

Biofeedback: Its function, effects on organism and utility in sports sciences

Biyolojik geri bildirim: İşleyişi, organizmaya etkisi ve spor bilimlerinde kullanımı

Erolcan Çelik , İhsan Sarı 

Coaching Training Department, Faculty of Sport Sciences, Sakarya Applied Sciences University, Sakarya, Turkey

ABSTRACT

Biofeedback trainings are frequently used both to treat some diseases and to increase the performance of healthy individuals. Great progress has been made in this regard in various fields. Biofeedback is a method used in fields such as art, surgery, and military service, as well as sports, in order to increase mental and physical performance. In addition it can be said that various researches related to this topic may be carried out in the future, and comprehensive scientific resources will thus be needed. The aim of this review is to conduct a comprehensive literature review about biofeedback practices and to present a scientific resource in Turkish that will meet the need. For this purpose, the findings obtained by examining the studies in the relevant literature were compiled and presented to the reader in a systematic way. In this context, firstly, the basic logic of biofeedback training is explained and the measurement tools along with their functions are presented. Afterwards, the contribution of biofeedback training to self-regulation skills is explained in detail and its effect on the autonomic nervous system is discussed. Then, biofeedback practices used in different fields are summarized. Finally, by referring to the use of biofeedback in the field of sports sciences, relevant researches in the field of sports in Turkey are assessed.

Keywords: Feedback, neurofeedback, self-regulation, health, sport

ÖZ

Biyolojik geri bildirim uygulamaları hem bazı hastalıkları tedavi etmek hem de sağlıklı bireylerin performanslarını arttırmak amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Biyolojik geri bildirim zihinsel ve fiziksel performansı arttırmanın yanı sıra sanat, cerrahi ve askerlik gibi alanlarda da kullanılan bir yöntemdir. Konunun giderek öneminin artmasının yanı sıra ileride farklı alanlarda çeşitli araştırmaların yapılacağı ve kapsamlı bilimsel kaynaklara gereksinime duyulacağı söylenebilir. Bu derlemenin amacı biyolojik geri bildirim uygulamalarına ilişkin kapsamlı bir literatür taraması oluşturmak ve alanda Türkçe bir bilimsel kaynak ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda ilgili alanyazındaki çalışmalar incelenerek elde edilen bulgular derlenmekte ve sistematik bir şekilde okuyucuya sunulmaktadır. Bu kapsamda, ilk olarak biyolojik geri bildirim eğitiminin temel mantığı açıklanarak ölçüm araçları ve işlevleri okuyucuya sunulmaktadır. Sonrasında ise biyolojik geri bildirim öz düzenleme becerisine katkısı ayrıntılı olarak açıklanarak bu uygulamanın otonom sinir sistemine etkisi ele alınmaktadır. Biyolojik geri bildirim içinde ele alınan nörolojik geri bildirim temel mantığı açıklandıktan sonra ise biyolojik geri bildirim farklı alanlarda ne şekilde kullanıldığı özetlenmektedir. Son olarak bu uygulamanın spor bilimleri alanındaki kullanımına değinilerek, Türkiye'de spor alanında biyolojik geri bildirim uygulamaları değerlendirilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Geri bildirim, nörolojik geri bildirim, öz düzenleme, sağlık, spor

GİRİŞ

Biyolojik Geri Bildirim

İngilizce alanyazında biofeedback (1,2) olarak kullanılan bu kavram, Türkçe alanyazında biyolojik geri bildirim (3,4) ve biyo geri bildirim (5) olarak kullanılmaktadır. Bu makalede ise biyolojik geri bildirim (BGB) ifadesi tercih edilmiştir. BGB, zihinsel ve davranışsal etkinlikler ile bedensel olayların etkileşimini elektrotlar ve özel sensörler aracılığıyla somut olarak izleyip değerlendirerek, geri bildirimde bulunma yoluyla kişiye davranışlarını nasıl düzenleyeceğini öğretme tekniğidir (6). Uygulamalı Psikofizyoloji ve Biofeedback Derneğinin tanımına göre ise BGB, bireyin sağlığını ve performansını iyileştirmek amacıyla fizyolojik aktivitesini nasıl değiştireceğini öğrenmesini sağlayan bir süreçtir (7). BGB'nin ana fikri; bireye, vücudunun veya zihninin çeşitli durumlara verdiği tepkiler hakkında bilgi sağla-

maktır (8). İnsan beynindeki dinamiklerin diğer organ sistemlerinden oldukça farklı işlemlerinden dolayı, beyin aktivitesine yönelik geri bildirim kavramı BGB içerisinde nöro geri bildirim (NGB) olarak tanımlanmaktadır.

Özellikle Hans Berger'in (9) insandan alınan ilk Elektroensefalografi (EEG) kaydından bu yana beynin elektriksel aktivitesini ölçme, değerlendirme ve düzenleme işlemleri NGB adıyla ele alınmaktadır. NGB kavramı İngilizce alanyazında neurofeedback (10), EEG-biofeedback (11) ya da neurobiofeedback gibi farklı isimlerle kullanılmaktadır. NGB, BGB disiplini çerçevesinde beyin dalgalarının düzenlenmesini içeren bir uygulama alanıdır (12). NGB uygulamasının sportif alandaki önemi, sportif başarının en önemli psikolojik bileşenlerinden olan; yüksek öz farkındalık, stresle başa çıkma, yüksek öz düzenleme, olumlu içgörü ve olumlu kendi

Received / Geliş: 21.05.2021 · Accepted / Kabul: 13.08.2021 · Published / Yayın Tarihi: 28.01.2022

Correspondence / Yazışma: İhsan Sarı · Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi, Sakarya, Turkey · sarihsan@yahoo.com

Cite this article as: Celik E, Sari I. Biofeedback: Its function, effects on organism and utility in sports sciences. *Turk J Sports Med.* 2022, 57(2):108-116; <https://doi.org/10.47447/tjism.0566>

kendine konuşma gibi etkenlerin NGB ile geliştirilebileceğine yönelik olan düşünceden kaynaklanmaktadır (13). Bununla birlikte, NGB yalnızca performans sporcularında kullanılmamakta, rekreatif amaçlı spor yapan bireyler de NGB'den yararlanabilmektedir. NGB'nin bireye kazandırdığı öz düzenleme becerisi ve bireyin bedenine yönelik farkındalık kazanması, aynı zamanda onların akış durumuna girebilmesini kolaylaştırmaktadır (14). Bu nedenle düzenli olarak spor yapma konusunda istikrara sahip olamayan bireylerin NGB eğitimleri ile spor ortamında daha uzun süre kalabilmeleri ve daha olumlu deneyimler yaşayabilmeleri mümkün olabilmektedir (15).

BGB eğitimlerinde vücudun bazı bölgelerine çeşitli sensör veya elektrotlar yerleştirilerek bireylerin iç dinamiklerine ilişkin veriler saptanmakta ve somut olarak izlenebilmektedir. Böylece bireyler bu iç dinamikler hakkında gözlem yapma şansı elde etmektedir. Elde edilen veriler genellikle bir ekranda bireylere yansıtılarak kimi zaman bir oyun, kimi zaman birtakım egzersizler aracılığında ekrandaki değerler azaltılmaya veya artırılmaya çalışılmaktadır. Elde edilen verilerin tekrar bireylere sunulması her zaman bir ekran aracılığında olmayabilir. Bireyin bilgi edinmesini sağlayacak olan her türlü ses, ışık vb. uyaran yoluyla da BGB eğitimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu uygulamalarda asıl olan konu bireyin kendi iç dinamikleri hakkında bilgi edinmesi ve onları düzenleyebilmesidir. Yöntemin adımlaması şöyle olabilir:

- 1. Adım:** Bireyin vücuduna sensör veya elektrotlar takılır.
- 2. Adım:** Takılan sensör veya elektrotlar aracılığında bireye ait anlık veriler alınır.
- 3. Adım:** Veriler elektronik ortama işlenir.
- 4. Adım:** İşlenen veriler anlık olarak oyunlar ya da grafikler yoluyla bireye gösterilerek üzerinde eğitimler gerçekleştirilir (Örneğin; birey kendisine ait verileri uygun seviyeye getirdiğinde ekrandaki nesne hızlanır. Veriler uygun seviyede olmadığında ise ekrandaki nesne yavaşlar).

