurofeedback System*. Psychology Press.
- Hammond, D. C. (2010). LENS Neurofeedback Treatment of Anger: Preliminary Reports. *Journal of Neurotherapy*, 14(2), 162-169. <https://doi.org/10.1080/10874201003767213>
- Hammond, D. C. (2011). What is Neurofeedback: An Update. *Journal of Neurotherapy*, 15(4), Article 4. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>
- Holmes, G. L., & Khazipov, R. (2007). Basic Neurophysiology and the Cortical Basis of EEG. İçinde A. S. Blum & S. B. Rutkove (Ed.), *The Clinical Neurophysiology Primer* (ss. 19-33). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-271-7_2
- Holtmann, M., Steiner, S., Hohmann, S., Poustka, L., Banaschewski, T., & Bölte, S. (2011). Neurofeedback in autism spectrum disorders. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53(11), 986-993. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04043.x>
- Horrell, T., El-Baz, A., Baruth, J., Tasman, A., Sokhadze, G., Stewart, C., & Sokhadze, E. (2010). Neurofeedback Effects on Evoked and Induced EEG Gamma Band Reactivity to Drug-related Cues in Cocaine Addiction. *Journal of Neurotherapy*, 14(3), 195-216. <https://doi.org/10.1080/10874208.2010.501498>
- Hubbard, R., Sipolins, A., & Zhou, L. (2017). Enhancing learning through virtual reality and neurofeedback: A first step. *Proceedings of the Seventh International Learning Analytics & Knowledge Conference*, 398-403. <https://doi.org/10.1145/3027385.3027390>
- Jarusiewicz, B. (2002). Efficacy of Neurofeedback for Children in the Autistic Spectrum: A Pilot Study. *Journal of Neurotherapy*, 6(4), 39-49. https://doi.org/10.1300/J184v06n04_05
- Karimi, M., Haghshenas, S., & Rostami, R. (2011). Neurofeedback and autism spectrum: A case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 30, 1472-1475. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.10.285>

- Koberda, J. L. (2015). Z-score LORETA Neurofeedback as a Potential Therapy in Depression/Anxiety and Cognitive Dysfunction. İçinde R. W. Thatcher & J. F. Lubar (Ed.), *Z Score Neurofeedback* (ss. 93-113). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801291-8.00005-4>
- Kotchoubey, B., Strehl, U., Holzapfel, S., Blankenhorn, V., Fröscher, W., & Birbaumer, N. (1999). Negative potential shifts and the prediction of the outcome of neurofeedback therapy in epilepsy. *Clinical Neurophysiology*, 110(4), 683-686. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00005-X](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00005-X)
- Krawutschke, M., Teufel, M., Schmidt, K., Pasche, S., Schweig, T., Bialek, A., Kowalski, A., Tewes, M., Schuler, M., Schadendorf, D., Scherbaum, N., Skoda, E.-M., Fink, M., & Müller, B. W. (2024). Neurofeedback Reduces P300 Amplitudes to Intensely Emotive Pictures in Depressed Cancer Patients. *Clinical EEG and Neuroscience*. <https://doi.org/10.1177/15500594241287961>
- Kumar, J. S., & Bhuvanewari, P. (2012). Analysis of Electroencephalography (EEG) Signals and Its Categorization—A Study. *Procedia Engineering*, 38, 2525-2536. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.298>
- Kwan, Y., Yoon, S., Suh, S., & Choi, S. (2022). A Randomized Controlled Trial Comparing Neurofeedback and Cognitive-Behavioral Therapy for Insomnia Patients: Pilot Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 47(2), 95-106. <https://doi.org/10.1007/s10484-022-09534-6>
- Kwon, S. Y., Seo, G., Jang, M., Shin, H., Choi, W., Lim, Y. B., Shin, M.-S., & Kim, B.-N. (2024). The Effect of Mobile Neurofeedback Training in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Randomized Controlled Trial. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 22(1), 67-78. <https://doi.org/10.9758/cpn.23.1054>
