

Ayna Nöronlar ve Güncel Rehabilitasyon Yaklaşımlarında Kullanımı: Geleneksel Derleme

Mirror Neurons and Usage in Current Rehabilitation Approaches: Traditional Review

^{ID} Melissa KÖPRÜLÜOĞLU^{a,b}, ^{ID} Sümene HAREKET^b, ^{ID} Karya POLAT^b, ^{ID} Derya ÖZER KAYA^{a,b}

^aİzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İzmir, Türkiye

^bİzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon ABD, İzmir, Türkiye

ÖZET Ayna nöronlar, sinir bilimin son dönemlerindeki en önemli keşiflerden biridir. Ayna nöronlar, bir motor eylem gerçekleştirildiğinde, aynı ya da benzer bir motor eylemi gerçekleştiren biri gözlemlendiğinde veya eylem ile ilgili işitsel bilgi alındığında deşarj olan ayırt edici bir nöron sınıfını temsil ederler. Ayna nöronların; gerçekleştirilen eylemi anlama, eylemi öğrenme, kolaylaştırma, taklit etme, empati, zihin okuma, duygu tanıma, niyet okuma, dil edinimi, jest ve mimikler ile iletişim kurma, konuşma algısı ve üretimi, müzik işleme, cinsel yönelim ve estetik deneyim gibi birçok fonksiyonu bulunmaktadır. İnsan sosyal çevre etkileşimi, birçok insan davranışı ve düşünce yapısı üzerine etkileri olan bu nöron gruplarının özellikleri temelinde pek çok rehabilitasyon yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu rehabilitasyon yaklaşımları, güncel tedavi programlarında sıkça tercih edilmektedir. Ayna nöron sisteminin işlevlerine dayanan ayna terapisi, motor imgeleme, eylem gözlem eğitimi, sanal gerçeklik rehabilitasyon yaklaşımları ve müzik terapi gibi farklı tekniklerin kullanılması rehabilitasyon başarısını olumlu yönde etkilemektedir. Bu derlemede, ayna nöronların görevleri ve fonksiyonları, motor öğrenme ile ilişkisi ve hareketin algısal bileşeni üzerine etkileri açıklanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda ayna nöronların keşfi ile birlikte elde edilen bulguların temelini oluşturduğu farklı rehabilitasyon yaklaşımları incelenmiştir. Bu kapsamda ayna terapisi, motor imgeleme, eylem gözlem eğitimi, sanal gerçeklik rehabilitasyon yaklaşımları ve müzik terapi gibi farklı yaklaşımlarının tedavi süreçlerinde kullanımı özetlenmiştir.

ABSTRACT Mirror neurons are one of the most important discoveries in recent neuroscience. Mirror neurons represent a distinctive class of neurons that discharge when performing a motor action, when another individual performing the same or similar motor action is observed or when auditory information about the action is received. Mirror neurons have many functions such as understanding action, facilitating action learning, imitation, empathy, reading mind, emotion recognition, intention reading, language acquisition, communication with gestures and mimics, speech perception and production, music processing, sexual orientation and aesthetic experience. Many rehabilitation approaches have been developed based on the characteristics of these neuron groups, which have effects on human-social environment interaction, many human behaviors, and mentality. These treatment approaches are frequently used in current rehabilitation programs. The use of different techniques such as mirror therapy, motor imagery, action observation training, virtual reality rehabilitation approaches and music therapy, based on the functions of the mirror neuron system positively affects the success of rehabilitation. In this review, the tasks and functions of mirror neurons, their relationship with motor learning and their effects on the perceptual component of movement are explained. In line with this information, different rehabilitation approaches, which are the basis of the findings obtained with the discovery of mirror neurons, were examined. In this context, the use of different approaches such as mirror therapy, motor imagery, action observation training, virtual reality rehabilitation approaches and music therapy in treatment processes are summarized.

Anahtar Kelimeler: Ayna nöron; ayna terapisi; motor imgeleme; eylem gözlem eğitimi; sanal gerçeklik

Keywords: Mirror neuron; mirror therapy; motor imagery; observation training; virtual reality

AYNA NÖRONLAR VE GÖREVLERİ

Ayna nöronlar, sinir bilimin son dönemlerindeki en önemli keşiflerden biridir.¹ Bir motor eylem gerçek-

leştiğinde, aynı veya benzer bir motor eylemi gerçekleştiren başka bir birey gözlemlendiğinde veya eylem ile ilgili işitsel bir uyarı alındığında deşarj olan ayırt edici bir nöron sınıfını temsil ederler.¹ İlk olarak

Correspondence: Karya POLAT

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon ABD, İzmir, Türkiye

E-mail: karia.polat@gmail.com



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences.

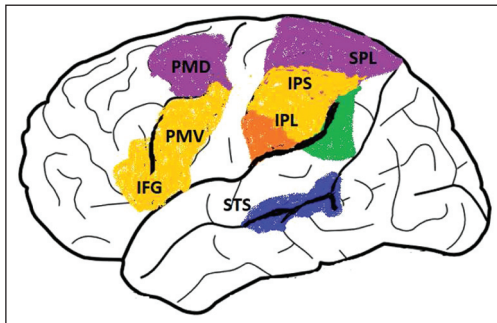
Received: 23 Feb 2022 **Received in revised form:** 06 May 2022 **Accepted:** 12 May 2022 **Available online:** 31 May 2022

2536-4391 / Copyright © 2022 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

maymunların beyinde, özellikle ventral premotor korteksin F5 alanında ve inferior pariyetal lobülde keşfedilmiştir.² İnsanlarda ise premotor kortekste ve inferior pariyetal lobülde ayna nöron aktivitesi ile tutarlı beyin aktivitesi bulunmuştur.³

“Zihin okuyan hücreler” olarak tanımlanan ayna nöronların çeşitli fonksiyonları vardır. Birincil fonksiyonlarının eylemi anlama, eylemi öğrenmeyi kolaylaştırma, taklit ve dil işleme olduğu vurgulanmak ile birlikte somutlaştırılmış simülasyon, empati, duygu tanıma, niyet okuma, dil edinimi, jest ve mimikler ile iletişim, konuşma algısı ve üretimi, müzik işleme, cinsel yönelim ve estetik deneyim gibi durumlar da farklı mekanizmaların işlediği diğer ayna nöron fonksiyonları olarak tanımlanmıştır.¹ Bununla birlikte ayna nöron sisteminin keşfedilen mekanizması rehabilitasyonda kullanılan yaklaşımlar için önemli bir devrim niteliği taşımaktadır.⁴ Ayna nöron mekanizmasının görme, propriyosepsiyon ve motor komutlarla etkileşim içerisinde olduğu, uyarılması ile birlikte kişilerde etkilenen fonksiyonlar için yeniden kortikal organizasyonunun sağlandığı ve fonksiyonel iyileşmenin desteklendiği bildirilmiştir.⁵ Bu hücrelerin bir diğer önemli özelliği, etkinliklerinin, gözlemlenen eylemin kesin zamanlaması ile sıkı bir şekilde ilişkili görünmemesidir. Hedefe ulaşılmadan önce pariyetal ayna nöronların belirli bir kısmı aktive edilir.⁶ Şekil 1’de farklı motor eylemlere yanıt veren parietofrontal ayna nöron sistemi ile ilgili kortikal alanlar gösterilmiştir.

Bu derlemede, ayna nöronların hareketin algısal boyutu ve motor öğrenme üzerindeki etkileri özetlenecektir. Bununla birlikte ayna nöronların keşfedilen fonksiyonları çerçevesinde literatüre kazandırılan ayna tedavisi, motor imgeleme, eylem gözlem eği-



ŞEKİL 1: Parietofrontal ayna nöron sistemi ile ilişkili kortikal alanlar.⁷³

timi, sanal gerçeklik rehabilitasyon yaklaşımları (SGRY) ve müzik terapi başlıkları altında rehabilitasyon programlarında sıklıkla kullanılan tedavi yaklaşımlarına yer verilecektir.

AYNA NÖRONLAR VE HAREKETİN ALGISAL KOMPONENTİ

İnsanlarda ayna nöronların bilinen ilk fonksiyonuna bakıldığında, başkaları tarafından gerçekleştirilen eylemleri tanımak olduğu görülmektedir. Ayna nöronların bu fonksiyonu literatürde transkraniyal manyetik stimülasyon (TMS) çalışmaları ile ortaya koyulmuştur. Sağlıklı erişkinlerde, başkalarının gerçekleştirdiği motor davranışlarının gözlemlenmesi, gözlemcide net bir motor aktivite açığa çıkarmamaktadır. Bununla birlikte TMS’yi birincil motor kortekse uygulayarak eylem gözlemi ile ilişkili bir bilinçaltı motor aktivasyonu keşfedilmiş ve bunun, aynı zamanda gözlemlenen motor davranış ile uyarılmış motor çıktı arasında güçlü bir uyum gösterdiği sonucuna varılmıştır.⁷ Literatürdeki diğer çalışmalar ile örneklendirecek olursak bir TMS çalışmasında katılımcılar, kavrama eylemlerinin, amaca yönelik olmayan hareketlerin ve statik nesnelerin gözlemlenmesi sırasında bir uyarılmaya (sol motor korteks uyarılabilirliğinin artmasıyla) tabi tutulmuştur.⁸ El kaslarının amaca yönelik olmayan hareketlerin gözlemlenmesi sırasında da aktive olması ile birlikte kavrama hareketinin gözleminde daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın en önemli çıktısı, eylemin gözlemlendiği kaslarda bir aktivasyonun mevcut olmasıdır. Üst ekstremitelerde aplazisi olan hastalarda fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ile yapılan başka bir çalışmada ise ellerini hiç kullanmayan katılımcılar incelenmiştir. Katılımcıların ayna nöronlarının kavrama eylemi gözlemi sırasında aynı amaca sahip, ağızları veya ayakları ile gerçekleştirilen eylemlerle aynı ölçüde aktive olduğu görülmüştür.⁹ Her iki örnekte de görülmektedir ki ayna nöronlar, hareketin gerçekleştirilmesinin yanında gözlemlenmesi sırasında da aktive olmakta, eylemi temsil eden ayna nöronları etkinleştirmekte ve görsel gözlemi bilgiye dönüştürme yoluyla eylemlerin tanımlanmasını sağlamaktadır. Motor hareketin gözlem sırasında ayna nöron mekanizması aracılığıyla oluşan taklidi, hareketin algısı ve öğrenilmesi sürecinde etkin rol oynar.