Biyolojik Geri Bildirim Uygulamasında Kullanılan Ölçüm Araçları ve İşlevleri

Organizmadaki biyofizyolojik tepkileri ölçmek, değerlendirmek ve geri bildirimde bulunabilmek için BGB eğitimlerinde birtakım ölçüm araçlarından yararlanılmaktadır. Bu ölçüm araçlarının BGB uygulamaları bağlamında kullanımları aşağıda özetlenmektedir (19):

Elektrokardiyografi elektrodu: Göğüs üzerine ve el bileklerine yerleştirilen sensörlerdir. Bu sensörler aracılığında kalp kasının elektriksel aktivitesi izlenebilmektedir.

Kan hacmi nabız sensörü: Alanyazında "Blood Volume Pulse" sensörü olarak da adlandırılan bu sensör, parmak ucuna

takılan bir elektrot yoluyla her kalp atımında kılcal damarların genişleme ve daralmasını izleyerek kalp atım hızı hakkında öngörüde bulunmaktadır.

Elektromiyografi sensörü: İlgili kas ya da kaslar üzerine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla kasın kasılması için gerekli olan elektriksel aktivite hakkında bilgi akışı sağlamaktadır. Elektromiyografi (EMG) uygulaması kendi içerisinde iğne EMG ve yüzey EMG (yEMG) olarak ikiye ayrılmakta, yEMG çeşitli alanlarda invaziv olmayan yaygın bir yöntemken, iğne EMG uygulaması daha çok tıbbi amaçla invaziv bir yöntem olarak kullanılırken her iki yöntem kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları barındırmakla birlikte, BGB bağlamında yEMG uygulamasının daha yaygın kullanıldığını söylemek mümkündür.

Solunum sensörü: Karın ve göğüs bölgesine elastik bir kemer bağlanarak kemer içerisinde bulunan iki adet mıknatısın birbirleri ile olan mesafesi dikkate alınarak bireyin solunum hızı ve tipi ile ilgili bilgi sağlamaktadır.

Elektrodermal aktivite sensörü: Genellikle avuç içi veya parmak uçlarına takılan bu sensörler derinin iletkenliğindeki değişimleri kaydetmek için kullanılmaktadır. Nitekim bu iletkenlik değişimleri bireyin stresli bir durum yaşamayıp yaşamadığı ile ilişkilendirilmektedir. Sempatik sinir sisteminin uyarılması sonucu ter bezlerindeki aktivite artışı derideki elektrolit dengesinin değişimine ve derinin iletkenliğinin artışına yol açmaktadır.

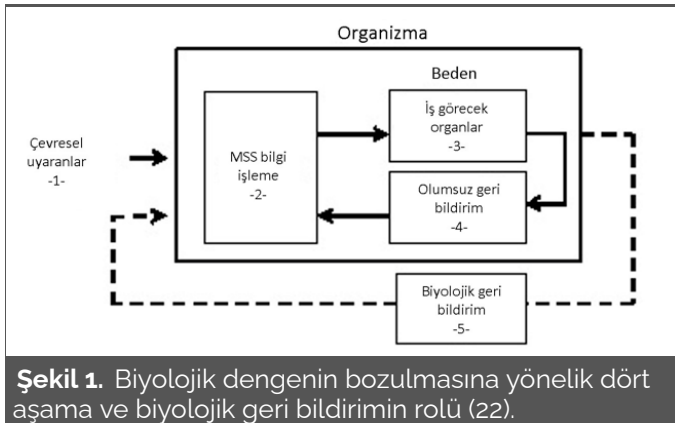
Termal geri bildirim sensörü: Cilt yüzeyinde meydana gelen sıcaklık değişimi sempatik sinir sistemi (SSS) aktivasyonuna bağlı olarak, periferdeki kanın merkezi organlara çekilmesi ve bu yolla el ve ayaklarda cilt yüzeyi sıcaklığının düşmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Parmak üzerine yerleştiren bir sensör aracılığında cilt yüzeyinin sıcaklığı ölçülmektedir.

Elektroensefalografi sensörü/elektrodu: Amerika EEG Derneği (American EEG Society) tarafından standart yerleşim sistemi olarak önerilen (17) ve 10/20 sistemine göre baş bölgesine çeşitli elektrotlar yerleştirilerek ya da elektrokep kullanılarak saç derisi üzerinden nöronların elektriksel aktivitesinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Tüm bu teknikler BGB eğitimlerinde kimi zaman birleştirilerek (EKG sensörü + solunum kemeri) kimi zaman da tek başlarına kullanılabilirler. Teknikler ve kullanılan ölçüm araçları farklılaşabilse de hedeflerinin aynı olduğu, yani BGB yoluyla bireylere öz düzenleme becerisi kazandırmak olduğunu söylemek mümkündür.

Biyolojik Geri Bildirim Aracılığı ile Öz Düzenleme Becerisi Kazanmak

BGB'nin öz düzenleme becerisi kazandırmaya yönelik fonksiyonundan bahsederken bu konudaki bir teoriyi detaylı ele almak yararlı olacaktır. Schwartz (8) tarafından oluşturulan "Disregulation Theory" bu anlamda en temel açıklamalardan biridir (Şekil 1). Daniels ve Landers'a göre bu teori alandaki teorik ve deneysel yaklaşımları birbirine entegre edebilme adına güzel bir açıklama sunmaktadır (18).



Şekil 1. Biyolojik dengenin bozulmasına yönelik dört aşama ve biyolojik geri bildirim rolü (22).

Şekil 1'de çevresel uyarılar [1] bireylere çevreden iletilen tüm uyarılar ve stresörleri tanımlar. Bu uyarılar bireylerin duyuşsal olarak tüm hissettikleri şeklinde bireye ulaşır. Ardından MSS [2] tüm bu girdileri işleyerek vücudumuzdaki ilgili bölgelere [3] ulaştırır. Bireyin vücudunun farklı yerlerinden gelen olumsuz geri bildirimler [4] tekrar Merkezi sinir sistemi (MSS)'ne ulaşır ve bu doğrultuda organizmada dengeyi sağlayacak düzenlemeler yapılır. Bu aşamaların herhangi bir noktasında denge bozularak olumsuzluklar ortaya çıkabilir. Biyolojik geri bildirim [5] dördüncü aşamaya paralel olarak işleyen ek bir geri bildirim yoludur. Vücudun farklı noktalarındaki aktiviteleri saptar, çevresel uyarı olarak bireye sunar, böylece birey öz düzenleme yapabilir.

Bilindiği gibi organizma kendi içinde var olan biyolojik dengeyi (homeostasis) korumaya programlıdır. Organizmada normal işleyişe aykırı bir durum saptandığında MSS dengeyi sağlamak için birtakım önlemler almakta ve biyolojik dengeyi sağlamaktadır. Organizmanın bu süreci Şekil 1'de en temel hatları ile görselleştirilmektedir. İlk olarak beklentiler ve iş yükü gibi stres unsuru taşıyan çevresel uyarılar bireye ulaşır [1]. Sonrasında beyin, organizmanın bu çevresel uyarılara yanıt verebilmesi ve bireyin gerekli doğrultuda davranabilmesi için ilgili organlara sinyaller gönderir [2]. Çevreden alınan uyarıların türüne göre oluşturulmuş sinyaller hedef noktaya ulaştırılarak ilgili organ ve sistemleri aktive eder [3]. Eğer çevreden gelen uyarıların MSS aracılığıyla organ ve sistemlere ulaşan etkisi belirli bir üst limiti aşarsa, organlar ve sistemler beyne olumsuz

bir geri bildirim gönderirler [4]. Gönderilen bu olumsuz geri bildirim amacını; organizmayı denge durumuna sokması için beyni uyarmaktır.