- Lambert-Beaudet, F., Journault, W.-G., Rudziavic Provençal, A., & Bastien, C. H. (2021). Neurofeedback for insomnia: Current state of research. *World Journal of Psychiatry*, 11(10), 897-914. <https://doi.org/10.5498/wjp.v11.i10.897>
- Larsen, H. S. (2009). The Special Applicability of the Low Energy Neurofeedback System Form of Neurofeedback to Traumatic Brain Injury: I. The Theory. *Biofeedback*, 37(3), 104-107. <https://doi.org/10.5298/1081-5937-37.3.104>
- Larsen, S., Harrington, K., & Hicks, S. (2006). The LENS (Low Energy Neurofeedback System): A Clinical Outcomes Study on One Hundred Patients at Stone Mountain Center, New York. *Journal of Neurotherapy*, 10(2-3), 69-78. https://doi.org/10.1300/J184v10n02_06
- Lecomte, G., & Juhel, J. (2011). The Effects of Neurofeedback Training on Memory Performance in Elderly Subjects. *Psychology*, 02(08), Article 08. <https://doi.org/10.4236/psych.2011.28129>
- Lee, Y.-J., Lee, G.-W., Seo, W.-S., Koo, B.-H., Kim, H.-G., & Cheon, E.-J. (2019). Neurofeedback Treatment on Depressive Symptoms and Functional Recovery in Treatment-Resistant Patients with Major Depressive Disorder: An Open-Label Pilot Study. *Journal of Korean Medical Science*, 34(42). <https://doi.org/10.3346/jkms.2019.34.e287>
- Li, K., Huang, W., Gao, W., Guan, Z., Huang, Q., Yu, J.-G., Yu, Z. L., & Li, Y. (2024). An Electroencephalography-Based Brain-Computer Interface for Emotion Regulation With Virtual Reality Neurofeedback. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 16(4), 1405-1417. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*. <https://doi.org/10.1109/TCDS.2024.3357547>

- Li, Z., Ren, H., Tian, Y., Zhou, J., Chen, W., OuYang, G., Chen, Z., Yi, W., Song, H., Xie, P., Wang, X., Chen, X., Xiao, Q., & Liu, H. (2024). Neurofeedback technique for treating male schizophrenia patients with impulsive behavior: A randomized controlled study. *Frontiers in Psychiatry*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2024.1472671>
- Linhartová, P., Látalová, A., Kóša, B., Kašpárek, T., Schmahl, C., & Paret, C. (2019). fMRI neurofeedback in emotion regulation: A literature review. *NeuroImage*, 193, 75-92. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.03.011>
- Mandryk, R. L., Dielschneider, S., Kalyn, M. R., Bertram, C. P., Gaetz, M., Doucette, A., Taylor, B. A., Orr, A. P., & Keiver, K. (2013). Games as neurofeedback training for children with FASD. *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children*, 165-172. <https://doi.org/10.1145/2485760.2485762>
- Markiewicz, R., & Dobrowolska, B. (2020). Cognitive and Social Rehabilitation in Schizophrenia—From Neurophysiology to Neuromodulation. Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114034>
- Markiewicz, R., Markiewicz-Gospodarek, A., Dobrowolska, B., & Łoza, B. (2021). Improving Clinical, Cognitive, and Psychosocial Dysfunctions in Patients with Schizophrenia: A Neurofeedback Randomized Control Trial. *Neural Plasticity*, 2021, 4488664. <https://doi.org/10.1155/2021/4488664>
- Markiewicz, R., Markiewicz-Gospodarek, A., Trubalski, M., & Łoza, B. (2024). Neurocognitive, Clinical and Reelin Activity in Rehabilitation Using Neurofeedback Therapy in Patients with Schizophrenia. *Journal of Clinical Medicine*, 13(14), 4035. <https://doi.org/10.3390/jcm13144035>