Ayna nöronların fonksiyonları ile eylem içerisindeki niyetin ve amacın yorumlanması arasındaki ilişki literatürde incelenen konular arasında yerini almıştır. Bir çalışmada, 3 farklı uyaran kullanılarak kortikal aktivasyon incelenmiştir. Kullanılan uyarılar; bağlam olmadan kavrama, yalnızca bağlam (nesneleri içeren sahneler) içerikli kavrama ve iki farklı bağlamda (içme ve temizlik) gerçekleştirilen kavrama eylemleridir.¹⁰ İkinci durumda bağlamın, kavrama eylemi ile (içme veya temizlik) bağlantı izlenimi uyandırdığı gözlenmiştir. Diğer 2 koşuldaki eylemlerden farklı olarak, bağlamın içerisindeki eylemlerin ise alt frontal girusun posteriorunda ve el ile ilgili eylemlerinin temsil edildiği ventral premotor korteksin ilgili bölümünde sinyal yoğunlaşması oluşturduğu bulunmuştur. Sonuç olarak premotor ayna nöron alanlarının başkalarının eylemlerinin niyetlerini anlamada rol oynadığını raporlanmıştır.¹⁰ Bu noktada ayna nöron mekanizmasının yalnızca motor hareketin gerçekleştirme sürecinde değil, bunun yanında hareketin amacının da içerisinde bulunduğu algısal boyutta da aktif olduğu bir gerçektir.

AYNA NÖRONLARIN MOTOR ÖĞRENME İLE İLİŞKİSİ

Motor öğrenme, bireyin yeni motor yeteneklerde yetkinlik kazanabileceği uygulama ile bağlantılı bir dizi süreçtir.¹¹ Ayna nöron sisteminin motor öğrenmeyi içeren yeni becerilerin kazanılmasında rol oynadığını öne sürülmektedir. Molenberghs ve ark.nın gerçekleştirdiği fMRI çalışmasında, araştırmacılar, hiç gitar çalmamış kişileri çalışmaya dâhil etmiştir. Katılımcılar, bazı akorları çalan bir öğretmenin videosunu izlemiş ve ardından, akorları yeniden üretmeleri istenmiştir. Kontrol durumları (a) akorları üretmeden videoyu gözlemek, (b) akorları kendiliğinden çalmak, (c) taklit etmeden önce videoyu yalnızca gitarla gözlemek ve (d) akor gözlemi sonrası müzikle ilgili olmayan hareketleri gerçekleştirmek olarak belirlenmiştir. Video sonrasındaki taklidin, ayna nöronları en çok aktifleştiren durum olduğu ve gözlemi takip etmeyen taklidin ayna nöronları daha az aktifleştirdiği bulunmuştur.¹² Bu çalışmaya göre taklit temelli motor öğrenmede, fiziksel uygulama yerine ayna nöronların aktifleşmesi ile de oluşabileceği ve desteklenebileceği görülmektedir.

“Simülasyon teorisine” göre hareketin gözlemlenmesi, gerçekten meydana getirilen bir hareket ile aynı nöronal ağı aktive eden ve motor nöron ağını oluşturan nöronların bilinçaltında kolaylaştırılmasını sağlayan “gizli motor hareket” olarak tanımlanır.¹³ Ayna nöron aktivasyonu olarak tanımlanan bu kavram ve davranış üzerindeki sonuçları, ayna nöronlar ile ilişkili bir patolojisi olmayan insanlarda bir başka insanın davranışlarını anlama ve tahmin etme yeteneği olan “zihin okuma” ile eş değer olarak kabul edilmektedir. Zihin okuma için açıklamalardan biri, gözlemi yapılan hareketin zihinsel aktivitesini kopyalama ve simüle etme girişimini temsil etmesidir.¹⁴ TMS çalışmaları, göreve özgü bir şekilde motor hareketin doğrudan gerçekleştirilmesi ve ayna gözlemi sırasında primer motor kortekste ve kortikospinal yolun aktivasyonunda bir artış olduğunu bildirmiştir.^{15,16} “Sosyal” işlevinin yanı sıra eylem gözlemi aynı zamanda eylemin “teknik” içeriğini bunun nasıl tekrarlanacağını öğrenmenin sonucu olarak simüle etmeye tekabül eder ve nöral adaptasyon sürecini kapsayan bu mekanizma motor öğrenmenin temelini oluşturur.¹³

Son yıllarda ayna nöron motor öğrenme ilişkisi temelinde öğrenmenin ayna nöronların gelişiminde etkili olduğuna dair kanıtlar artmaktadır.¹⁷ Örneğin piyanist ve dansçılarda yapılmış çalışmalarda, yalnızca motor öğrenmenin ayna nöronların özelliklerini değiştirmek için yeterli olmadığı düşünülse de müzikal ve dans performansı gözlemi sırasında bu alanlarda uzmanlığı olmayan kişilere göre beyindeki ayna nöron temsillerinde daha fazla aktivasyon bildirilmiştir.^{18,19}

REHABİLİTASYONDA AYNA NÖRONLAR

Hareketin taklidi, motor hareketin gözlemsel sürecini de kapsayan farklı adımlarda, aşama aşama bütüne ilerleyen karmaşık bir bilişsel fonksiyon sürecine ihtiyaç duymaktadır.²⁰ Bu noktada yukarıda fonksiyonlarından bahsedilen ayna nöronların görevi büyüktür. Ayna nöron sistemini etkileyen patolojiler, sistemin aktivasyonu üzerinde bozukluklara sebep olmakta ve beraberinde klinik semptomların tetiklenmesine yol açmaktadır.²¹

Ayna nöron ağı ile ilgili güncellemeler; özellikle nörodejenaratif hastalıkların klinik semptomlarının yorumlanması, semptomların ilerlemesi ve farklı sorunların açığa çıkması için olası ko-

runma mekanizmaları ve hastalıkların tedavi süreci gibi konularda rehabilitasyon yaklaşımlarının geliştirilmesi için mevcut uygulamaların iyileştirilmesine ve nörofizyolojik temellere dayalı yenilerinin geliştirilmesine rehberlik etmiştir.²¹ Nörodejenaratif hastalıkların klinik semptomlarının ortaya çıkmasında rolü olan ayna nöronların, aktivasyonu ile ilgili değişimlerin farklılık gösterdiği bilinmektedir.²¹ Örneğin Parkinson hastalığında ventrolateral premotor kortekste ayna nöron ağında hiperaktivasyon görüldüğü ancak inferior pariyetal lobülde ve inferior frontal girusta daha düşük aktivasyon gözlemlendiği raporlanmıştır.^{22,23} Bununla birlikte otizm spektrum bozukluğu olan bireylerde farklı yaş gruplarında aktivasyon ile ilgili farklı durumların görüldüğü, dolayısıyla disfonksiyonel bir aktivasyon meydana geldiği bildirilmiştir.^{24,25}

Hareketin yapısı temel alınarak rehabilitasyon içerisinde ayna nöronların aktive edilmesi yoluyla iyileşmeyi uyaran tedaviler kullanılmıştır. Örneğin hemipleji hastalarının rehabilitasyon sürecinde ipsilezyonel motor korteksin iyileşmesini artırmak için nöroplastisite temelli fizyoterapi yaklaşımlarına ek olarak ayna nöron sistemini aktive edecek yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır.⁵ Bununla birlikte özellikle yaralanma sonrası koşullar söz konusu olduğunda, aktif egzersiz her zaman mümkün değildir. Ayna mekanizması, gerçek hareketin mümkün olmadığı durumlarda bile nöral motor programını yeniden üretmenin uygun bir yolunu temsil eder.²⁶ Derlemenin ilerleyen kısımlarında rehabilitasyonda kullanılan tedavi yaklaşımlarının iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için mekanizması ayna nöron sistemine dayanan rehabilitasyon yaklaşımlarından bahsedilecek ve bu yaklaşımların hastalıklar üzerindeki etkileri ile ilgili araştırmalar özetlenecektir.

AYNA TERAPİSİ

Ayna terapisi, ilk olarak 1995 yılında Ramachandran ve ark. tarafından ampute kişilerde fantom ağrısı tedavisinde kullanılmıştır.²⁷ İlerleyen yıllarda ağrı, fibromiyalji, inme gibi farklı hastalıklarda yapılan araştırmalarda kullanılan yöntemlerin arasında yer alan bu tedavi yaklaşımının klinik etkisinin, gerçek ve yansıtılmış görsel geri bildirim arasındaki benzerliğin en az olduğu hastalarda en belirgin görüldüğüne dair kanıtlar mevcuttur.²⁸ Ayrıca ayna terapisinin

motor bozukluklara ek olarak, duyular, görsel-uzaysal ihmal ve inme sonrası ağrı üzerinde de olumlu etkileri olduğu gösterilmiştir.²⁹

Ayna terapisi, hareket yeteneğine sahip etkilenmemiş bir ekstremitenin ayna üzerindeki yansımalarının (görsel girdi) etkilenen ekstremitede hareket yansımaları yaratarak kişide algısal bir değişiklik oluşturulması temeline dayanan bir tür rehabilitasyon yaklaşımıdır. Üst veya alt ekstremiteler için kullanılabilen bu yaklaşımda, ekstremiteler arasına bir ayna yerleştirilir. Etkilenmiş ekstremitenin arka kısmına ve etkilenmemiş ekstremitenin ön kısmına yerleştirilir ve hastanın görme alanının içerisine dâhil edilir. Sonuçta hasta etkilenmiş ekstremitesi yerine etkilenmemiş ekstremitesinin görsel girdisini alır ve bir hareket algısı oluşturulur.³⁰

Ayna terapisinin mekanizmasını ayna nöronların nörofizyolojisi ile netleştirmeye çalışan pek çok çalışma olsa da etki mekanizması tam olarak aydınlatılamamıştır.²⁹ Bir hareketin gözlemlenmesi ve bu gözlemlenen hareketin gerçekleşmesinde benzer motor sahaların aktive olduğuna dair literatürde önemli bulgular mevcuttur.³¹ Hareketin bu yol ile yansıtılması, algılanan ekstremitenin lateralizasyonuna kontralateral hemisferde ek bir uyarılmaya sebep olmakta ve ayna yansımaları kortiko-musküler uyarlabilirliğini artırabilmektedir.^{32,33}

Rehabilitasyonda, ayna terapisi ile etkilenen ekstremiteden istenilen yanıtı almak için somatosensöriyel uyarandan ziyade görsel uyarın ön plandadır. Bu sebeple tamamen paratik olan, istemli hareketin gözlenmediği hastalarda dahi kullanılabilir.²³ Ayna terapisinin geliştirildiği fantom ağrısında bu yöntemi uygulamadaki amaç, ilgili kortikal duyu ve motor sahalarında iz düşümün yeniden yapılandırılması ve böylece duyu girdinin olmamasından kaynaklı ağrının azaltılmasıdır.³² Literatürdeki diğer çalışmaların bir kısmı **Tablo 1**'de özetlenmiştir. Özellikle fantom ağrısı üzerine yapılan çalışmalar ayna terapisinin kronik fantom ağrısı ve yaşam kalitesi üzerine etkin olduğuna dair kanıt sağlarken farklı hasta gruplarında da öz yeterlilik, fiziksel ve psikososyal parametreler, ödem, ağrı, fonksiyonel bağımsızlık, denge, fonksiyonel kapasite gibi sonuç ölçütlerinde anlamlı iyileşmeler bildirilmiştir.³⁴⁻³⁷

TABLO 1: Ayna nöron sistemi temelli rehabilitasyon yaklaşımları ile ilgili güncel literatür örnekleri.