Özetle, organlar ve sistemler [3] artık bu çevresel uyarıların [1] çok fazla olduğunu ve vücutta dengenin sağlanması gerektiğini olumsuz geri bildirim [4] göndererek beyne [2] iletmektedir. Örneğin, çok fazla yemek yedikten hemen sonra spor yapan birisinin midesi tam olarak işlev gösterememekte ve birey karın ağrısı hissedebilmektedir. Bu karın ağrısı yukarıda açıkladığımız negatif geri bildirim sinyalidir ve bu sinyal artık koşu yapılmaması veya yavaş koşulması gerektiğine yönelik beyne gönderilen bir uyarıdır. Çünkü sindirim sırasında iç organlarda olması gereken kan akışı, fiziksel aktiviteye bağlı olarak kaslara yönlendirilmekte ve böylece sindirim işlemi olması gerektiği gibi gerçekleşmektedir. Bu durumda ise mide ağrı durumu oluşturarak bireyi fiziksel aktivitesini sonlandırmaya zorlamaktadır. Bu yolla organizmadaki biyolojik dengenin korunması sağlanmaktadır (19).

Çevreden alınan uyarılara organizma tarafından verilen tepki ve organizmanın dengesinin korunması süreci her zaman dört dörtlük işlemeyebilir. Bu işlevselsizliğe neden olan birkaç faktör olabilir. Bu faktörlerden birincisi çevresel uyarılarla ilgilidir. Bireylerin hayatındaki bazı çevresel uyarılar/stresörler öyle aşırı ve sürekli olabilirler ki; beyni, organlardan aldığı olumsuz geri bildirimleri görmezden gelmek zorunda bırakabilirler. İkinci faktör ise bireyin genetik yapısı ya da kültürel özellikleridir. Birey genetik yapısı veya çevresinden öğrendiklerine göre organizması tarafından gönderilen olumsuz geri bildirimleri görmezden gelebilir. Diğer faktörler organların olumsuz geri bildirim üretmedeki başarısızlığı veya organlardan gelen olumsuz geri bildirimlerin uygun şekilde olmamasıdır. Yukarıda sayılan bu dört faktör veya olası diğer faktörlerin etkisi ile organizma iç dengesini kuramamakta ve var olan biyolojik denge bozulabilmektedir. Biyolojik dengenin bozulduğu bu gibi durumlarda, Şekil 1'de belirtilen dördüncü aşamadaki olumsuz geri bildirim yoluna paralel, ek bir geri bildirim yolu olarak biyolojik geri bildirim kullanılabilir.

Organizma herhangi bir nedenle dengesini kuramadığında organlardan gelen olumsuz geri bildirim beyne ulaşamamakta, ulaşan geri bildirim zorunlu olarak görmezden gelinmekte veya algılanamamaktadır. Bu durumda biyolojik geri bildirim tekniği ile vücudun farklı noktalarındaki aktiviteler sensörler aracılığıyla saptanarak çeşitli yazılımsal araçlarla bireye sunulmaktadır. Bunun sonucunda ise birey biyolojik verilerini görme ve düzenleme yapma olanağı elde etmekte ve bu verileri kendi kendine düzenleyebilme becerisi kazanmaktadır (19).

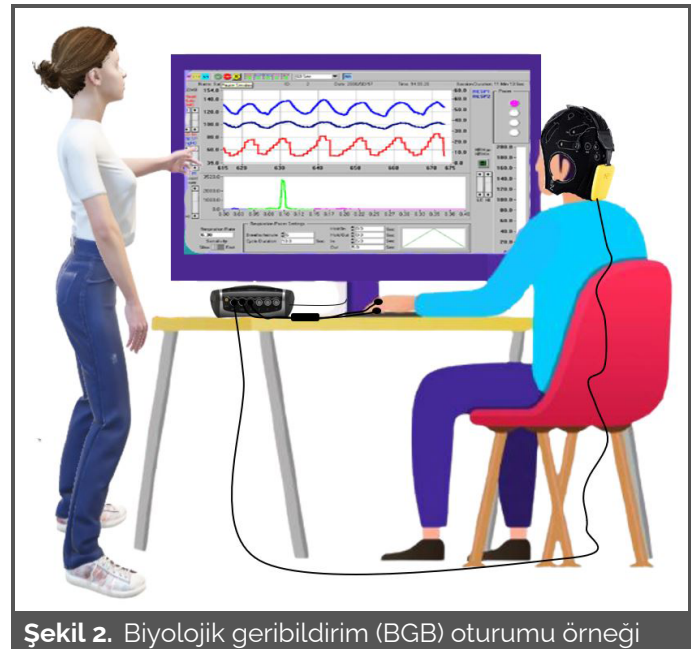
Öz düzenleme mekanizmasının sinirbilimsel temelini ele alan bir araştırmada, katılımcılara kalp atım hızları ile kontrol edebilecekleri bir oyun oynatılmıştır. Katılımcılar oyun oynadıkları esnada beyin aktiviteleri Fonksiyonel MR ile kaydedilmiştir. Söz konusu bu oyunda ana karakter bir dalgıçtır. Oyunun temel amacı ise denizin dibinde yer alan tüm hazineleri toplamaktır. Kalp atım hızı ne kadar yavaş ise oyundaki karakter o kadar hızlı yüzebilmektedir. Katılımcıların yarışta kazanabilmesi için kalp atım hızlarının yavaş olması gerekmektedir. Katılımcılara oyun ekranında kalp atım hızlarına yönelik olarak görsel geri bildirim sunulmuştur. Çalışmanın sonucunda öz düzenleme davranışının psikofizyolojik haritasını çıkardıklarını söyleyen araştırmacılar, bireyler bilinçli bir şekilde fizyolojik verilerini kontrol ederlerken; genel olarak beyin korteksinin faaliyete geçtiği, özel olarak ise oksipital, frontal ve orta temporal beyin alanlarının aktivitesinin arttığını belirtmişlerdir (20).

BGB, gevşeme egzersizleri veya hedef organın mevcut aktivitesini değiştiren eğitimleriyle strese bağlı belirtileri azaltarak bireylerin hem sağlıklarını koruma hem de performanslarını artırma noktasında eşsiz katkılar sunmaktadır (21). BGB eğitimleri ile bireyler kendi bedenleri üzerinde daha fazla kontrol kazanmakta ve edindikleri öz düzenleme becerisini sosyal yaşamlarına da yansıtılabilmektedir. Böylece üstlendikleri toplumsal rolleri yerine getirme noktasında da daha başarılı olmaktadır. BGB yönteminin ortaya çıktığı ilk dönemlerde Green ve ark. oldukça önemli bir öngöründe bulunarak; bireylerin BGB uygulamaları ile fizyolojik değişkenleri üzerinde kontrol sahibi olmalarını sağlamanın çok önemli olduğunu ifade etmişlerdir (22). Çünkü araştırmacılara göre Öz düzenleme becerisi yüksek bireylerden oluşan bir toplumun, "parçadan bütüne" doğru olumlu bir gelişim göstermesi kuvvetle muhtemeldir. Bunun sonucunda ise toplum açısından maddi ve manevi birçok kazanım elde edilebilir. Örneğin, konuyla ilgili bir araştırmada NGB'nin diğer tedavi yöntemleri (metakognitif terapi ve farmakolojik tedavi) ile kıyaslandığında genel kaygı bozukluğunun tedavisinde daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır (23). Bu durum hem farmakolojik Ar-Ge süreçlerine ayrılan bütçe hem de ilaç geliştirme süresi açısından oldukça umut verici bir gelişme olmanın yanı sıra Green ve ark.'nın öngörüsünü de doğrular niteliktedir (22).

BGB, gevşeme tekniklerini teknolojik ekipmanlarla destekleyerek bireyin bedeni üzerinde farkındalığını arttıran ve öz düzenleme becerisi kazanmasına yardımcı olan bir yöntemdir (24). BGB ile geliştirilebilen öz düzenleme becerisi sporunun fiziksel ve zihinsel açıdan daha iyi olması, daha düşük somatik ve bilişsel kaygılı olması, daha iyi rekabet hazırlığı yapması, daha yüksek dayanıklılığı bulunması, daha hızlı-doğru karar vermesi ve daha iyi motor öğrenme beceri-

sinde olması ile ilişkilendirilmektedir (25). Çalışmalarda yüksek düzey öz düzenleme becerisi olan sporcuların daha yüksek sportif performans sergiledikleri belirlenirken (26), Olimpik düzeydeki sporcuların öz düzenleme becerileri ile dünya sıralamaları arasında önemli bir ilişki olduğu da ortaya konulmuştur (27). Dolayısıyla sporcuların öz düzenleme becerisini artırarak daha yüksek fiziksel ve zihinsel kapasiteye erişmelerinin sağlanması oldukça önem kazanmaktadır. BGB bu noktada sporculara yardımcı olmakta ve sağladığı eğitimler yoluyla bedenleri üzerindeki farkındalıklarını artırarak öz düzenleme becerisi edinmelerine katkı sağlamaktadır.