- Mayaud, L., Wu, H., Barthélemy, Q., Favennec, P., Delpierre, Y., Congedo, M., Dupeyron, A., & Ritz, M. (2019). Alpha-phase synchrony EEG training for multi-resistant chronic low back pain patients: An open-label pilot study. *European Spine Journal*, 28(11), 2487-2501. <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06051-9>
- Mercado, J., Espinosa-Curiel, I., Escobedo, L., & Tentori, M. (2019). Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: The case of autism. *Multimedia Tools and Applications*, 78(10), 13675-13712. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6916-2>
- Mikicín, M., Orzechowski, G., Jurewicz, K., Paluch, K., Kowalczyk, M., & Wróbel, A. (2015). Brain-training for physical performance: A study of EEG-neurofeedback and alpha relaxation training in athletes. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 75(4), Article 4. <https://doi.org/10.55782/ane-2015-2047>
- Moradi, N., Rajabi, S., & Mansouri Nejad, A. (2024). The effect of neurofeedback training combined with computer cognitive games on the time perception, attention, and working memory in children with ADHD. *Applied Neuropsychology: Child*, 13(1), 24-36. <https://doi.org/10.1080/21622965.2022.2112679>
- Morales-Quezada, L., Martinez, D., El-Hagrassy, M. M., Kaptchuk, T. J., Sterman, M. B., & Yeh, G. Y. (2019). Neurofeedback impacts cognition and quality of life in pediatric focal epilepsy: An exploratory randomized double-blinded sham-controlled trial. *Epilepsy & Behavior*, 101, 106570. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2019.106570>

- Navarro Gil, M., Escolano Marco, C., Montero-Marín, J., Minguez Zafra, J., Shonin, E., & García Campayo, J. (2018). Efficacy of Neurofeedback on the Increase of Mindfulness-Related Capacities in Healthy Individuals: A Controlled Trial. *Mindfulness*, 9(1), 303-311. <https://doi.org/10.1007/s12671-017-0775-1>
- Nawaz, R., Nisar, H., Yap, V. V., & Tsai, C.-Y. (2022). The Effect of Alpha Neurofeedback Training on Cognitive Performance in Healthy Adults. *Mathematics*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/math10071095>
- Nazari, M. A., Mosanezhad, E., Hashemi, T., & Jahan, A. (2012). The Effectiveness of Neurofeedback Training on EEG Coherence and Neuropsychological Functions in Children With Reading Disability. *Clinical EEG and Neuroscience*, 43(4), 315-322. <https://doi.org/10.1177/1550059412451880>
- Nigro, S. E. (2019). The Efficacy of Neurofeedback for Pediatric Epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 44(4), 285-290. <https://doi.org/10.1007/s10484-019-09446-y>
- Norouzi, E., Hosseini, F., & Vaez Mousavi, M. K. (2018). The Effect of Neurofeedback Training on Sport Performance Enhancement and Conscious Motor Processing in Skilled Dart Players. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 10(1), 139-157. <https://doi.org/10.22059/jmlm.2018.238453.1279>
- Othman, E. S., Faye, I., Muthuvalu, M. S., & Saad, M. N. M. (2020). EEG neurofeedback for dyslexia treatment: Limitations and future directions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1497(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1497/1/012028>
- Paret, C., Kluetsch, R., Zaehring, J., Ruf, M., Demirakca, T., Bohus, M., Ende, G., & Schmah, C. (2016). Alterations of amygdala-prefrontal connectivity with real-time fMRI neurofeedback in BPD patients. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(6), 952-960. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw016>
- Paul, M., Ganesan, S., Sandhu, J., & Simon, J. (2022). Effect of sensory motor rhythm neurofeedback on psycho-physiological, electro-encephalographic measures and performance of archery players. *Ibnosina Journal of Medicine and Biomedical Sciences*, 04, 32-39.