Uygulama yöntemi	Yazar/yıl	Araştırma tipi	Hasta grubu/ömeklem	Sonuç ölçütleri	Uygulamalar	Sonuçlar
Ayna terapisi	Rothgangel ve ark. ³⁴ /2018	Randomize kontrollü çalışma	Kronik fanatom ekstremitte ağrısı *Atririlmiş geçişlik ve ayna terapi (Grup A) 26 kişi *Ayna terapi (Grup B) 25 kişi *Ev programı (Grup C) 24 kişi	Nümetik ağrı skalası Nöropatik Ağrı Semptom Ölçeği Alman Versiyonu Hasta-Spesifik Fonksiyonel Skala Alman Versiyonu 5 boyutlu EuroQol/Alman Versiyonu Vizüel Analog Skalası Global Algılanan Etki Skalası Ağrı Özyeterlilik Skalası Alman Versiyonu	A ve B grupları ilk 4 hafta geleneksel ayna tedavisi (30 dk) C grubu sensörömotor egzersizler (30 dk) A grubuna sonraki 6 hafta terapi kullanılarak tele-tedavi ile ayna kullanılmadan yapılan sensörömotor egzersizlerden daha etkili olduğu bulunmuştur. Fanatom ağrısının azalmasında en etkili grubun artırılmış geçişlik ve ayna terapisi tedavisinin olduğu gösterilmiştir.	Dört haftalık geleneksel ayna tedavisinin, bazı alt gruplarda önemli etkiler göstermiş olmasına rağmen fanatom ağrısını azaltmada ayna kullanılmadan yapılan sensörömotor egzersizlerden daha etkili olduğu bulunmuştur. Fanatom ağrısının azalmasında en etkili grubun artırılmış geçişlik ve ayna terapisi tedavisinin olduğu gösterilmiştir.
Ayna terapisi	Barth ve ark. ³⁵ /2020	Deneyysel retrospektif araştırma	Fasiyal paralizisi *15 ayna kitap terapisi *10 standart fizyoterapi	Summybrook fasiyal değerlendirme sistemi Fasiyal Disabilitte Ölçeği Fiziksel ve Sosyal İndeksi	Hasanın yüzünün ektilenmiş tarafi ile ektilenmemiş tarafi arasında ayna yerleştirilerek Ayna kitap tedavisi grubu 2-19 seans arası tedavi Standart fizyoterapi grubu 2-22 seans arası tedavi	İki grupta da tedavi öncesi göre iyileşme bulunmuştur. Her değişken için ayna kitap terapisi grubu daha fazla iyileşme göstermiştir.
Ayna terapisi	Saha ve ark. ³⁶ /2021	Randomize kontrollü çalışma	İnme sonrası omuz-el sendromu *15 kişi kontrol grubu *15 kişi deney grubu	8 şekilli ödem ölçüm yöntemi Nümetik ağrı skoru Fonksiyonel Bağımsızlık Ölçeği	Gruplar (fizyoterapi gözetiminde) 4 hafta haftada 5 gün, günde 30 dk inme rehabilitasyonu Kontrol grubu sadece inme rehabilitasyonu Deney grubu inme rehabilitasyonunu ayna karşısında	Tedavi öncesine göre tüm değişkenlerde 2 grupta da anlamlı iyileşmeler tespit edilmiştir. Bununla birlikte tüm değişkenlerde deney grubunda kontrol grubuna göre daha anlamlı iyileşme tespit edilmiştir.
Ayna terapisi	Kim ve ark. ³⁷ /2021	Deneyysel araştırma	Kronik inme *20 kişi ayna tedavisi ve fonksiyonel elektrik stimülasyonu *20 kişi ayna tedavisi *20 kişi konservatif tedavi	Bioriscue Berg denge ölçeği fonksiyonel uzama testi 10 m yürüme testi	Gruplar 8 hafta, haftada 5 gün, günde 30 dk konservatif tedavi Ek olarak; *Ayna tedavisi ve fonksiyonel elektrik stimülasyonu grubunda ayna terapi ve eş zamanlı fonksiyonel elektrik stimülasyonu (günde 30 dk, haftada 5 gün, 8 hafta) *Ayna tedavisi grubunda sadece ayna terapisi (Günde 30 dk, haftada 5 gün, 8 hafta) *Konservatif tedavi grubuna nörorehabilitasyon fizyoterapi ve konservatif tedavi gibi tedaviler günde 2 kez	Her grupta denge, yürüme hız, skorlarında bir artış gözlemlenen en anlamlı artış ayna tedavisi ve fonksiyonel elektrik stimülasyonunun birlikte kullanıldığı grupta görülmüştür.
Motor imgeleme	Moukherzel ve ark. ³⁸ /2019	Randomize kontrollü çalışma	Total diz artroplastisi uygulanan hastalar 10 hasta Ml grubu 10 hasta kontrol grubu	Horizontal Vizüel Analog Skala Gonyometre El dinamometresi Zamanlı kalk yürü testi Diz çevresi ölçümleri standart mezura	Gruplar 4 hafta, haftada 3 seans, 1 saatlik fizik tedavi seansı Ek olarak; Ml grubuna 15 dk imgeleme egzersizleri (Eğitim: 3 set olarak uygulanan egzersizler, ilk 2 seti sırtüstü pozisyonda diz "flexion" ve "extension" imgeleme içerenken, son set diz 90° fleksiyon pozisyonunda konsentrik, eksantrik ve izometrik kontraksiyonları birleştiren 5 kinestetik imgeleme egzersizini içermiştir.)	Ml grubunda, kontrol grubuna kıyasla ipsilateral diz çevresinde ağrı daha büyük bir azalma ve ipsilateral kuadriceps kuvvetinde artış görülmüştür.
Motor imgeleme	Wang ve ark. ³⁹ /2020	Randomize kontrollü çalışma	İnme 17 motor imgeleme grubu 17 kontrol grubu	Fugh-Meyer Değerlendirmesi Üst Ekstremitte Alt Ölçeği Modifiye Barthel İndeksi fMRI	Her iki gruba da 4 hafta, haftada 5 gün, günde 3 saat konvansiyonel rehabilitasyon Ek olarak; Motor imgeleme grubu: Konvansiyonel rehabilitasyon sonrası 30 dk motor imgeleme eğitimi Kontrol grubu: İhme bilgilerine ilişkin sağlık eğitimi	Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, motor imgeleme grubunda Fugh-Meyer Değerlendirmesi Üst Ekstremitte Alt Ölçeği de daha fazla gelişme ve ipsilezyonal alt pariyetal lobülide yavaş-5 barındaki düşük frekanslı dalgalanmalarda artış gözlemlenmiştir. Ayrıca motor imgelemenin rehabilitasyon etkinliği beyinde değişen fonksiyonel bağlantı ile ilişkilendirilmiştir.
Motor imgeleme	Dello Iacono ve ark. ⁴⁰ /2021	Randomize kontrollü çalışma	Profesyonel basketbol oyuncular 10 kişi %85 1RM (bir maksimum tekrarı) Ml grubu 10 kişi optimum yük Ml grubu 10 kişi kontrol grubu	Vertikal ziplama countermovement jump testi ile atış kapasitesi Olurarak top fırlatma testi	Tüm gruplara 6 hafta, haftada 2 defa yüksek yoğunluklu koşu seansını Ek olarak; Ml grupları haftada 3 defa bir maksimum tekrarı %85 inde ya da optimal yük olacak şekilde "back squat" ve "bench press" egzersizleriyle motor imgeleme eğitimi 1. haftanın ilk oturumunda 18 tekrardan 6. haftanın son oturumunda 32 tekrara artan eğitim hacmi	Fiziksel performans, her iki Ml protokolünde de önemli ölçüde iyileşme sağlanmış, ancak müdahale öncesi ile karşılaştırıldığında kontrol grubunda azalmıştır. %85 1RM Ml grubu, maksimum güç ölçümleri ve alt ekstremitte gücü ölçümlerinde optimal yük Ml grubundan daha büyük kazanç sağlanmıştır.

→ devam

TABLO 1: Ayna nöron sistemi temelli rehabilitasyon yaklaşımları ile ilgili güncel literatür örnekleri (devamı).