İnsan organizmasındaki otonom süreçler, normal şartlarda istemli olarak değiştirilememekte fakat geri bildirim yoluyla bu gerçekleştirilebilmektedir (28). BGB eğitimlerinde, hedeflenen davranış her gerçekleştiğinde katılımcılara görsel ya da işitsel olarak olumlu geri bildirim verilmektedir (Şekil 2). Böylece edimsel koşullanma prensibiyle davranış değişikliği sağlanmaktadır (29). Hedeflenen davranış değişimi tek oturumluk BGB seanslarında dahi sağlanırken (30), belirli bir süre boyunca BGB eğitimlerine devam etmek elde edilen kazanımları bir süre tekrar etme şansı sağlamaktadır. Böylece BGB eğitimleriyle geliştirilen beceriler otomatik hâle gelmekte ve bireyler bu becerileri eğitimden sonraki yaşantılarında da kullanabilmektedir (6).



Şekil 2. Biyolojik geribildirim (BGB) oturumu örneği

BGB'nin bedeni anlama noktasında üzerinde durduğu en önemli yapı sinir sistemidir. Çünkü sinir sistemi, beynin beden ile iletişimini sağlamada kilit rol oynayan bir yapıdır. Bu yapı içinde de en dikkat çeken alt bileşen ise otonom sinir sistemi ve buna bağlı olarak aktivite gösteren sempatik ve parasempatik sinir sistemleridir. BGB ile otonom sinir

B'nin işleyiş mekanizmasının anlaşılması açısından önemlidir. Bu nedenle bir sonraki bölümde bu ilişki ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Biyolojik Geri Bildirim ile Otonom Sinir Sistemine Müdahale

Çeşitli ölçüm araçları kullanılarak insan organizmasında gerçekleşen olayların izlenebilmesi düşüncesinin ortaya çıktığı ilk zamanlardan bu yana, organizmadaki iç dinamikler birtakım sensörlerle kolaylıkla saptanabilir hâle gelmiştir. Bu bakış açısıyla çeşitli davranışların altında yatan sinirsel süreçler arasındaki karşılıklı ilişkilerin incelenmesi, teknolojik gelişmeler paralelinde ivme kazanmış ve birçok bilimsel araştırma alanı bundan yararlanmış. BGB'nin bakış açısıyla sözü geçen bu iç içe yapılar ele alındığında karşımıza çıkan temel yapı otonom sinir sistemidir. Çünkü insan sağlığını tehdit eden ve bireylerin zihinsel ve fiziksel performanslarına engel oluşturan sürekli alarm hâlinde olma durumu otonom sinir sistemine bağlı sempatik sinir sistemi aktivitesiyle ilişkilidir. BGB ise otonom sinir sisteminin "bozulan" dengesine müdahale edilmesine olanak sağlamaktadır.

Otonom sinir sistemi; insan iradesi dışında çalışan ve frontal lob, hipotalamus, limbik sistem gibi yapılar tarafından kontrol edilen bir sinir sistemidir (31). Organizmanın dengesinin korunmasında anahtar bir rolü vardır (32). Otonom sinir sistemi, SSS ve parasempatik sinir sistemi (PSS) olarak ikiye ayrılmaktadır. SSS uyarılmaya ilişkin duygularla, PSS ise dinlenmeye ilgili duygularla ilişkilendirilmektedir (33). Vücutta kaygı ya da stres yanıtı oluştuğunda SSS faaliyetini arttırarak bedende bir dizi biyofizyolojik reaksiyon gerçekleştirir (34). Ortamdan uzaklaşmak ya da kalıp mücadele vermek için kaslar gerginleşmekte, artan kas faaliyetine gerekli oksijeni ve besini gönderebilmek için kalp atışı hızlanmakta, akciğer bronşları genişlemekte, mide sindirim işlevini durdurmakta ve böbreküstü bezlerinden adrenal hormonu salgılanmaktadır. Aksi durumda, yani birey içinde bulunduğu durumu stresli ya da tehlikeli olarak algılamadığında ise PSS faaliyetini arttırmakta ve bireyin sakinleşmesini sağlayacak bir dizi önlem olarak SSS aktivitesini baskılamaktadır.

Sporcular, askerler ve adrenal tutkunu bireyler sık sık SSS ve PSS faaliyetlerini deneyimlerler. Çünkü yaptıkları fiziksel uğraşlar SSS ve PSS'nin etkinleşmesini sağlamaktadır. Ancak bazı durumlarda fiziksel aktiviteden bağımsız olarak bireylerin diğer deneyimleri sonucu SSS baskın hâle gelebilmektedir. Bu durum onların zihinsel ve fiziksel performanslarını olumsuz olarak etkileyebilmektedir. SSS aktivitesi baskın olan bireyler, sürekli bir alarm durumunda olduklarından daha agresif, öfkeli veya heyecanlı davranabilirler. Böyle bir durumda ise bu bireylerin sempatik ve para-

sempatik aktivitelerinin özel ölçüm araçları ile izlenmesi, saptanması ve girişimde bulunularak SSS ve PSS aktivitelerinin dengelenmesi gerekmektedir. Bu nokta BGB eğitimlerinin temel anlayışını oluşturmaktadır. Sağlanan eğitimler SSS'yi baskılamak için PSS aktivitesini arttırmaya yönelik gerçekleştirilmektedir. Bu yolla bireylerin sinir sistemleri dengelenerek daha sağlıklı bir yaşam sürmeleri ya da ilgili oldukları alanlarda performanslarının arttırılması sağlanabilmektedir.

Nörolojik Geri Bildirim

Daha önce de ifade edildiği gibi BGB bağlamında beyin aktivitesine yönelik faaliyetler NGB başlığı altında değerlendirilmektedir. Tanım açısından NGB, bireylere beyin dalgalarını nasıl kontrol edebileceklerini öğreten bir tekniktir (35). Beynin aktivitesini saptamak için kullanılan elektrotlar uluslararası 10/20 sistemine göre yerleştirilmekte ve bu şekilde yaklaşık 5 cm'lik kortikal alanda 1 mm derinlikteki >100 milyon nöronun aktivitesinin saptanmasına ve bu nöronların işlevleri üzerinde direkt olarak çalışılabilmesine olanak sağlamaktadır. EEG sinyali farklı frekans bantları hâlinde organize olmaktadır. Her frekans bandının farklı beyin durumlarını yansıttığı, farklı davranış ve davranışsal sonuçlar ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir (28). Bu frekans bantları genel bir ayırım ile sınıflandırılarak her biri farklı bir fizyolojik durumu temsil edecek şekilde gruplandırılmıştır (Tablo 1).

NGB'nin kullanımına yönelik olarak eğitimden elde edilen kazanımların kısa mı yoksa uzun vadeli mi olduğu önemli bir tartışma konusu olmuş ve bir çalışmada, NGB eğitimi alan bireylerin üç sene sonra dahi aynı beyin örgüsünü sergiledikleri ortaya konmuştur (37). Nitekim Hatfield ve ark. na göre bireyler bir hedefe yönelik işle sürekli meşgul olduklarında sinir sistemlerinde de değişiklikler gözlemlenmektedir (38). NGB'nin, beyni yeniden bağlantılamak (ya da beynin yapısal veya fizyolojik değişikliklere uğraması) anlamına gelen *nöroplastisite* sağladığı belirtilmiştir. Diğer bir deyişle, NGB eğitimi alan bireyler önceki beyin bağlantılarına kıyasla daha farklı beyin bağlantılarına sahip olmaktadır (39). Bunun anlamı ise bireylerin NGB'den sonra daha farklı bir beyin mimarisine sahip olmalarıdır. Sahip oldukları yeni nöronal bağlantıları sürekli kullanarak veya tekrar yoluyla bu bağlantıları kuvvetlendirerek, tıpkı Engelbreght ve ark.nın (37) çalışmasında olduğu gibi ilerleyen dönemlerde elde ettikleri kazanımları otomatik birer davranış hâline dönüştürebilmektedirler.

