



Göz Tembelliği Tedavisinde Dikoptik Uyarım Temelli Binoküler Yaklaşımlar

Binocular Approaches in Amblyopia Treatment Based on Dichoptic Stimulation

Demet Yabanoğlu, Hande Taylan Şekeroğlu

Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Göz tembelliğinin ortaya çıkmasında binoküler işlev bozukluğunun kritik bir rol oynayabileceğinin keşfi, kontrast farkını dengeleyen her iki gözün eş zamanlı uyarım koşullarına dayanan yeni bir dikoptik uyarım yaklaşımının geliştirilmesine yol açmıştır. Bu yaklaşım, göz tembelliği tedavisinde her iki gözün birlikte çalışmasını sağlayarak göz tembelliğinin tedavisini mümkün kılmaktadır. Dikoptik tedavi yaklaşımları, göz tembelliğinde binoküler ve monoküler kayıplarda binoküler dengesizliğin önemli bir rol oynayabileceğini kabul ederken, binoküler işlev kapasitesinin korunması gerektiğini savunan bir teorik temele dayanmaktadır. Bu nedenle, bu yaklaşımlar gözlerin birlikte çalışmasını sağlamak, derinlik algısını geliştirmek ve binoküler tek görmeyi iyileştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu derleme, göz tembelliği tedavisinde binoküler işlevi iyileştirmeyi hedefleyen dikoptik uyarım tekniklerinin mevcut literatürünü sistematik bir şekilde incelemekte ve sentezlemektedir. Literatürdeki çeşitli çalışmalara dayanarak, bu tedavi yöntemlerinin temel ilkeleri açıklanmış ve geleneksel monoküler tedavi yöntemleriyle karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar vurgulanmıştır. Dikoptik tedavi tekniklerinin klinik etkinliği, göz tembelliği tedavisinde binoküler işlevin iyileştirilmesine olan katkısı, doğrultusunda değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu tedavi yaklaşımlarının farklı hasta gruplarındaki uygulama sonuçları, tedavi süreleri, etkinlik düzeyleri ve olası yan etkiler hakkında da bilgiler sunulmuştur. Derleme, dikoptik tedavi yaklaşımlarının klinik uygulamalara entegrasyonuna yönelik kapsamlı bir değerlendirme sunarak, bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlı yönlerine de dikkat çekmekte ve gelecekteki kullanımına dair yol gösterici bir bakış açısı geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Göz tembelliği, binoküler işlev bozukluğu, göz tembelliğinin binoküler tedavisi, dikoptik uyarım

Abstract

The discovery that binocular dysfunction may play a critical role in the development of amblyopia has led to the development of a novel approach based on contrast-rebalanced binocular stimulation of both eyes. This approach, known as dichoptic stimulation, enables the treatment of amblyopia by facilitating the cooperation of both eyes. Dichoptic treatment approaches are founded on the theoretical premise that binocular imbalance plays a significant role in both monocular and binocular impairments in amblyopia, and that preserving binocular function capacity is essential. Therefore, these approaches are designed to promote the collaborative functioning of the eyes, enhance stereopsis, and improve binocular fusion. This review systematically examines and synthesizes the existing literature on dichoptic stimulation techniques aimed at improving binocular function in the treatment of amblyopia. Based on various studies in the literature, the fundamental principles of these treatment methods are outlined, and the results obtained in comparison to traditional monocular treatments are highlighted. The clinical efficacy of dichoptic treatment methods is evaluated in terms of their contribution to enhancing binocular function in amblyopia. Additionally, information is provided regarding the outcomes, treatment durations, efficacy levels, and potential side effects of these treatment approaches in different patient groups. This review offers a comprehensive assessment of the integration of dichoptic treatment approaches into clinical practice, highlighting both their advantages and disadvantages, and aims to provide a guiding perspective on their future use.