- Peeters, F., Oehlen, M., Ronner, J., Os, J. van, & Lousberg, R. (2014). Neurofeedback As a Treatment for Major Depressive Disorder – A Pilot Study. *PLOS ONE*, 9(3), e91837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091837>
- Pei, G., Guo, G., Chen, D., Yang, R., Shi, Z., Wang, S., Zhang, J., Wu, J., & Yan, T. (2020). BrainKilter: A Real-Time EEG Analysis Platform for Neurofeedback Design and Training. *IEEE Access*, 8, 57661-57673. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2967903>
- Perez-Elvira, R., Carrobes, J. A., Bote, D. J. L., & Oltra-Cucarella, J. (2019). Efficacy of Live Z-Score Neurofeedback Training for Chronic Insomnia: A Single-Case Study. *NeuroRegulation*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.15540/nr.6.2.93>
- Rauter, A., Schneider, H., & Prinz, W. (2022). Effectivity of ILF Neurofeedback on Autism Spectrum Disorder—A Case Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.892296>
- Raymond, J., Sajid, I., Parkinson, L. A., & Gruzelier, J. H. (2005). Biofeedback and Dance Performance: A Preliminary Investigation. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(1), 65-73. <https://doi.org/10.1007/s10484-005-2175-x>
- Reis, J., Portugal, A. M., Fernandes, L., Afonso, N., Pereira, M., Sousa, N., & Dias, N. S. (2016). An Alpha and Theta Intensive and Short Neurofeedback Protocol

- for Healthy Aging Working-Memory Training. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00157>
- Rostami, R., & Dehghani-Arani, F. (2015). Neurofeedback Training as a New Method in Treatment of Crystal Methamphetamine Dependent Patients: A Preliminary Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 40(3), 151-161. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9281-1>
- Russo, G. M., Smith, S., & Sperandio, K. R. (2023). A meta-analysis of neurofeedback for treating substance use disorders. *Journal of Counseling & Development*, 101(2), 143-156. <https://doi.org/10.1002/jcad.12466>
- Sanader Vukadinovic, B., Karch, S., Paolini, M., Reidler, P., Rauchmann, B., Koller, G., Pogarell, O., & Keeser, D. (2024). Neurofeedback for alcohol addiction: Changes in resting state network activity☆. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 339, 111786. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2024.111786>
- Schabus, M., Griessenberger, H., Gnjezda, M.-T., Heib, D. P. J., Wislowska, M., & Hoedlmoser, K. (2017). Better than sham? A double-blind placebo-controlled neurofeedback study in primary insomnia. *Brain*, 140(4), 1041-1052. <https://doi.org/10.1093/brain/awx011>
- Shojaei, B., Naeim, M., Kazemi, Z., Taheri, M., Imannezhad, S., & Mohammadi, Y. (2024). Reducing symptoms of attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD) in elementary students: The effectiveness of neurofeedback. *Annals of Medicine and Surgery*, 86(5), 2651. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000001861>
- Sho'ouri, N. (2021). Predicting the success rate of healthy participants in beta neurofeedback: Determining the factors affecting the success rate of individuals. *Biomedical Signal Processing and Control*, 69, 102753. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102753>
- Sitaram, R., Caria, A., Veit, R., Gaber, T., Ruiz, S., & Birbaumer, N. (2014). Volitional control of the anterior insula in criminal psychopaths using real-time fMRI neurofeedback: A pilot study. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00344>
- Smetanin, N., Volkova, K., Zabodaev, S., Lebedev, M. A., & Ossadtchi, A. (2018). NFB Lab—A Versatile Software for Neurofeedback and Brain-Computer Interface Research. *Frontiers in Neuroinformatics*, 12. <https://doi.org/10.3389/fninf.2018.00100>
- Smith, P. N., & Sams, M. W. (2006). Neurofeedback with Juvenile Offenders: A Pilot Study in the Use of QEEG-Based and Analog-Based Remedial Neurofeedback Training. *Journal of Neurotherapy*, 9(3), 87-99. https://doi.org/10.1300/J184v09n03_06