NGB'nin sportif performans üzerindeki işlevselliğini belirlemeye yönelik araştırmalar bulunmaktadır. Bu konudaki bir meta-analiz NGB'nin sportif performansı arttırmada etkili bir araç olduğu sonucuna varmıştır (40). EEG yoluyla da özellikle elit sporcuların sportif faaliyet sırasında beyin ak-

tiviteleri anlaşılma çalışılmıştır. Bir çalışmada, sporculara ön çapraz bağ yaralanmasıyla ilgili biyomekanik risk faktörlerini değerlendirmek için dikey sıçrama testi uygulanmış ve testten yüksek puan alan sporcuların düşük puan

alan sporculara kıyasla daha farklı beyin desenlerine sahip oldukları bulgulanmıştır (41).

Tablo 1. Beyin dalga frekansları ve özellikleri (36)

Frekans (Hz)	Tanım	Özellik
0.5-4.0	Delta	Derin uyku sırasında orta çıkan sinir salınımıdır. Bireyin işlerini "otomatik pilota" hallettiği frekans aralığıdır. Bu durumda rutin otonom hareketler gerçekleşir ve odaklanma gerektirmez. Beynin hem korteks hem de hipokampal bölgelerinde oluşabilmektedir. Alfa dalgasına benzer olarak teta dalgasının uyarılmasıyla da kaygıda azalma saptanmıştır.
4.0-7.0	Teta	Beynin korteks, oksipital lob ve talamus bölümlerinde bulunan hücrelerin, senkronik elektriksel aktivitesinden kaynaklanan sinir salınımlarıdır. Birey dinlenme durumunda ve gözler kapalıyken alfa dalgası ortaya çıkarken, gözler açık durumda ve uyku hâlindeyken alfa dalgaları kaybolmaktadır. Alfa dalgası uyarımı ile tükenmişlik ve stres duygularında azalma olduğu ortaya konulmuştur.
8.0-13	Alfa	Artan farkındalık ve yoğun konsantrasyonun olduğu durumlarda ortaya çıkan bu frekanstaki sinir salınımıdır. Akademik performans, yüksek aritmetik hesaplama ve bilişsel becerilerdeki artış ile ilişkilendirilmiştir.
12-38	Beta	Bu beyin dalgaları bilinçli dikkat sırasında ortaya çıkmaktadır. Beyin hasarı gibi travma durumlarında gama dalgasının kaybolmasıyla bilinçli farkındalık kaybolup derin koma durumu oluşmaktadır.
40-100	Gama	

Üst düzey sporcuların kortikal aktivitelerini anlamak ya da başarılı psikomotor performansla ilişkili kortikal aktivite deseninin saptanması da NGB bağlamında oldukça ilgi çekici konulardan biri olmuştur (38,42,43). Çalışmalar, spor da elit seviyeye giden yolda nörofizyolojik bir adaptasyon olduğu düşüncesinin doğruluğuna işaret etmektedir (44). Öte yandan elit düzey kortikal desenlerin saptanmasından sonra söz konusu bu desenler doğrultusunda acemi sporcuları antrene edebilme düşüncesi de alanın tartışılmalı konularından biri olmuştur. Bu bağlamda Cooke'a göre amatör sporcuların başarılı psikomotor performansla ilişkili kortikal aktivite desenleri bulunması konusunda NGB eğitimleri kullanılabilir (45). Ring ve ark.na göre ileri sürülen bu tezin temelinde, normalde öğrenilmesi yıllar alan ustalık performansına yönelik kortikal aktiviteye NGB destekli eğitimlerle daha kısa sürede ulaşılması yer almaktadır (46). Ancak konuya ilişkin deneysel çalışmalar son derece sınırlı olsa da, ilerleyen dönemlerde bu düşünceye yönelik daha fazla çalışma yapılması olasıdır.

Özetle söylemek gerekirse; NGB, bireylere ilgili zihinsel durum ya da davranışı geliştirmek için bir frekans bandı içinde beyin aktivitesini düzenlemeyi öğreten bir yöntemdir. NGB, bireylere kendi kortikal aktivitelerine yönelik eş zamanlı olarak geri bildirimde bulunarak, Skinner'ın edimsel koşullanma prensibini uygulamaktadır (47). İstenilen kortikal aktiviteye ulaşmayı hedefleyen NGB eğitimleri, sporcuların performanslarına engel oluşturan etkenleri azaltmalarını sağlayarak performanslarını arttırmaktadır. NGB eğitimleri ile performanslarına ket vuran olguları ortadan kaldıran sporcular, sahip oldukları fiziksel ve zihinsel becerilerini daha rahat bir şekilde sergileyebilmektedir.

Biyolojik Geri Bildirimin Çeşitli Alanlarda Kullanılması

BGB'nin sistematik bir yöntem olarak ortaya çıkışı sağlık alanında gerçekleşmiştir. Bugün de aynı şekilde çeşitli ra-

hatsızlıkların tedavisinde hâlâ kullanılmaya devam edilmektedir. Örneğin kronik bel ağrısı (48), tip II diyabet (49), prehipertansiyon (50) gibi fizyolojik rahatsızlıklar; stres (51) ve kaygı (52) gibi psikolojik rahatsızlıkların tedavisinde BGB'den yararlanılmakta ve olumlu sonuçlar alınmaktadır.

Sağlık alanındaki araştırmalarda sadece hastalar hedeflenmemiş, cerrahlarla da çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Buradaki amaç BGB'nin cerrahların performanslarını geliştirip geliştiremeyeceğini sınınamaktır. Bu bağlamda yapılan bir çalışmada NGB eğitimlerinin cerrahların genel tekniklerini, dikiş becerilerini ve müdahale sürelerini geliştirdiği, kaygı düzeylerini ise azalttığı saptanmıştır (53). BGB sanat alanında da etkili olarak kullanılmıştır. Öğrenci müzisyenlerle yürütülen bir çalışmada katılımcılara kalp hızı değişkenliği BGB eğitimi verilmiş ve bunun müzik performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada BGB eğitimi verilen müzisyenlerin hiçbir müdahalede bulunulmayan kontrol grubuna göre müzik performans kaygısı %71 azalmış, müzik performansları %62 artmıştır. Böylelikle araştırmacılar BGB'nin sanat alanında kullanılabilir hızlı ve ucuz bir yöntemi olduğuna işaret etmişlerdir (54).

BGB'den askerî alanda da yararlanılmaktadır. Askerlerde yürütülen bir çalışmada katılımcılara BGB destekli stres yönetimi eğitimi verilmiştir. Katılımcıların stres düzeyini arttıran bir simülasyon (yaralı askerlere müdahaleye gidilirken patlamalı bir pusuya düşme) sonrası tükürük örnekleri alınarak kortizol düzeyleri saptanmıştır. Sonuçlara göre BGB eğitim alan askerlerin stres düzeyleri kontrol grubuna göre anlamlı olarak daha düşük bulunmuştur (55).

Spor Bilimlerinde Yaygın bir Uygulama Olarak Biyolojik Geri Bildirim

Günümüz spor anlayışı yüksek maddi kaynaklar ve yatırım gerektirmektedir. Birçok sporcu markalaşmış, kulüpler ise şirketleşmiş bir yapıya evrilmiştir. Bu bağlamda sportif ba-

şarı ile gelen maddi kazançlar hiç olmadığı kadar önemli hâle gelmiştir. Sonuç olarak yüksek performans elde etmek için sporcuların psikolojik ve fizyolojik durumlarını düzenleyebilme becerisi kazanmaları neredeyse zorunlu bir hâle gelmiştir (27).