Uygulama yöntemi	Yazar/yılı	Araştırma tipi	Hasta grubu/örneklem	Sonuç ölçütleri	Uygulamalar	Sonuçlar
Eylem gözlem eğitimi	Rocca ve ark. ⁶¹ /2019	Randomize kontrollü çalışma	Multiple sklerozis *46 sağlıklı kontrol (23'ü eylem gözlem eğitimi, 23'ü kontrol) *41 multiple sklerozis (20'si eylem gözlem eğitimi, 21'i kontrol)	EDSS, Jamar ve Pinch dnamometre Fonksiyonel Başlangıç Ölçeği İlişki modalitele adaptatörünün dizinsel toplama testi (MRI)	2 hafta boyunca; her bir denek, üst kol rehabilitasyonu (40 dk) Multiple sklerozis hastalarına ayrıca üst ekstremite bozukluğuna özgü olmayan standart fizyoterapi (40 dk) (Eğitim, 10 dk'lık sağ üst ekstremite pasif mobilizasyonu, 3 videonun izlenmesi ve sağ el günlük yaşam aktivitelerinin yürütülmesinden oluştu.) Eylem gözlem eğitimi grubu: Günlük hayatta sağ el ve kol hareketlerini içeren video dizilerini Kontrol grubu: Cansız manzara'nın videoları dizileri Tedavi 10 seans 2 hafta devam etti.	10 günlük bir eğitimin multiple sklerozis hastalarında, özellikle gözlem eğitimi grubunda motor becerisini ve kuvvetini geliştirdiği ve bu etkinin, motor ve ayna nöron sistemi ağrısının bir parçası olan bölgelerin ve bunların bağlantı yollarının yapı ve işlevindeki değişikliklerle ilişkili olduğu belirtilmiştir.
Eylem gözlem eğitimi	Chisari ve ark. ⁶² /2019	Vaka serisi	Pediyatrik santral sinir sistemi tümörü 4 hasta	Fugl-Meyer değerlendirme Wolf motor fonksiyon testi Abillhand Anketi	Haftada 5 gün 4 hafta rehabilitasyon 3 dk hareketin video aracılığı ile gözlenmesi + 3 dk gözlenen hareketin tekrarlama	Tüm değerlendirme yöntemlerinde iyileşmeler saptandı.
Eylem gözlem eğitimi	Öztürk ve ark. ⁶³ /2021	Randomize kontrollü çalışma	Diz osteoartriti kaynaklı kronik ağrı olan hastalar *18 tedavi grubu *18 kontrol grubu	Vizuel Analog Skalası Başlangıç ağrı eşği Tampa kinazyoloji anketi Western Ontario and McMaster Universities Osteoartriti İndeksi Ağrıyı Felaketeleştirme Ölçeği	Tedavi grubu: 6 hafta haftada 3 gün günde 45 dk egzersiz tedavisi + her seans öncesinde 15 dk eylem gözlem eğitimi (Hastalardan her eylem gözlem eğitimi seansı sırasında, tedavi grubundaki katılımcılardan farklı aktiviteler gerçekleştirilmiştir sağlıklı bir gönüllü ile kaydedilen video izlemeleri istendi. Video içeriği yürüme, çömelme, sandalyeden ayağa kalkmak vb.) (Hastaların videoyu izlerken ya da izledikten sonra hareketleri yapmalarını istendi) Kontrol grubu: 6 hafta, haftada 3 günde 45 dk egzersiz tedavisi	Tedavi sonrasında 2 grupta da tüm değişkenler için iyileşme gözlemlenen 2 grup arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.
Müzik terapi	Leonard ve ark. ⁷⁰ /2019	Randomize kontrollü çalışma	Total diz artroplastisi uygulanan hastalar 16 kontrol grubu 16 müdahale grubu	Nümerik Ağrı Skalası Gözlemlenen ağrı; kısmi analjik video kayıtları ile Pedal turları için görsel kodlama; tam analjik video kayıtları	Müdahale grubu: Alt ekstremite 5 dk pedal çevirme egzersizi Müziksiz başlangıç (1 dk), 1. çalışma aralığı (müzikli 2 dk), 2. çalışma aralığı (müziksiz 2 dk) Kontrol grubu: Alt ekstremite 5 dk pedal çevirme egzersizi Çalışma aralıkları müziksiz	Alt ekstremite eklem hareketi egzersizleri sırasında gözlemlenen ağrı üzerinde canlı müzik tedavisinin önemi rol oynadığı bildirilmiştir. Müzikli 1. çalışma aralığı sırasında, müdahale grubunun kontrol grubuna kıyasla gözlemlenen ağrı bakımından daha az ağrı davranışı sergilediği kaydedilmiştir.
Müzik terapi	Cutrufelbo ve ark. ⁷¹ /2019	Randomize kontrollü çalışma	15 sağlıklı üniversite öğrencisi 8 erkek 7 kadın	Bench press probolüü Wingate anaerobik testi	"Bench press" maksimum tekrar sayısı elde etmek için bir maksimum tekrarı %70'i kullanılarak 5 set 10 dk'lık dinlenme 30 sn'lik Wingate anaerobik testi Yapılan testler rasgele sırayla müzikli ve müziksiz olmak üzere 2 denemeden oluşmuştur.	Müzikle eğitime, toplam işte, nispi lepe gücünde, "bench press" tekrar sayısında önemli bir artış elde edilmiştir. Kendi seçtiği müziği dinlemek kişinin, "bench press" ve Wingate anaerobik test sırasında egzersiz performansını iyileştirmiştir.
Müzik terapi	Impellizzeri ve ark. ⁶⁹ /2020	Randomize kontrollü çalışma	Multiple sklerozis 15 kontrol grubu 15 deney grubu	Multipl Skleroz Yaşam Kalitesi Ölçeği-54 Beck Depresyon Envanteri Duygu Farkındalığı Anketi Mclelland motivasyon faktörleri Dikkat, onaylanma, uzamsal yetenekler, hafıza, di; seçici hatırlama, uzun süreli geri gelime, 10/36 uzamsal geri çağırma testi gibi nöropsikolojik test dizisi	Kontrol grubu: 8 hafta, haftada 6 gün, günde yaklaşık 60 dk konvansiyonel bilişsel rehabilitasyon (48 seans) Deney grubu: 8 hafta, haftada 6 gün, günde yaklaşık 60 dk konvansiyonel bilişsel rehabilitasyon ve nörolojik müzik terapi (48 seans) (Nörolojik müzik terapi; ilişkisel ruh hali ve hafıza eğitimi, psiko sosyal eğitim ve dansımanlıkta müzik olmak üzere 2 NMT tekrardan oluştu.)	Deney grubunda hastalar, uygulamaları sonucunda kişisel olarak daha kabul hissettiklerini, grubun geri kalanına bağlı oldukları için bu "müzikal" gruptan hoşlandıklarını ve bu gruba ait olmak istediklerini belirtmişlerdir. Bununla birlikte deney grubunda kontrol grubuna göre seçici hatırlama testi uzun süreli depolama, uzun süreli geri çağırma ve 10/36 uzamsal geri çağırma testinin geçkimele hatırlama ile ilgili olarak bilişsel işlevde daha iyi sonuçlar elde etmişler. Ayrıca duygusal durum, motivasyon, ruh hali ve yaşam kalitesindeki iyileşme deney grubunda daha belirgin olarak kaydedilmiştir.
Müzik terapi	Wang ve ark. ⁷² /2021	Randomize kontrollü çalışma	İnme 30 kontrol grubu 30 çalışma grubu	Fugl-Meyer Değerlendirme Ölçeği Berg Dengge Skalası "FreeStep" yürüyüş analizi	Gruplara 4 hafta, geleneksel ilaç tedavisi, pazar günü dışında her gün 1 defa, 40 dk olacak şekilde rehabilitasyon programı Kontrol grubu: Rutin yürüme eğitimi (doğru postüre, adım adım, pasiften aktifte doğru düz bir çizgide yürüme) Çalışma grubu: Metronomla yürüme eğitimi Günde 3 kez birer saat 1. uygulama: Metronom, hastanın yürüme hızıyla koordine 2. uygulama: Hastanın yürüme hızını metronoma göre ayarlaması 3. uygulama: Metronom tekrar yürüme hızıyla koordine	Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, çalışma grubundaki hastaların adım uzunluğu, kadans ve maksimum hızlarının tedavinin 2. haftasında ve tedavinin sonunda anlamlı olarak daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Ayrıca çalışma grubunda hastaların eklenen taraf ile sağlıklı taraf arasındaki adım uzunluğu farkının anlamlı olarak azaldığı, diğer ölçümlerinde de anlamlı olarak iyileşme görüldüğü bildirilmiştir.

fMRI: Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme; NMT: Nörolojik müzik terapi; MI: Motor imgeleme; RM: Maksimum tekrar; EDSS: Genişletilmiş özürülük durum ölçeği.

MOTOR İMGELEME

Motor imgeleme, herhangi bir motor çıktı olmadan motor görevin zihinsel olarak yürütülmesidir.³⁸ Bilişsel, duyuşsal ve algısal süreçleri içeren bu eylemler, santral sinir sisteminden çalışma belleği düzeyinde etkinleştirilir. Bu şekilde, belirli bir eylemin zihinsel simülasyonu yaratılır. Çeşitli araştırmaların yer aldığı bir metaanalizde motor imgelemenin gerçek bir hareketi programlama ve hazırlamada kullanılan diğer yöntemlerle benzer çerçeveler paylaştığını göstermektedir.³⁹ Ayna nöronlar, motor imgeleme sırasında aktif hâle gelmekte ve motor imgeleme ile oluşan nöroplastik değişikliklerde anahtar rol oynayarak motor öğrenmeye katkı sağlamaktadır.³⁸

Motor imgeleme, kinestetik ve görsel olmak üzere 2 ayrı başlıkta incelenmektedir. Kinestetik motor imgeleme, kas veya eklem hislerinin simülasyonunu gerektirirken; görsel motor imgeleme, kişinin vücut hareketlerini zihinsel olarak görselleştirmesini içermektedir.⁴⁰ Rehabilitasyonda kullanım amacı istemli motor işlevin iyileşmesini sağlamaktır. Uygulamanın önemli koşulu eylemlerin 3. şahıs perspektifinden görsel eylem imgeleminden ziyade, hareket etmenin nasıl hissettirdiği açısından 1. şahıs perspektifinden hayal edildiği kinestetik motor görüntülemidir. Kinestetik motor görüntülerle ilişkili sinirsel aktivite, paryetal korteks, somatosensöriyel korteks, frontal motor alanlar, dorsolateral prefrontal korteks, superior temporal girus, anterior singulat korteks, bazal ganglion ve serebellumu içermektedir. Böylelikle hareket, gözlem ve uygulama ile kısmen uyumlu olan ve ayna nöron sistemini içeren motor sistemine dağıtılmış erişim sağlamaktadır.⁴¹