- Sokhadze, E. M., El-Baz, A. S., Tasman, A., Sears, L. L., Wang, Y., Lamina, E. V., & Casanova, M. F. (2014). Neuromodulation Integrating rTMS and Neurofeedback for the Treatment of Autism Spectrum Disorder: An Exploratory Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 39(3), 237-257. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9264-7>
- Staufenbiel, S. M., Brouwer, A.-M., Keizer, A. W., & van Wouwe, N. C. (2014). Effect of beta and gamma neurofeedback on memory and intelligence in the elderly. *Biological Psychology*, 95, 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.05.020>

- Stopczynski, A., Stahlhut, C., Petersen, M. K., Larsen, J. E., Jensen, C. F., Ivanova, M. G., Andersen, T. S., & Hansen, L. K. (2014). Smartphones as pocketable labs: Visions for mobile brain imaging and neurofeedback. *International Journal of Psychophysiology*, 91(1), 54-66. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.08.007>
- Strehl, U. (2009). Slow Cortical Potentials Neurofeedback. *Journal of Neurotherapy*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.1080/10874200902885936>
- Surmeli, T., & Ertem, A. (2009). QEEG Guided Neurofeedback Therapy in Personality Disorders: 13 Case Studies. *Clinical EEG and Neuroscience*, 40(1), 5-10. <https://doi.org/10.1177/155005940904000107>
- Surmeli, T., Ertem, A., Eralp, E., & Kos, I. H. (2012). Schizophrenia and the Efficacy of qEEG-Guided Neurofeedback Treatment: A Clinical Case Series. *Clinical EEG and Neuroscience*, 43(2), 133-144. <https://doi.org/10.1177/1550059411429531>
- Thatcher, R. W. (2013). Latest Developments in Live Z-Score Training: Symptom Check List, Phase Reset, and Loreta Z-Score Biofeedback. *Journal of Neurotherapy*, 17(1), 69-87. <https://doi.org/10.1080/10874208.2013.759032>
- Thomas, K. P., & Vinod, A. P. (2016). A study on the impact of neurofeedback in EEG based attention-driven game. 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 000320-000325. <https://doi.org/10.1109/SMC.2016.7844260>
- Torres, C. B., Barona, E. J. G., Molina, M. G., Sánchez, M. E. G.-B., & Manso, J. M. M. (2024). A systematic review of EEG neurofeedback in fibromyalgia to treat psychological variables, chronic pain and general health. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 274(4), 981-999. <https://doi.org/10.1007/s00406-023-01612-y>
- Trambaiolli, L. R., Kohl, S. H., Linden, D. E. J., & Mehler, D. M. A. (2021). Neurofeedback training in major depressive disorder: A systematic review of clinical efficacy, study quality and reporting practices. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 125, 33-56. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.02.015>
- Turiaco, F., Iannuzzo, F., Genovese, G., Lombardo, C., Silvestri, M. C., Celebre, L., Muscatello, M. R. A., & Bruno, A. (2024). Cognitive effects of brief and intensive neurofeedback treatment in schizophrenia: A single center pilot study. *AIMS Neuroscience*, 11(3), 341-351. <https://doi.org/10.3934/Neuroscience.2024021>
- Ventur, B., Scholler, S., Williamson, J., Dähne, S., Treder, M. S., Kramarek, M. T., Müller, K.-R., & Blankertz, B. (2010). Pyff—A Pythonic Framework for Feedback Applications and Stimulus Presentation in Neuroscience. *Frontiers in Neuroscience*, 4. <https://doi.org/10.3389/fnins.2010.00179>
- Vučković, A., Altaleb, M. K. H., Fraser, M., McGeady, C., & Purcell, M. (2019). EEG Correlates of Self-Managed Neurofeedback Treatment of Central Neuropathic Pain in Chronic Spinal Cord Injury. *Frontiers in Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00762>
- Walker, J. E. (2008). Power Spectral Frequency and Coherence Abnormalities in Patients with Intractable Epilepsy and Their Usefulness in Long-Term Remediation of Seizures Using Neurofeedback. *Clinical EEG and Neuroscience*, 39(4), 203-205. <https://doi.org/10.1177/155005940803900410>

- Wang, J.-R., & Hsieh, S. (2013). Neurofeedback training improves attention and working memory performance. *Clinical Neurophysiology*, 124(12), 2406-2420. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.05.020>