Antrenman programlarının farklı yöntemlerle bütünleştirilmesi ve bu yöntemlerin performans artışına direkt olarak katkıda bulunması görüşü (13) sporu ve sportif başarı anlayışını değiştirmiştir. Bu bağlamda teknolojik gelişmelerin de yardımıyla sporcuların özellikle biyolojik verileri büyük oranda izlenmeye başlanmıştır (56). Bu doğrultuda hem teknik ekip sporcunun biyolojik verilerini dikkate alarak sporcuya uygun yüklenme programı hazırlayabilme olanağı elde etmiş hem de sporcunun performansını etkileyen psikolojik değişkenlerin somut birer veri hâline dönüşmesi sağlanmıştır (57). Söz konusu bu biyolojik verileri düzenleyebilme kavramı ise BGB ile mümkün olmaktadır.

Örneğin sportif başarıyı etkileyen önemli unsurlardan olan algısal-bilişsel beceriler (dikkat ve hafıza, zaman algısı, beklenti ve karar verme, duyuşsal koordinasyon vb.) rakip sporcunun hamlelerini önceden tahmin etme veya daha hızlı, daha iyi kararlar vererek rakibi yenebilme noktasında hayati önemdedir. Bu becerilerin geliştirilmesi ise BGB gibi çeşitli girişimlerle mümkün olmaktadır (58). Yine BGB eğitimleri ile sporcular, kaygılarını azaltma (59) ve müsabaka kaynaklı stresi yönetme becerisine yönelik eğitimler alarak (60), performansları için bir fren görevi gören bu duygu durumlarını kontrol altında tutmayı öğrenmekte ve bu kazanımı bir davranış örüntüsü hâline getirerek performanslarını zirveye taşıyabilmektedir (61).

Sporda BGB'nin tarihsel arka planı incelendiğinde resmî olarak 1960'lı yılların sonunda ortaya çıkan teknik, Zaichkowsky tarafından spor ortamına da taşınmış ve bu tarihten itibaren spor bilimleri alanı yaklaşık yarım asır süren spor-BGB birlikteliğine sahne olmuştur. Zaichkowsky'nin, BGB tekniğini sporcuların öz düzenlemeleri hakkında bilgi edinmek için kullanan ilk araştırmacı olması nedeniyle tarihsel açıdan özel bir yeri bulunduğu söylenebilir (62). Onun "Biofeedback Applications in Exercise and Athletic Performance" adlı kitabında BGB konusunu incelediği bilinmektedir (6). Ardından diğer araştırmacıların da sporda BGB kullanımına yönelmesiyle BGB'nin spor alanıyla bütünleşme süreci hız kazanmıştır. Bu süre zarfında sporda BGB uygulaması birçok branşta performansı arttırmak amacıyla kullanılmış ve bu araştırmalar neticesinde genel olarak BGB'nin spor ortamında performansı iyileştirmek için etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır (1,4,56,63).

BGB'nin spor ortamında bu denli yaygın kullanımı sonucu var olan BGB uygulamalarını standartlaştırmaya yönelik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Blumenstein ve Orbach,

spor branşlarının taleplerini ve rekabet koşullarını göz önüne alarak BGB modüllerinde bir ayrıma gitmiştir. Buna göre; kalp hızı değişkenliği, NGB ve solunuma yönelik gerçekleştirilen BGB eğitimlerinin, nişan alma veya hedefe yönelik aktiviteleri içeren branşlarda; EMG ve galvanik deri yanıtı eğitimlerinin yüksek düzeyde temas gerektiren spor branşlarında (judo vb.); EMG, galvanik deri yanıtı ve elektrodermal aktivite eğitimlerinin ise jimnastikte kullanılmasının daha uygun olabileceğine işaret etmiştir (6).

Farklı türdeki spor branşları için daha uygun olabilecek BGB türleri olduğu ifade edilse de (6), bu uygulayıcılar için sadece temel bir bilgi niteliği taşımaktadır ve kesinlikle uyulması gereken katı bir kural olarak düşünülmemelidir. BGB'nin yukarıda sayılan tüm eğitim türleri, sporcunun teknik gelişiminden (64) motor öğrenmesine, yaralanmanın önlenmesinden (65), yaralanma sonrası sporcunun somut ve objektif olarak değerlendirilmesine (66) kadar bireylerin sportif hayatları boyunca karşılaşacağı pek çok durumda onlara destek olabilecek niteliktedir. Sonuçta atletik performans; sporcunun gevşeme, iyileşme, uyku, ağrıyı yönetme, zihinsel ve duygusal olarak rekabete hazırlanma becerileri ile yakından ilişkilidir (67). BGB ise sporcuların tüm bu becerilerini geliştirme noktasında oldukça önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türkiye'de Spor Alanında Biyolojik Geri Bildirim Araştırmaları

Ülkemizde spor bilimleri alanındaki araştırmalarda EMG, EKG ve kalp hızı değişkenliği bağlamında biyolojik ölçümlerin yapıldığı birçok araştırma bulunmaktadır (68,69,70). Ancak bu araştırmalar, elde edilen verilerin sporculara geri bildirim olarak iletilmesi ve böylece onların öz düzenleme becerilerinin geliştirilmesini içermemektedir. Yani bu araştırmalar sporcuların otonom sinir sistemi aktivitelerini düzenleme becerilerinin geliştirilmesine yönelik değildir. Bu nedenle uluslararası alanyazında yaklaşık olarak yarım asırlık geçmişe sahip olan sporda BGB uygulamalarının ülkemizde oldukça yeni bir alan olduğu söylenebilir.

Biyolojik geri bildirim uygulamaları bağlamında ilgili ulusal alanyazın incelendiğinde BGB'nin sporcuların fizyolojik durumlarını kontrol etmeleri için önemli bir araç olduğu vurgulanmıştır. Her ne kadar Altıntaş ve Akalan (71) sporda zihinsel antrenman ve yüksek performans ilişkisini inceledikleri araştırmalarında biyolojik geri bildirim konusuna çok kısa değinmiş olsalar da, ulusal alanyazında biyolojik geri bildirim spor bilimlerindeki önemine dikkat çeken ilk araştırmacılar oldukları söylenebilir.

Biyolojik geri bildirim ile ilgili yurt dışında yapılan bilimsel araştırmaların artmasıyla birlikte ülkemizde de biyolojik geri bildirim sporcuların öz düzenleme becerisi kazanmalarındaki önemi daha çok anlaşılmasına başlanmıştır. Araş

tırmacıların bilgisi dahilinde bu konuya ilişkin ilk çalışma Aktop ve Seferoğlu tarafından gerçekleştirilmiş ve spor ortamında NGB kullanımı hakkında literatür taraması olarak yayımlanmıştır (72). Ardından NGB ilk defa spor ortamında deneysel bir araştırmada kullanılmış ve NGB'nin okçuların atış performansını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır (4). Özetle ülkemizde spor bilimleri alanındaki BGB uygulamalarının sporcular için bir eğitim aracı olarak kullanıldığı bilimsel araştırmaların oldukça az sayıda olduğu söylenebilir. Bununla birlikte özellikle son yıllarda spor ortamında BGB kullanımına yönelik bir eğilimin olduğu da ifade edilebilir.

SONUÇ

Biyolojik geri bildirim, sporcuların bedenleri üzerindeki farkındalıklarını arttırarak onların öz düzenleme becerisi edinmelerine katkı sağlayan bir uygulamadır. Spor ortamında öz düzenleme becerisi kazanmak, sporcuların hem psikolojik ve fizyolojik gelişimi hem de sportif performans açısından oldukça önemli bir kavramdır. Araştırmalar yüksek düzey öz düzenleme becerisi bulunan sporcuların daha yüksek sportif performans sergiledikleri (26) ve Olimpik düzeydeki sporcuların öz düzenleme becerileri ile dünya sıralamaları arasında önemli bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır (27). Bu nedenle sporcuların öz düzenleme becerisini geliştiren girişimler spor psikolojisinde oldukça ilgi çeken konulardandır ve BGB de bu yöntemlerden biridir.