Motor imgeleme eğitimi “zihinsel pratik” adı verilen, sahnelerin veya görevlerin istemli olarak yeniden yaratılması, motor performansı artırabileceği görüşü ile birçok hastalığın tedavisinde kullanılan rehabilitasyon yaklaşımları arasında yerini almıştır.⁴² Özellikle hareketin gerçekleşmesini gerektirmediği için fiziksel fonksiyon yetersizliği olan hastalarda motor imgeleme, hareket odaklı tedaviye geçiş görevi üstlenerek avantaj sağlamaktadır.⁴³ Konvansiyonel fizyoterapi yöntemleri ile birlikte kullanıldığında motor imgeleme, motor fonksiyonu eski hâline getirmek için inme hastalarında, total diz protezinde, nö-

ropatik ağrıda, yutma bozukluklarında, Parkinson hastalarında, periferik yaralanmalarda, tendon yaralanmalarında, omuz impingement sendromunda ağrı azaltılması ve hareket kazanımında kullanıldığı gibi sporcularda da fonksiyonel rehabilitasyon içerisinde fiziksel gücü ve motor becerileri geliştirmek için kullanılan eğitimler arasındadır.⁴⁴⁻⁴⁷ Literatürdeki bazı çalışmalar **Tablo 1**'de özetlenmiştir. Çalışmaların sonuçları arasında farklı hasta gruplarında diz ağrısı, kuadriseps kas kuvveti, üst ekstremit motor fonksiyonu, günlük yaşam aktivitelerinde bağımsızlık düzeyi, vertikal sıçrama, atış kapasitesi gibi sonuç ölçütleri üzerinde motor imgeleme eğitiminin olumlu ve anlamlı sonuçlar sağladığına dair bulgular yer almaktadır.⁴⁸⁻⁵⁰

EYLEM GÖZLEM EĞİTİMİ

Eylem gözlem eğitimi, taklit etme amacıyla anlamlı eylemin gözlenmesinden ve sonrasında bu eylemin gerçekleşmesinden oluşmaktadır.⁵¹ Bu eğitim, hedefe yönelik eylemin gözlenmesinin ve gözlemlenen eylemin fiziksel uygulamasını ayna nöron sistemi olarak adlandırılan nöral mekanizmayı harekete geçirdiğine dair nörofizyolojik bilgiye dayanmaktadır.⁵¹ Ayna nöronların bu fonksiyonu ile eylem gözlemi sırasında eylemin aksiyon aşamasında yer alan sinirsel yapılar, gözlemcinin nöral sisteminde eylemi gerçekten gerçekleştirmiş gibi görevlendirilmektedir. Eylem gözleminin, motor becerilerin öğrenilmesi veya geliştirilmesi için etkili bir yol olduğu belirtilmiş, sağlıklı erişkinlerde ve inme hastalarında motor öğrenmeyi ve motor belleğin oluşturulmasını kolaylaştırdığı gösterilmiştir.^{52,53} Literatürdeki farklı hasta gruplarıyla yapılmış çalışmaların bir kısmı **Tablo 1**'de özetlenmiştir. Özetlenen bu çalışmaların sonuçları, eylem gözlem eğitiminin ağrı şiddeti, ağrı eşiği, ağrı felaketleştirme düzeyi, kinezyofobi, fonksiyonel ve motor beceri, kuvvet gibi önemli parametrelerde olumlu iyileşmeler sağladığına dair kanıt sunmaktadır.⁵⁴⁻⁵⁶

SGRY

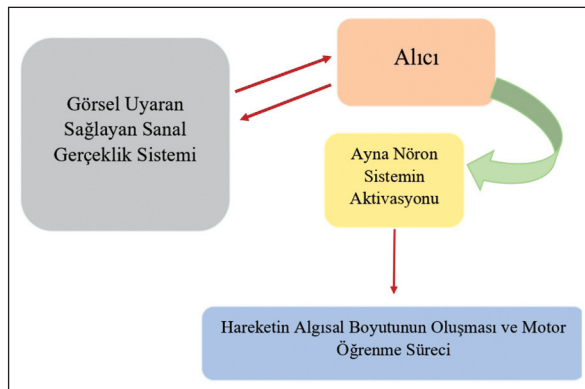
Taklit içeren ve görsel bildirim içeren egzersizlerin, motor hareket sırasında inferior frontal girusun pars opercularisini aktive etmedeki etkinliği ayna nöronların aktivasyonunu gösteren önemli bir kanıttır.⁵⁷ Sanal gerçeklik (SG) uygulamalarının sağladığı gör-

sel rehberlik, aynı zamanda kendi kendine yönlendirilen görevlere kıyasla kişilerin bilişsel yükünü azaltarak verimliliği bu yol üzerinden artırabilir.⁵⁸

MRI uyumlu SG sistemleri, motor fasilitasyon ile ilişkili “ayna nöronları” uyarmak için modellenen sanal deneyimler dâhil olmak üzere somatosensöriyel komponente sahip egzersizler sırasında nöral aktivasyonu değerlendirmek, izlemek ve etkin motor çıktı için önemli olan ikincil motor sistemlerinin aktivasyonunu belirlemek için kullanılabilir.⁵⁹ Ayna nöron sisteminin özellikleri, insanın taklit yoluyla öğrenme yeteneğini açıklayabileceği daha önce vurgulanan noktalar arasında yer almıştır. SGRY’nin tedavi içerisinde kullanımı da ikincil motor sistemlerin ve motor kontrolünün plastisitesini uyarmak için ayna nöron sisteminin özelliklerinden faydalanmaktadır.⁵⁹

SG, görevi tekrarlı gerçekleştiren sanal bir öğretmeni ekrana programlamamıza olanak tanımaktadır. Hareketi defalarca gerçekleştiren öğretmenin güçlü görsel girdisi, ayna nöron aktivasyonu yoluyla motor kortekse doğrudan girdi yoluyla “taklit ile öğrenmenin” geliştirilmesini sağlayabilir.⁶⁰ Bu noktada ayna nöronların, SG uygulamalarının temelindeki nöral mekanizmada rol oynadığı ve taklit yoluyla öğrenmenin nörofizyolojik temelini oluşturduğu söylenmektedir.⁶¹ Şekil 2’de bu süreç kısaca özetlenmiştir.

Teknolojinin kullanımı ile birlikte son birkaç dekatta SG uygulamaları gittikçe artmaktadır. Bu süreçte SG, rehabilitasyon yaklaşımları içerisinde de kendine yer edinmiştir.



ŞEKİL 2: Sanal gerçeklik sistemleri ve hareketin oluşma süreçleri.

SGRY, sanal ortamların rehabilitasyon amaçlarına yönelik kullanılmasıdır. Sanal ortamlar, gerçek ortamların bilgisayar aracılığıyla oluşturulmuş simülasyonu olarak tanımlanabilmekte ve “insan-makine arayüzü” kullanılarak deneyimlenebilmektedir.⁶¹ Bu arayüz, ayna nöronlar aracılığıyla bir bakıma beyin “kandırılarak” farklı bir ortam ve deneyimden yararlanmasını sağlamaktadır.

SGRY ile birlikte hastaların çeşitli hareketlerini gözlemlene, taklit etme ve öğrenme süreçlerini iyileştirmek için arayüz ile simüle edilen sanal ortam ile etkileşim kurularak o ortamın içerisinde motor hareketin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu simüle mekanizma, ayna nöron sisteminin aktive ederek ayna nöron mekanizmasını fonksiyonel iyileşme sürecinin bir parçası hâline getirmektedir. SGRY, pediatrik hastalarda ve inmede sıkça kullanılmakla birlikte Parkinson, fantom ağrısı gibi birçok farklı alanda sıkça kullanılmaktadır.^{60,62-64} SGRY’nin rehabilitasyon programları içerisinde bahsedilen motor öğrenmeye ek olarak, SG sistemi aracılığıyla geri bildirim ve etkileşim sağlayarak görsel ve işitsel becerilerin geliştirilmesine yardımcı olduğu vurgulanmaktadır.⁶⁰ Farklı hastalıklarda yapılan çalışmaların sonuçlarını içeren derlemelerin özetleri **Tablo 2**’de verilmiştir.

Farklı hastalık gruplarında SGRY temelli müdahaleleri konu alan derlemelerde görüldüğü gibi ayna nöronların etki mekanizması ile açıklanan bu yaklaşımın hastaların rehabilitasyon süreçlerine katkılarını netleştirebilmek için daha yüksek kanıt düzeyine sahip, geniş gruplarda yapılacak uzun vadeli sonuçları inceleyen ve daha homojen grupları içeren çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.^{60,62-64} Ayrıca SG temelli müdahaleler için uygun bir seans süresi, frekansı ve sayısı ile ilgili bir fikir birliği bulunmamaktadır. Müdahalelerin bu parametrelerinin de sonuçları etkilediği göz önünde bulundurulduğunda uygun dozu belirlemek için farklı hasta gruplarında yapılacak çalışmalar değerli olabilir. Ayrıca farklı zorluk dereceleri, fiziksel etkileşim ve görüntüleme cihazları, SG uygulamalarını hastanın belirli özelliklerine göre uyarlanabilir kılmaktadır.⁶⁵ Bu nokta, daha homojen hasta grupları ile yapılan çalışmalara işaret edilmektedir.

TABLO 2: SGRY'nin farklı hastalıklarda kullanımını ile ilgili derlemelerin özeti.