- Wang, S.-Y., Lin, I.-M., Fan, S.-Y., Tsai, Y.-C., Yen, C.-F., Yeh, Y.-C., Huang, M.-F., Lee, Y., Chiu, N.-M., Hung, C.-F., Wang, P.-W., Liu, T.-L., & Lin, H.-C. (2019). The effects of alpha asymmetry and high-beta down-training neurofeedback for patients with the major depressive disorder and anxiety symptoms. *Journal of Affective Disorders*, 257, 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.07.026>
- Wang, S.-Y., Lin, I.-M., Peper, E., Chen, Y.-T., Tang, T.-C., Yeh, Y.-C., Tsai, Y.-C., & Chu, C.-C. (2016). The efficacy of neurofeedback among patients with major depressive disorder: Preliminary study. *NeuroRegulation*, 3(3), Article 3. <https://doi.org/10.15540/nr.3.3.127>
- Watanabe, T., Sasaki, Y., Shibata, K., & Kawato, M. (2017). Advances in fMRI Real-Time Neurofeedback. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(12), 997-1010. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.09.010>
- Wigton, N. L., & Krigbaum, G. (2015). A Review of qEEG-Guided Neurofeedback. *NeuroRegulation*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.15540/nr.2.3.149>
- Wong. (2004). Multichannel classification of brain -wave representations of language by perceptron-based models and independent component analysis—ProQuest. <https://www.proquest.com/docview/305123250?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- Wu, C., Wu, D., Fang, Y., & Song, H. (2024). Efficacy of Integrated Neurofeedback and Virtual Reality Training in Children with ADHD: A Randomized Controlled Trial. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4249425/v1>
- Wu, Y.-C., Yu, H.-E., Yen, C.-F., Yeh, Y.-C., Jian, C.-R., Lin, C.-W., & Lin, I.-M. (2024). The effects of swLORETA Z-score neurofeedback for patients comorbid with major depressive disorder and anxiety symptoms. *Journal of Affective Disorders*, 350, 340-349. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.01.020>
- Wu, Y.-L., Fang, S.-C., Chen, S.-C., Tai, C.-J., & Tsai, P.-S. (2021). Effects of Neurofeedback on Fibromyalgia: A Randomized Controlled Trial. *Pain Management Nursing*, 22(6), 755-763. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2021.01.004>
- Xia, Z., Yang, P.-Y., Chen, S.-L., Zhou, H.-Y., & Yan, C. (2024). Uncovering the power of neurofeedback: A meta-analysis of its effectiveness in treating major depressive disorders. *Cerebral Cortex*, 34(6), bhae252. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhae252>
- Yang, C., Ye, Y., Li, X., & Wang, R. (2018). Development of a neuro-feedback game based on motor imagery EEG. *Multimedia Tools and Applications*, 77(12), 15929-15949. <https://doi.org/10.1007/s11042-017-5168-x>
- YuLeung To, E., Abbott, K., Foster, D. S., & Helmer, D. (2016). Working Memory and Neurofeedback. *Applied Neuropsychology: Child*, 5(3), 214-222. <https://doi.org/10.1080/21622965.2016.1167500>
- Zarenezhad, S., Soltanikouhbanani, S., & Zarenezhad, S. (2020). Effectiveness of Neurofeedback on Cognitive Deficits and Visual – Motor Perception in student with Dyslexia. *Neuropsychology*, 6(21), 47-66. <https://doi.org/10.30473/clpsy.2020.47676.1453>

- Zhao, L., Wu, W., Liang, Z., & Hu, G. (2009). Changes in EEG measurements in intractable epilepsy patients with neurofeedback training. *Progress in Natural Science*, 19(11), 1509-1514. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2009.03.010>
- Zheng, Q., Kei, K. T.-L., Chiu, K. Y., & Shum, K. K.-M. (2024). Study protocol of a randomised controlled trial of the effects of near-infrared spectroscopy neurofeedback training coupled with virtual reality technology in children with ADHD. *BMJ Open*, 14(12), e093183. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-093183>
- Zoefel, B., Huster, R. J., & Herrmann, C. S. (2011). Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance. *NeuroImage*, 54(2), 1427-1431. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.08.078>