Temel olarak BGB, bireylerin fizyolojik verilerinin çeşitli sensörler aracılığı ile belirlenerek yazılımlar aracılığıyla tekrar onlara iletilmesi ve bireylerin de ilgili verilerini bilinçli olarak kontrol etmeleri mantığına dayanmaktadır. Eğitimlerde bireyler SSS aktivitesini baskılayan ve PSS aktivitesini arttıran egzersizler gerçekleştirmektedir. Eğitim süreci içinde katılımcılar hem bedenlerine yönelik farkındalık kazanmakta hem de bedenleri üzerindeki kontrollerini arttırmaktadır. Bunun sonucunda ise bireyler gerek akademik hayatlarında gerekse de spor ortamında kullanabilecekleri kazanımlar elde etmektedir. Çeşitli eğitim türleriyle sportif performansın artırılması amacıyla yaklaşık yarım asırdır kullanılan BGB uygulamaları, çeşitli konularda sporculara katkı sağlamaktadır (56,63).

1960'lı yılların sonunda ortaya çıkan BGB tekniği, 1975'li yıllardan itibaren spor ortamında sporcuların performanslarını arttırmak ve onları olumsuz olarak etkileyen stres, kaygı vb. durumları ortadan kaldırmak için kullanılan etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda teknolojiye gelişmelerle birlikte daha güçlü yazılımsal ve donanımsal araçlarla desteklenen BGB'nin, böylece farklı branşlarda ve spor dışı çeşitli alanlarda kullanımının önünün açıldığı söylenebilir. Uluslararası alanyazın incelendiğinde, sporda BGB kullanımına yönelik farklı amaçlar doğrultusunda birçok araştırmanın yapıldığı belirlenmekle

birlikte ülkemizde bu konuda sınırlı sayıda araştırma olduğu söylenebilir. Bu nedenle bu literatür taramamızın kapsamlı bir Türkçe kaynak olarak ilgili alandaki önemli bir gereksinimi gidereceğini ve bu alanda uygulama/araştırma yapacak olanlara katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

The authors declared no conflicts of interest with respect to authorship and/or publication of the article.

Financial Disclosure / Finansal Destek

The authors received no financial support for the research and/or publication of this article.

Author Contributions / Yazar Katkıları

Concept All authors; Design All authors; Supervision All authors; Materials All authors; Data Collection and/or Processing All authors; Analysis and Interpretation All authors; Literature Review All authors; Writing Manuscript All authors; Critical Reviews All authors.

KAYNAKLAR

1. Mueller K, Williams PS, Haley P, Heick J. Heart rate variability biofeedback improves sports performance in an elite female athlete. *Cardiopulm Phys Ther J*. 2020;31(3):123-32.
2. Joanna I. Biofeedback as a form of neurorehabilitation in Parkinson's disease. *J Edu Health Sport*. 2021;11(1):33-9.
3. Kılıç MA. Ses terapisi olarak biyolojik geri bildirim yöntemi. *Türk Klin KBB-Özel Konular*. 2013;6(2): 41-5.
4. Tuna, N. Biyolojik geri bildirimle zihinsel antrenman programının sporcuların performansına etkisi. *Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri ve Teknolojisi Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi; 2018.
5. Özdel K. Düinden bugüne bilişsel davranışçı terapiler: teori ve uygulama. *Türk Klin Psikolojik Özel Konular*. 2015;8(2):10-20.
6. Blumenstein B, Orbach I. *Biofeedback for Sport and Performance Enhancement*. Oxford Handbooks Online. New York, NY: Oxford University Press. 2014. doi:10.1093/oxfordhb/9780199935291.
7. American Psychological Association. Biofeedback and Applied Psychophysiology; c2021 (cited 2021 Oct 22). <https://www.apa.org/ed/graduate/specialize/biofeedback>
8. Schwartz GE. Disregulation and systems theory: A biobehavioral framework for biofeedback and behavioral medicine. In: Birbaumer N, Kimmel HD Eds. *Biofeedback and Self-Regulation*. New York: Erlbaum; 1979, p. 585-91.
9. Haas LF. Hans Berger (1873-1941), Richard Caton (1842-1926), and electroencephalography. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2003;74(1):9.
10. Jessica VD, Arns M, Heinrich H, Vollebregt MV, Strehl U, Loo SK. Sustained effects of neurofeedback in ADHD: A systematic review and meta-analysis. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 2019;28(3):293-305.
11. Quaedflieg CWEM, Smulders FTY, Meyer T, Peeters F, Merckelbach, Smeets T. The validity of individual frontal alpha asymmetry EEG neurofeedback. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2016;11(1):33-43.
12. Kuşunet DDK, Sazak N. Theta, alpha, SMR beyin dalgalarının müzik türleriyle olan etkileşimi: bir nexus-10 EEG çalışması. *Çevrimiçi Müzik Bilimleri Dergisi*. 2018;3(1):149-65.
13. Crivelli D, Fronda G, Balconi M. Neurocognitive enhancement effects of combined mindfulness-neurofeedback training in sport. *Neuroscience*. 2019;412:83-93.
14. Kee YH, John Wang CK. Relationships between mindfulness, flow dispositions and mental skills adoption: a cluster analytic approach. *J Sport Exerc Psychol*. 2008;9(4):393-411.
15. Rochniak A, Kostikova I, Fomenko K, Khomulenko T, Arabadzhy T, Viedernikova T, et al. Effect of young basketball players' self-regulation on their psychological indicators. *J Phys Educ Sport*. 2020;20(3):1606-12.
16. Moss D, Wilson VS. The use of general biofeedback in the pursuit of optimal performance. In: Edmonds WA, Tenenbaum G, Eds. *Case Studies in Applied Psychophysiology: Neurofeedback and Biofeedback Treatments for Advances in Human Performance*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2011, p. 3-16.
17. Singh N, Kanda R. Quantification and comparison of different non-linear techniques of EEG signals. *Int Res J Eng Technol (IRJET)*. 2017;4(7):2521-5.
18. Daniels FS, Landers DM. Biofeedback and shooting performance: a test of disregulation and systems theory. *J Sport Exerc Psychol*. 1981;3(4):271-82.