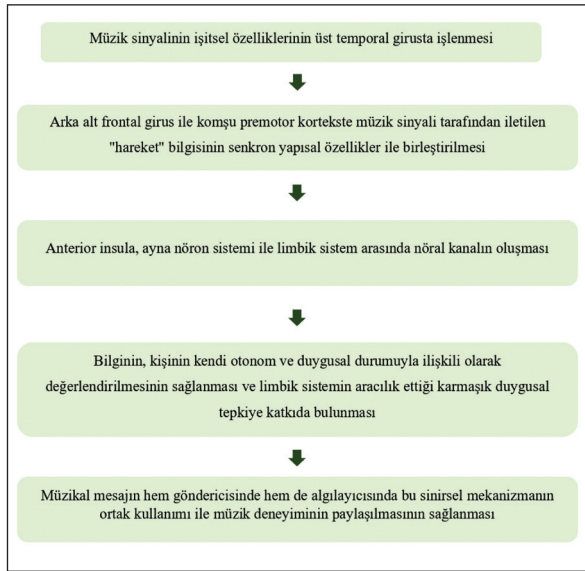
Yazar-yıl	Araştırma tipi	Hasta grubu-örnekleme	Uygulamalar	Sonuçlar
Ravi ve ark. ⁶⁵ /2017	Derleme, 31 çalışma	Serebral palsili çocuk ve ergenler, 369 katılımcı	Wii (Nintendo, Japonya), Kinect (Xbox 360 Kinect™, Microsoft, Amerika), PlayStation (CAREN Sistem Motek Medical, Amsterdam, Hollanda) gibi teknolojik araçlar ile rehabilitasyon 30-90 dk'lık, haftada 1-5 seanslık programlar; 6-60 seanslık 2 hafta-6 aylık takipler	SGRY ile denge ve motor becerileri geliştirmede orta düzeyde kanıt Üst ekstremité becerileri, eklem kontrolü, yürüme ve kuvvet ile ilişkili sonuçlar, düşük düzeyde kanıt Katılımcılar yaş, disfonksiyon tipi ve seviyesi açısından heterojen Tedavinin dozu, frekansı gibi parametreler açısından net reçete yok
Laver ve ark. ⁶⁷ /2015	Derleme, 72 çalışma	İnme sonrası, 2.470 katılımcı	Sürüş simülatörleri, Nintendo Wii (The Nintendo® Wii, Nintendo, Japonya) uygulamaları, görev odaklı teknolojik oyunlar, treadmill sistemleri, IREX (Vivid Group, Toronto, Canada) SG sistemleri, tren sürüş simülatörleri gibi farklı sistemlerle rehabilitasyon	SGRY, konvansiyonel yaklaşımlara benzer düzeyde etkin İnme sonrası diğer müdahalelerin olmadığı durumlarda SGRY'nin kullanılabileceğine dair düşük düzeyde kanıt SG, inme sonrası üst ekstremité fonksiyonelliği, kavrama kuvveti, yürüyüş hızı ve günlük yaşam aktivitelerini geliştirmede etkin ve güvenli bir müdahale Daha yüksek dozda daha büyük bir iyileşme ancak bu doz-sonuç ilişkisinin istatistiksel olarak anlamlı değil
Dockx ve ark. ⁶³ /2016	Derleme, 8 çalışma	Parkinson hastaları, 263 katılımcı	SG dans egzersizleri, Wii fit denge tahatası terapileri, Nintendo Wii yaklaşımları, statik ve dinamik denge tahtaları ile rehabilitasyon 30-60 dk'lık, haftada 2-5 seanslık programlar, 3-12 haftalık kısa dönem takip	Adım ve adım uzunluğunda anlamlı gelişme Yürüyüş, denge ve yaşam kalitesindeki iyileşmeler kontrol grubu ile benzer Düşük kanıt düzeyi
Dunn ve ark. ⁶⁴ /2017	Derleme, 8 çalışma	Üst ekstremité ve alt ekstremité amputasyonları sonrası fantom ağrısı, vaka sayıları 5-14 arasında	SG uzama aktiviteleri ve SG avatları ile geliştirilen rehabilitasyon programları Seans sayısı, seansın frekansı ve uzunluğu gibi tedavi parametreleri; tek seans 10 dk'lık müdahaleler ile haftada 2 seans 30-60 dk ve 8 hafta uygulanan müdahalelere kadar geniş bir ölçekte değişken	Ağrı şiddetinde ve fantom ağrısı şiddetinde azalma-düşük kanıt düzeyi

SGRY: Sanal gerçeklik rehabilitasyon yaklaşımı; SG: Sanal gerçeklik.

MÜZİK TERAPİ

Ayna nöronlardan bazıları “işitsel-görsel” ayna nöronlar olarak adlandırılan, eylemlere özgü işitsel uyarılara yanıt verebilen özelliكتedir. Bu, ayna nöron sistemini aktive eden hem görsel hem de işitsel duyaruları içeren birçok sistemin dâhil edildiği kombine tedavi yaklaşımlarının daha etkili olabileceğini düşündürmektedir.⁵ Bu sisteme ait inferior frontal girus ve ventral pre-motor korteks (Broca bölgesi dâhil) müzik aleti çalma, şarkı söyleme ve dinlemeyle atışlenmektedir.⁶⁶ Özellikle fMRI çalışmaları; müzikal algılama görevleri, şarkı söyleme veya bir enstrüman çalmayı hayal etme gibi müziksel aktiviteler sırasında Broca bölgesinin aktivasyonunu göstermiştir.⁵¹ Bu aktivasyonun nörolojik temeli Şekil 3'te özetlenmiştir.

Ayna nöronların birincil atışlenme durumlarından olan taklit ve senkronizasyon, insan müzikal davranışının kilit yönleri olabilmekte ve bu durum müzik kullanarak eğitimsel ve terapötik destek çalışmalarının anahtarı hâline gelebilmektedir.⁶⁷ Bu çalışmaların önemli örneklerine otizm tedavisinde rastlan-



ŞEKİL 3: Müzik terapinin nörofizyolojik mekanizması.

maktadır. Tekrarlanan müzikal taklit seanslarından sonra otizmlili çocukların motor aktivitelere daha az ve sosyal etkileşimleri başlatmak için daha fazla zaman harcadıkları görülmektedir. Tamamen konuşmalar bile otizmlili birçok çocuk şarkı söyleyip, karmaşık melodileri doğru bir şekilde yeniden üretebilmektedir. Müzik dinlemek, yoğun duygular uyandırabilmekte ve istemli motor eylemler oluşturulabilmektedir. Müziğe verilen bu olumlu tepki, otizmlili çocukların başkalarıyla etkileşime girmesine yardımcı olarak, dil ve motor beceriler yoluyla sosyal katılımı teşvik edebilecek etkinliklere katılmalarını sağlayabilmektedir.⁶⁷

Bazı müzikler, duyguların işlenmesine ve açığa çıkmasına önceden hazır olan beynin limbik ve paralimbik yapılarının modülasyonunu ve aktivasyonunu belirlemektedir. Bu etkiler, hipokinetik motor bozukluğu olan hastalarda bazal ganglionlar ve frontal yapılar gibi motor kontrole bağlı yapılarla alternatif stimülasyon yolları elde etmek için tedavide kullanılabilir. Müziğin duygusal içeriği, nörolojik nörodejeneratif bozukluklarda sıklıkla eşlik eden bir hastalık olan ruh hâlini, stimülasyon yoluyla modüle etmek için de kullanılabilir. Müziğin, önceden belirlenmiş motor davranışa ve eylemlerin, konuşmanın ve müziğin işlenmesini organize eden ortak ve supramodal duygusal-motor bir kodun varlığına bağlı olduğu bilinmektedir. Hem müzik dinlerken hem

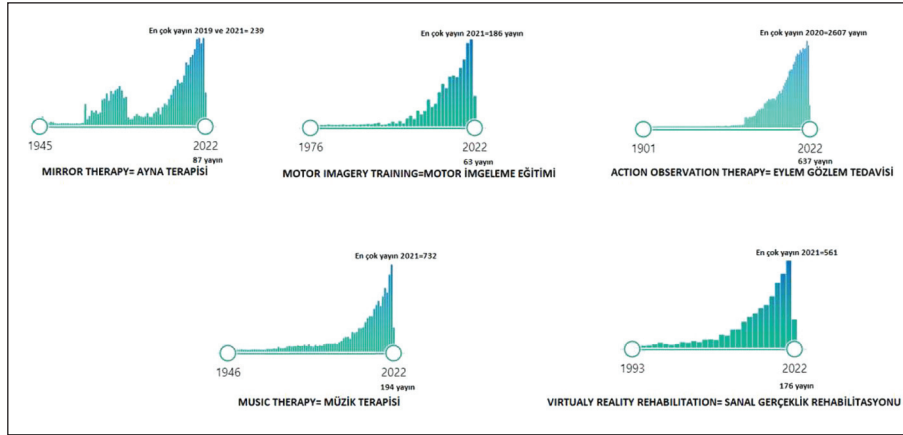
de üretirken müzikal algı ve hareket arasında var olan bağlantı, önceden belirlenmiş bir sensörimotor kontrol kodlama ve kontrol sisteminin kanıtıdır. Bu hipotezler, hem algılama hem de eylem sırasında aktifleşen, frontal-temporal-paryetal dağılıma sahip ayna nöron sistemi çalışmasının keşfi ve derinleştirilmesinden sonra ortaya çıkmıştır.⁶⁸

Son yıllarda, özellikle nörolojik hastalıklara bağlı duygusal, bilişsel ve motor fonksiyon bozukluklarının tedavi sürecinde bir dizi terapötik etki sağlamak amacıyla müzikal uyaranların insan beynindeki “algı” ve “üretim” alanlarını harekete geçirme potansiyeline dair kanıtlar artmaktadır.⁶⁹ Bu kanıtlar, müzik terapinin rehabilitasyon yaklaşımları içerisinde kullanımına zemin hazırlamıştır. Tablo 1’de müzik terapi yaklaşımının rehabilitasyonda kullanımına örnek olan çalışmalar özetlenmiştir. Çalışmaların sonuçları, müzik terapinin ağrı, kas endüransı, aerobik ve anaerobik kapasite, yürüyüşün birçok parametresi, bilişsel fonksiyon, psikososyal iyilik hâli gibi birçok değişken üzerinde olumlu etkileri olduğuna işaret etmektedir.⁶⁹⁻⁷²

Ayna nöron sisteminin müzik tabanlı aktivasyonu, alternatif beyin aktivitesi manipülasyon seçeneğini oluştururken, aynı zamanda çok yönlü duygusal stimülasyon olasılığını sağlamıştır. Örneğin sensörimotor ağrı bağlanmasını teşvik etmek için el vurmaya kullanan melodik tonlama terapisi, afazi için müzik temelli terapötik müdahalelerden biridir. Ayrıca müzik terapi, inme gibi hastalıkların tedavisinde de kullanılmıştır. Müziğin psikosomatik etkilerinin müzik terapinin yararlı yönlerine katkıda bulunduğu kabul edilmektedir.⁵

AYNA NÖRON TEMELLİ REHABİLİTASYON YAKLAŞIMLARININ LİTERATÜRDEKİ YERİ

Literatüre bakıldığında ayna nöronların son yıllarda daha çok gündeme gelmesi ile birlikte rehabilitasyon programlarının içerisine günden güne daha fazla dâhil olduğu görülmektedir. Yukarıda paylaşılan her 5 yaklaşım için de yapılan güncel çalışma sayısının arttığı ve olumlu sonuçların farklı değişkenler üzerinden paylaşıldığı dikkat çekmektedir. Şekil 4’te PubMed veri tabanında ayna terapisi, motor imgeleme, eylem gözlem eğitimi, SGRY ve müzik terapinin rehabilitasyon içerisinde yıllara göre dağılım grafikleri ve-



ŞEKİL 4: PubMed veri tabanında yıllara göre ayna nöron temelli rehabilitasyon yaklaşımlarının yayın dağılımı.

rilmiştir. Bu verilere göre alanda yapılan araştırmaların ayna nöronların keşfinden çok daha öncesine dayandığı, ayna nöronların keşfiyle birlikte hız kazandığı ve 2022 yılının ilk çeyreğinde bile azımsanmayacak kadar fazla olduğu görülen yayın sayısının son yıllarda zirve yaptığı söylenebilir. Ancak çalışmaların çoğunun ortak limitasyonlarının tedavi süresi, frekansı, toplam seans sayısı gibi parametreler konusunda ortak bir görüş olmayışı, farklı değişkenlerin genelde kısa süreli takip ile incelenmesi, araştırma örneklemelerinin sınırlı kalması ve katılımcıların özelliklerinin homojen olmaması gibi noktalar olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca mevcut araştırmaların kanıt düzeyleri açısından düşük-orta düzey kanıtlar sağladığı görülmektedir. İyi yapılandırılmış, daha homojen katılımcılardan oluşan, daha geniş örneklemler ve uzun takipleri içeren çalışmalar ile literatürün zenginleştirilmesine ve tedavi parametreleri konusunda ortak bir görüş oluşturmaya yönelik çalışmalara gereksinim duyulmaktadır. Bununla birlikte bu tedavi yaklaşımlarının bir arada kullanılması, ayna nöronların aktivasyonunu daha çok artırarak tedavi etkinliğine daha fazla katkıda bulunabilir. Bir diğer nokta da bu yaklaşımlarının çok büyük bir çoğunluğunun, nörolojik hasta gruplarının rehabilitasyon programlarında uygulanmasıdır. Ayna nöronların hareket algısı, motor öğrenme gibi önemli süreçlerdeki katkısı ile birlikte motor kazanımdaki rolü göz önünde bulundurulduğunda farklı hastalık gruplarında kullanılacağı daha fazla çalışma araştırmacılara ve klinisyenlere farklı bakış açıları sunabilir.

SONUÇ

Bu derlemede, ayna nöronların çeşitli fonksiyonlarına değinilmiş, hareketi algılama ve motor öğrenme işlevlerine katkısı ışığında geliştirilen rehabilitasyon yaklaşımlarına yer verilmiştir. Ayna nöronlar; eylemi anlama ve öğrenmeyi kolaylaştırma, taklit, empati, duygu tanıma, niyet okuma, dil edinimi, jest ve mimikler ile iletişim, konuşma algısı ve üretimi, müzik işleme, cinsel yönelim ve estetik deneyim gibi birçok fonksiyonu geliştiren ve destek veren özelleşmiş hücre topluluklarıdır. Bu farklı özellikleri, hareketin algısal boyutu ve motor öğrenme süreçlerinde bir dizi katkı sağlamaktadır. Çeşitli şekillerde ateşlenebilen özellikleri literatürde farklı hastalıkların tedavisinde kullanılan yaklaşımların gelişmesi için bir temel oluşturmuştur. Ayna nöron sisteminin fonksiyonları temelinde geliştirilen güncel tedavi yaklaşımlarından bazıları ayna tedavisi, motor imgeleme, eylem gözlem eğitimi, SGRY ve müzik terapidir. Literatüre bakıldığında bu güncel tedavi yaklaşımlarının geniş bir perspektifteki hasta popülasyonlarının rehabilitasyon programları içerisinde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Hastaların hastalık semptomlarında, kas kuvveti, denge gibi parametrelerin geliştirilmesinde, psikolojik durumun iyileştirilmesinde önemli rol oynadığına dair kanıtlar mevcuttur. Bununla birlikte birçok çalışmanın önemli sonuçları olsa da metodolojik eksikleri nedeniyle kanıt düzeyleri düşük olup daha homojen grupları ve daha geniş örneklemler içeren çalışmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır. Ayna

nöronlar hakkında edinilecek bilgiler, yeni geliştirilecek rehabilitasyon yaklaşımlarına ve var olanların mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilir olarak geliştirilmesine ışık tutabilecektir.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin

çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Melissa Köprülüoğlu, Sümena Hareket, Karya Polat, Derya Özer Kaya; **Tasarım:** Melissa Köprülüoğlu, Sümena Hareket, Karya Polat, Derya Özer Kaya; **Denetleme/ Danışmanlık:** Derya Özer Kaya; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Melissa Köprülüoğlu, Sümena Hareket, Karya Polat, Derya Özer Kaya; **Analiz ve/veya Yorum:** Melissa Köprülüoğlu, Sümena Hareket, Karya Polat, Derya Özer Kaya; **Kaynak Taraması:** Melissa Köprülüoğlu, Sümena Hareket, Karya Polat; **Makalenin Yazımı:** Melissa Köprülüoğlu, Sümena Hareket, Karya Polat, Derya Özer Kaya; **Eleştirel İnceleme:** Derya Özer Kaya.

KAYNAKLAR

- Cook R, Bird G, Catmur C, Press C, Heyes C. Mirror neurons: from origin to function. *Behav Brain Sci.* 2014;37(2):177-92. [Crossref] [PubMed]
- di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp Brain Res.* 1992;91(1):176-80. [Crossref] [PubMed]
- Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci.* 2004;27:169-92. [Crossref] [PubMed]
- Chatterjee A. Reflections on Mirror Neurons and Rehabilitation. *Cogn Behav Neurol.* 2018;31(4):243-44. [Crossref] [PubMed]
- Carvalho D, Teixeira S, Lucas M, Yuan TF, Chaves F, Peressutti C, et al. The mirror neuron system in post-stroke rehabilitation. *Int Arch Med.* 2013;6(1):41. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Fogassi L, Ferrari PF, Gesierich B, Rozzi S, Chersi F, Rizzolatti G. Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science.* 2005;308(5722):662-7. [Crossref] [PubMed]
- Gangitano M, Mottaghy FM, Pascual-Leone A. Phase-specific modulation of cortical motor output during movement observation. *Neuroreport.* 2001;12(7):1489-92. [Crossref] [PubMed]
- Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J Neurophysiol.* 1995;73(6):2608-11. [Crossref] [PubMed]
- Gazzola V, van der Worp H, Mulder T, Wicker B, Rizzolatti G, Keysers C. Aphasics born without hands mirror the goal of hand actions with their feet. *Curr Biol.* 2007;17(14):1235-40. [Crossref] [PubMed]
- Iacoboni M, Molnar-Szakacs I, Gallese V, Buccino G, Mazziotta JC, Rizzolatti G. Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biol.* 2005;3(3):e79. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Maas E, Robin DA, Austermann Hula SN, Freedman SE, Wulf G, Ballard KJ, et al. Principles of motor learning in treatment of motor speech disorders. *Am J Speech Lang Pathol.* 2008;17(3):277-98. [Crossref] [PubMed]
- Molenberghs P, Brander C, Mattingley JB, Cunnington R. The role of the superior temporal sulcus and the mirror neuron system in imitation. *Hum Brain Mapp.* 2010;31(9):1316-26. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage.* 2001;14(1 Pt 2):S103-9. [Crossref] [PubMed]
- Gallese V, Goldman A. Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends Cogn Sci.* 1998;2(12):493-501. [Crossref] [PubMed]
- Munzert J, Lorey B, Zentgraf K. Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Res Rev.* 2009;60(2):306-26. [Crossref] [PubMed]
- Clark DJ, Patten C. Eccentric versus concentric resistance training to enhance neuromuscular activation and walking speed following stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2013;27(4):335-44. [Crossref] [PubMed]
- Brunsdon VEA, Bradford EEF, Smith L, Ferguson HJ. Short-term physical training enhances mirror system activation to action observation. *Soc Neurosci.* 2020;15(1):98-107. [Crossref] [PubMed]
- Furukawa Y, Uehara K, Furuya S. Expertise-dependent motor somatotopy of music perception. *Neurosci Lett.* 2017;650:97-102. [Crossref] [PubMed]
- Orlandi A, Zani A, Proverbio AM. Dance expertise modulates visual sensitivity to complex biological movements. *Neuropsychologia.* 2017; 104:168-81. [Crossref] [PubMed]
- Small SL, Buccino G, Solodkin A. The mirror neuron system and treatment of stroke. *Dev Psychobiol.* 2012;54(3):293-310. [Crossref] [PubMed]
- Farina E, Borgnis F, Pozzo T. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders. *J Neurosci Res.* 2020;98(6):1070-94. [Crossref] [PubMed]
- Anders S, Sack B, Pohl A, Münte T, Pramstaller P, Klein C, et al. Compensatory pre-motor activity during affective face processing in subclinical carriers of a single mutant Parkin allele. *Brain.* 2012;135(Pt 4):1128-40. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Pohl A, Anders S, Chen H, Patel HJ, Heller J, Reetz K, et al. Impaired Emotional Mirroring in Parkinson's Disease-A Study on Brain Activation during Processing of Facial Expressions. *Front Neurol.* 2017;8:682. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Nishitani N, Avikainen S, Hari R. Abnormal imitation-related cortical activation sequences in Asperger's syndrome. *Ann Neurol.* 2004;55(4):558-62. [Crossref] [PubMed]
- Oberman LM, McCleery JP, Hubbard EM, Bernier R, Wiersma JR, Raymaekers R, et al. Developmental changes in mu suppression to observed and executed actions in autism spectrum disorders. *Soc Cogn Affect Neurosci.* 2013;8(3):300-4. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Rizzolatti G, Cattaneo L, Fabbri-Destro M, Rozzi S. Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding. *Physiol Rev.* 2014;94(2):655-706. [Crossref] [PubMed]
- Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D, Cobb S. Touching the phantom limb. *Nature.* 1995;377(6549):489-90. [Crossref] [PubMed]
- Dohle C, Stephan KM, Valvoda JT, Hosseiny O, Tellmann L, Kühlen T, et al. Representation of virtual arm movements in precuneus. *Exp Brain Res.* 2011;208(4):543-55. [Crossref] [PubMed]
- Thieme H, Morkisch N, Mehrholz J, Pohl M, Behrens J, Borgetto B, et al. Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018;7(7):CD008449. [Crossref] [PubMed] [PMC]