19. Schwartz GE. Biofeedback and the behavioral treatment of disorders of dysregulation. *Yale J Biol Med.* 1979;52(6):581.
20. Shtark MB, Mazhirina K, Rezakova M, Savelov A, Pokrovskiy M, Jafarova O. Neuroimaging phenomenology of the central self-regulation mechanisms. *J Behav Brain Sci.* 2014;4(1):58-68.
21. Everly GS, Lating JM. *Biofeedback in the Treatment of the Stress Response: in a Clinical Guide to the Treatment of the Human Stress Response.* 4th ed. New York: Springer; 2019.
22. Green EE, Green AM, Walters ED. Voluntary control of internal states: psychological and physiological. *J Transpers Psychol.* 1970;2(1):1.
23. Dadashi M, Tareman F, Momtazi S, Khani M, Eskandari Z, Kian AA, et al. Comparing the effectiveness of metacognitive therapy (MCT), pharmacotherapy (SSRIS) and EEG biofeedback in generalized anxiety disorders. *J Adv Med Med Res.* 2018; 26(117):57-73.
24. Jacobson E. Progressive muscle relaxation. *J Abnorm Psychol.* 1938;75(1):18.
25. Balk YA, Englert C. Recovery self-regulation in sport: theory, research and practice. *Int J Sports Sci Coach.* 2020;15(2):273-81.
26. Wildgoose TM. An exploration of crossfit athletes physiological self-regulation and competition performance. *Alliant International University Faculty of the California School of Professional Psychology Doctoral Dissertation.* California: Alliant International University; 2019.
27. Dupee M. Assessment and learning of self-regulation in olympic athletes using biofeedback and neurofeedback. *University of Ottawa Health Sciences Human Kinetics Doctoral Dissertation.* Ottawa: University of Ottawa; 2016.
28. Mirifar A, Beckmann J, Ehrlenspiel F. Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes' performance: a systematic review with implications for future research. *Neurosci Biobehav Rev.* 2017;75:419-32.
29. Bahadır A. Travma sonrası stres bozukluğunun tedavisinde EEG-dayalı nörofeedback yönteminin kullanımı. *Düzce Üniv SBE Dergisi.* 2020;10(1):123-30.
30. Lee YJ, Kim HG, Cheon EJ, Kim K, Choi JH, Kim JY, et al. The analysis of electroencephalography changes before and after a single neurofeedback alpha/theta training session in university students. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2019;44(3):173-84.
31. Akyüz G, Leblebici MA. Otonom sinir sisteminin anatomisi ve değerlendirilmesi. *Türk Fizyoloji Rehab Derg.* 2012;58(Ozel Sayı):1-5.
32. McCorry LK. Physiology of the autonomic nervous system. *Am J Pharm Educ.* 2007;71(4):78.
33. Öztürk Y, Özyurt G, Tufan AE, Pekcanlar AA. Dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğunda duyu düzenleme güçlükleri ve tedavisi. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar.* 2018;10(2):188-201.
34. Werthner P. Sport psychology for canoe and kayak. In: McKenzie D, Berglund B, Eds. *Handbook of Sports Medicine and Science Canoeing.* New Jersey: Wiley-Blackwell; 2019, p. 62-70.
35. Gruzelier JH, Egner T. Physiological self regulation: Biofeedback and neurofeedback. In: Williamson A, Ed. *Musical Excellence: Strategies and Techniques to Enhance Performance.* London: Oxford University Press; 2004, p. 197-219.
36. Torgutalp ŞŞ. Effects of yoga principles (Asana, Pranayama and Meditation) on brain waves. *Turk J Sports Med.* 2018;53(2):89-93.
37. Engelbregt HJ, Keeser D, Eijk LV, Suiker EM, Eichhorn D, Karch S, et al. Short and long-term effects of sham-controlled prefrontal EEG-neurofeedback training in healthy subjects. *Neurophysiol Clin.* 2016;127(4):1931-7.
38. Hatfield BD, Hauffler AJ, Hung TM, Spalding TW. Electroencephalographic studies of skilled psychomotor performance. *J Clin Neurophysiol.* 2004;21(3):144-56.
39. Gong A, Nan W, Yin E, Jiang C, Fu Y. Efficacy, trainability and neuroplasticity of SMR vs. alpha rhythm shooting performance neurofeedback training. *Front Hum Neurosci.* 2020;14:94.
40. Xiang MQ, Hou XH, Liao BG, Liao JW, Hu M. The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: a meta-analysis. *J Sport Exerc Psychol.* 2018;36:114-22.
41. Bonnette S, Jed A, Diekfuss DR, Grooms AW, Kiefer MA, Riley CR. Electro-cortical dynamics differentiate athletes exhibiting low- and high-ACL injury risk biomechanics. *Psychophysiology.* 2020;57(4):e13530.
42. Cheng MY, Hung CL, Huang CJ, Chang YK, Lo LC, Shen C, et al. Expert-novice differences in SMR activity during dart throwing. *Biol Psychol.* 2015;110:212-8.
43. Crews DJ, Landers DM. Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(1):116-26.
44. Naito E, Hirose S. Efficient foot motor control by Neymar's brain. *Front Hum Neurosci.* 2014;8:594.
45. Cooke A. Readyng the head and steadyng the heart: a review of cortical and cardiac studies of preparation for action in sport. *Int Rev Sport Exerc Psychol.* 2013;6(1):122-38.
46. Ring C, Cooke A, Kavussanu M, McIntyre D, Masters R. Investigating the efficacy of neurofeedback training for expediting expertise and excellence in sport. *J Sport Exerc Psychol.* 2015;16(1):118-27.
47. Skinner BF. Operant behavior. *Am Psychol.* 1963;18(8):503-15.
48. Sielski R, Rief W, Glombiewski JA. Efficacy of biofeedback in chronic back pain: a meta-analysis. *Int J Behav Med.* (2017);24(1):25-41.
49. McGinnis RA, McGrady A, Cox SA, Grower-Dowling KA. Biofeedback-assisted relaxation in type 2 diabetes. *Diabetes Care.* 2005;28(9):2145-9.
50. Wang SZ, Li S, Xu XY, Lin GP, Shao L, Zhao Y, et al. Effect of slow abdominal breathing combined with biofeedback on blood pressure and heart rate variability in prehypertension. *J Altern Complement Med.* 2010;16(10):1039-45.
51. Dillon A, Kelly M, Robertson IH, Robertson DA. Smartphone applications utilizing biofeedback can aid stress reduction. *Front Psychol.* 2016;7:832.
52. Zhao Z, Yao S, Li K, Sindermann C, Zhou F, Zhao W, et al. Real-time functional connectivity-informed neurofeedback of amygdala-frontal pathways reduces anxiety. *Psychother Psychosom.* 2019;88(1): 5-15.
53. Ros T, Moseley MJ, Bloom PA, Benjamin L, Parkinson LA, Gruzelier JH. Optimizing microsurgical skills with EEG neurofeedback. *BMC Neuroscience.* 2009;10(1):1-10.
54. Thurber MR, Bodenhamer-Davis E, Johnson M, Chesky K, Chandler CK. Effects of heart rate variability coherence biofeedback training and emotional management techniques to decrease music performance anxiety. *Biofeedback.* 2010;38(1):28-40.
55. Larsen S, Bernier F, Boivin E, Morin B, Robillard G. Using biofeedback while immersed in a stressful videogame increases the effectiveness of stress management skills in soldiers. *PLoS One.* 2012;7(4): 1-11.
56. Fernandez i Figueras J. Design of a wearable device to detect the psychological state of an athlete to ensure the best performance: an example in rugby. *Politecnico Di Milano Mechanical Engineering Master's Degree.* Milano: Politecnico Di Milano; 2019.
57. Plews DJ, Laursen PB, Buchheit M. Day-to-day heart-rate variability recordings in world-champion rowers: appreciating unique athlete characteristics. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(5):697-703.
58. Grushkova AI, Isaev AV, Kaminskyc IV, Leonov SV, Polikanovae IS. Modern trends of sport psychology in Russian psychological society. *Papeles del Psicólogo.* 2019;40(1):64-73.
59. Zadhosh SM, Zandi HG, Hemayatlab R. Neurofeedback versus mindfulness on young football players anxiety and performance. *Turk J Kinesiol.* 2018;4(4):132-41.
60. Dupee M, Werthner P. Managing the stress response: the use of biofeedback and neurofeedback with Olympic athletes. *Biofeedback.* 2011;39(3):92-4.
61. Pop-Jordanova N, Demerdzieva A. Biofeedback training for peak performance in sport-case study. *Macedon J Med Sci.* 2010;3(2):113-8.
62. Zaichkowsky LD. Combating stress: what about relaxation training and biofeedback. *Mouvement.* 1975;1:309-12.
63. Wang D. The application of biofeedback technology in men's badminton athlete's psychological training. *J Huzhou Univ.* 2015;(4):10.
64. Issurin VB. Training transfer: scientific background and insights for practical application. *Sports Med.* 2013;43(8):675-94.
65. Edvardsson A, Ivarsson A, Johnson U. Is a cognitive-behavioural biofeedback intervention useful to reduce injury risk in junior football players? *J Sports Sci Med.* 2012;11(2):331-8.
66. Schilaty ND, Bates NA, Krych AJ, Hewett TE. How anterior cruciate ligament injury was averted during knee collapse in a NBA point guard. *Ann Musculoskelet Med.* 2017;1(1):8-12.
67. Firmansah A, Ray HRD. Quantum biofeedback therapy for sport performance. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 2017;180(1):012187.
68. Aras D, Akça F, Akalan C. 50 m sprint yüzmenin 13-14 yaşlarındaki erkek yüzücülerde kalp hızı değişkenliğine etkisi. *Sportmetre BE Spor Bilim Derg.* 2013;11(1):13-8.
69. Usalp S, Kemal HS, Akpinar O, Cerit L, Duygu H. Does protein adding to diet affect sportsmen's cardiovascular system? *Çukurova Med J.* 2020;45(4):1428-35.
70. Eser, C. Yüzey EMG Ölçümleri sırasında kaydedilen MVC (maximum voluntary contraction) ile kuvvet ilişkisinin incelenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Programı Yüksek Lisans Tezi.* Ankara: Hacettepe Üniversitesi; 2018.
71. Altıntaş A, Akalan C. Zihinsel antrenman ve yüksek performans. *Sportmetre BE Spor Bilim Derg.* 2008;6(1):39-43.
72. Aktop A, Seferoğlu F. Sportif performans açısından nöro geri bildirim. *Spor Perf Araş Derg.* 2014; 5(2):23-36.