30. Garry MI, Loftus A, Summers JJ. Mirror, mirror on the wall: viewing a mirror reflection of unilateral hand movements facilitates ipsilateral M1 excitability. *Exp Brain Res.* 2005;163(1):118-22. [Crossref] [PubMed]
31. Grèzes J, Decety J. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Hum Brain Mapp.* 2001;12(1):1-19. [Crossref] [PubMed] [PMC]
32. Shinoura N, Suzuki Y, Watanabe Y, Yamada R, Tabei Y, Saito K, et al. Mirror therapy activates outside of cerebellum and ipsilateral M1. *NeuroRehabilitation.* 2008;23(3):245-52. [Crossref] [PubMed]
33. Kang YJ, Ku J, Kim HJ, Park HK. Facilitation of corticospinal excitability according to motor imagery and mirror therapy in healthy subjects and stroke patients. *Ann Rehabil Med.* 2011;35(6):747-58. [Crossref] [PubMed] [PMC]
34. Rothgangel A, Braun S, Winkens B, Beurskens A, Smeets R. Traditional and augmented reality mirror therapy for patients with chronic phantom limb pain (PACT study): results of a three-group, multicentre single-blind randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2018;32(12):1591-608. [Crossref] [PubMed]
35. Barth JM, Stezar GL, Acierio GC, Kim TJ, Reilly MJ. Mirror book therapy for the treatment of Idiopathic Facial Palsy. *Ear Nose Throat J.* 2020;145561320913211. [Crossref] [PubMed]
36. Saha S, Sur M, Ray Chaudhuri G, Agarwal S. Effects of mirror therapy on oedema, pain and functional activities in patients with poststroke shoulder-hand syndrome: A randomized controlled trial. *Physiother Res Int.* 2021;26(3):e1902. [Crossref] [PubMed]
37. Kim DH, Jang SH. Effects of mirror therapy combined with EMG-Triggered functional electrical stimulation to improve on standing balance and gait ability in patient with chronic stroke. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(7):3721. [Crossref] [PubMed] [PMC]
38. Schieber MH. Mirror neurons: reflecting on the motor cortex and spinal cord. *Curr Biol.* 2013;23(4):R151-2. [Crossref] [PubMed]
39. Hétu S, Grégoire M, Saimpont A, Coll MP, Eugène F, Michon PE, et al. The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2013;37(5):930-49. [Crossref] [PubMed]
40. Sakurada T, Nakajima T, Morita M, Hirai M, Watanabe E. Improved motor performance in patients with acute stroke using the optimal individual attentional strategy. *Sci Rep.* 2017;7:40592. [Crossref] [PubMed] [PMC]
41. Garrison KA, Winstein CJ, Aziz-Zadeh L. The mirror neuron system: a neural substrate for methods in stroke rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair.* 2010;24(5):404-12. [Crossref] [PubMed]
42. Dickstein R, Deutsch JE. Motor imagery in physical therapist practice. *Phys Ther.* 2007;87(7):942-53. [Crossref] [PubMed]
43. Page SJ, Levine P, Hill V. Mental practice as a gateway to modified constraint-induced movement therapy: a promising combination to improve function. *Am J Occup Ther.* 2007;61(3):321-7. [Crossref] [PubMed]
44. Tong Y, Pendy JT Jr, Li WA, Du H, Zhang T, Geng X, et al. Motor imagery-based rehabilitation: potential neural correlates and clinical application for functional recovery of motor deficits after stroke. *Aging Dis.* 2017;8(3):364-71. [Crossref] [PubMed] [PMC]
45. Kaur J, Ghosh S, Sahani AK, Sinha JK. Mental imagery training for treatment of central neuropathic pain: a narrative review. *Acta Neurol Belg.* 2019;119(2):175-86. [Crossref] [PubMed]
46. Szykiewicz SH, Nobriga CV, Cheung A, Khoury L, Piven M, Quibin K. Mental practice using motor imagery in dysphagia rehabilitation: a survey of practicing speech-language pathologists. *Semin Speech Lang.* 2020;41(5):349-64. [Crossref] [PubMed]
47. Abraham A, Duncan RP, Earhart GM. The role of mental imagery in Parkinson's disease rehabilitation. *Brain Sci.* 2021;11(2):185. [Crossref] [PubMed] [PMC]
48. Moukarzel M, Di Rienzo F, Lahoud JC, Hoyek F, Collet C, Guillot A, et al. The therapeutic role of motor imagery during the acute phase after total knee arthroplasty: a pilot study. *Disabil Rehabil.* 2019;41(8):926-33. [Crossref] [PubMed]
49. Wang X, Wang H, Xiong X, Sun C, Zhu B, Xu Y, et al. Motor imagery training after stroke increases slow-5 oscillations and functional connectivity in the ipsilesional inferior parietal lobule. *Neurorehabil Neural Repair.* 2020;34(4):321-32. [Crossref] [PubMed]
50. Dello Iacono A, Ashcroft K, Zubac D. Ain't just imagination! effects of motor imagery training on strength and power performance of athletes during detraining. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53(11):2324-32. [Crossref] [PubMed]
51. Zhu MH, Wang J, Gu XD, Shi MF, Zeng M, Wang CY, et al. Effect of action observation therapy on daily activities and motor recovery in stroke patients. *International Journal of Nursing Sciences.* 2015;2(3):279-82. [Crossref]
52. Vogt S, Thomaschke R. From visuo-motor interactions to imitation learning: behavioural and brain imaging studies. *J Sports Sci.* 2007;25(5):497-517. [Crossref] [PubMed]
53. Celnik P, Stefan K, Hummel F, Duque J, Classen J, Cohen LG. Encoding a motor memory in the older adult by action observation. *Neuroimage.* 2006;29(2):677-84. [Crossref] [PubMed]
54. Rocca MA, Meani A, Fumagalli S, Pagani E, Gatti R, Martinelli-Boneschi F, et al. Functional and structural plasticity following action observation training in multiple sclerosis. *Mult Scler.* 2019;25(11):1472-87. [Crossref] [PubMed]
55. Chisari M, Sensi R, Clerici CA, Gariboldi FA, Spreafico F, Biassoni V, et al. Action observation therapy in pediatric patients with neuromotor deficits of the upper limbs secondary to central nervous system tumors. *Tumori.* 2019;105(6):NP75-NP78. [Crossref] [PubMed]
56. Öztürk Ö, Bombacı H, Keçeci T, Algun ZC. Effects of additional action observation to an exercise program in patients with chronic pain due to knee osteoarthritis: A randomized-controlled trial. *Musculoskeletal Sci Pract.* 2021;52:102334. [Crossref] [PubMed]
57. Iacoboni M, Woods RP, Brass M, Bekkering H, Mazziotta JC, Rizzolatti G. Cortical mechanisms of human imitation. *Science.* 1999;286(5449): 2526-8. [Crossref] [PubMed]
58. Hanlon CA, Buffington AL, McKeown MJ. New brain networks are active after right MCA stroke when moving the ipsilesional arm. *Neurology.* 2005;64(1):114-20. [Crossref] [PubMed]
59. August K, Lewis JA, Chandar G, Merians A, Biswal B, Adamovich S. fMRI analysis of neural mechanisms underlying rehabilitation in virtual reality: activating secondary motor areas. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2006;2006:3692-5. [Crossref] [PubMed]
60. Ravi DK, Kumar N, Singhi P. Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy.* 2017;103(3):245-58. [Crossref] [PubMed]
61. Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav.* 2005;8(3):187-211; discussion 212-9. [Crossref] [PubMed]
62. Laver K, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation: an abridged version of a Cochrane review. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2015;51(4):497-506. [Crossref] [PubMed] [PMC]
63. Dockx K, Bekkers EM, Van den Bergh V, Ginis P, Rochester L, Hausdorff JM, et al. Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;12(12):CD010760. [Crossref] [PubMed] [PMC]
64. Dunn J, Yeo E, Moghaddampour P, Chau B, Humbert S. Virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain: A literature review. *NeuroRehabilitation.* 2017;40(4):595-601. [Crossref] [PubMed]
65. Rizzolatti G, Fabbri-Destro M, Nuara A, Gatti R, Avanzini P. The role of mirror mechanism in the recovery, maintenance, and acquisition of motor abilities. *Neurosci Biobehav Rev.* 2021;127:404-23. [Crossref] [PubMed]
66. Yuan TF, Chen W, Shan C, Rocha N, Arias-Carrion O, Paes F, et al. Activity-dependent neurorehabilitation beyond physical trainings: "mental exercise" through mirror neuron activation. *CNS Neurol Disord Drug Targets.* 2015;14(10):1267-71. [Crossref] [PubMed]
67. Overy K, Molnar-Szakacs I. Being together in time: Musical experience and the mirror neuron system. *Music Perception.* 2009;26(5):489-504. [Crossref]
68. Raglio A. L'efficacia della musica e della musicoterapia nella riabilitazione neuromotoria [The efficacy of music and music therapy in the neuromotor rehabilitation]. *G Ital Med Lav Ergon.* 2012;34(1):85-90. Italian. [PubMed]
69. Impellizzeri F, Leonardi S, Latella D, Maggio MG, Foti Cuzzola M, Russo M, et al. An integrative cognitive rehabilitation using neurologic music therapy in multiple sclerosis: A pilot study. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(4):e18866. [Crossref] [PubMed] [PMC]
70. Leonard H. Live music therapy during rehabilitation after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *J Music Ther.* 2019;56(1):61-89. [Crossref] [PubMed]
71. Cutrufello PT, Benson BA, Landram MJ. The effect of music on anaerobic exercise performance and muscular endurance. *J Sports Med Phys Fitness.* 2020;60(3):486-92. [Crossref] [PubMed]
72. Wang Y, Pan WY, Li F, Ge JS, Zhang X, Luo X, et al. Effect of rhythm of music therapy on gait in patients with stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2021;30(3):105544. [Crossref] [PubMed]
73. Cattaneo L, Rizzolatti G. The mirror neuron system. *Arch Neurol.* 2009;66(5):557-60. [Crossref] [PubMed]