Keywords: Amblyopia, binocular dysfunction, binocular therapies of amblyopia, dichoptic stimulation

Giriş

Binoküler İşlev Bozukluğu ve Göz Tembelliği

Göz tembelliği (ambliyopi), rutin göz muayenesinde altta yatan herhangi bir bozukluğun veya patolojinin saptanmadığı, erken görme gelişimi sırasında binoküler etkileşim bozukluğu ve orantısız füzyonel supresyon sonucu bir veya her iki gözde ortaya çıkan görme azlığı olarak tanımlanmaktadır.^{1,2,3} Ambliyopi her iki gözde ortaya çıkabilse de sıklıkla tek bir gözün görme keskinliği etkilendiği için geçmişte monoküler bir durum olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle, geleneksel ambliyopi tedavileri, sağlıklı olduğu düşünülen diğer (dominant) gözü baskılayarak ambliyopik gözün monoküler görme keskinliğini iyileştirmeyi amaçlamıştır.⁴⁻²³ Bu tedaviler ambliyopik gözün görme keskinliğini artırmada etkili olsa da birçok kişide rezidüel

Cite this article as: Yabanoğlu D, Taylan Şekeroğlu H. Binocular Approaches in Amblyopia Treatment Based on Dichoptic Stimulation. *Türk J Ophthalmol.* 2025;55:148-158

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Demet Yabanoğlu, Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye
E-posta: demet.aban@hacettepe.edu.tr ORCID-ID: orcid.org/0000-0003-4532-3543
Geliş Tarihi/Received: 14.08.2024 Kabul Tarihi/Accepted: 07.01.2025

DOI: 10.4274/tjo.galenos.2025.06626

Telif Hakkı © 2025 Yazar(lar). Türk Oftalmoloji Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır.
Bu, Creative Commons Atıf-Gayri-Ticari-TürevleriYaratılamaz 4.0 (CC BY-NC-ND) Uluslararası Lisansı kapsamında açık erişimli bir makaledir.



veya tekrarlayan ambliyopi, oküler motor problemler, ince motor sorunlar ve kontrast duyarlılık bozukluklarının ortaya çıkmasını engelleyememiştir.^{24,25}

Hayvan modellerinde deneysel olarak oluşturulan ambliyopinin iyileştirilmesi için binoküler görmenin gerekli olduğunun anlaşılması, binoküler işlev bozukluğunun ambliyopi gelişiminde kritik bir rol oynadığı hipotezini ortaya çıkarmıştır.²⁶ Her iki gözde kontrast dengelendiğinde binoküler görmenin sağlanabileceğinin bulunması, ambliyopik bireylerde gizli binoküler yetilerin varlığına kanıt olarak kabul edilmiştir.^{27,28} Binoküler işlev bozukluğunun ambliyopi gelişiminde etkili bir faktör olduğu düşünüldüğünde, birçok araştırmacı binoküler yaklaşımların ambliyopi tedavisinde önemli rol oynayabileceğini öne sürmektedir.^{3,24,29} Bu bakış açısı, her iki gözü aralarındaki kontrast farkını dengeleyerek iş birliği yapmaya zorlayan binoküler temelli yeni bir dikoptik uyarım yaklaşımının geliştirilmesine yol açmıştır.²⁹

Dikoptik uyarımda, her göze farklı görüntüler gösterilerek ve yalnızca her iki gözden gelen bilgileri birleştirilerek tamamlanabilecek bir görev verilir.²⁴ Bu uyarılar, kırmızı/yeşil anaglif gözlükler (aynı nesne/sahnenin biraz farklı açılardan çekilmiş iki görüntüsünü içeren stereoskopik resim/videoları izlemek için kullanılan, biri kırmızı diğeri yeşil camlı gözlükler), shutter gözlükler (ekranla eşzamanlı olarak hızla kararıp aydınlanan, böylece her iki göze de ortak bir arka plan sunulmasına izin veren, ancak zengin, hareketli görüntünün yalnızca ambliyopik göze sunulmasını sağlayan gözlükler), polarize gözlükler, sanal gerçeklik (VR) başlıkları veya dominant gözdeki parlaklığı azaltan alçak geçiş filtreleri kullanılarak verilebilir.

Dikoptik kontrast uyarımı, her bir göze farklı kontrast düzeylerine sahip görüntülerin sunulmasını, ancak arka plan kontrastının her iki göz için aynı kalmasını içerir. Kontrastın dikoptik manipülasyonu, dominant gözün gördüğü sinyal kontrastının, binoküler görmenin mümkün olacağı bir düzeye düşürülmesi ve böylece dominant gözden kaynaklanan supresyonun ortadan kaldırılmasıyla elde edilir. Bu hassas denge noktası her ambliyopik göz için değişebilir. Gözlerin dengeli kontrast koşulları altında bilgiyi birleştirmesine izin vermenin ve ambliyopik bireyi bu uyarılara tekrar tekrar maruz bırakmanın binoküler füzyonu giderek güçlendireceği ve sonuçta gözler arası kontrast farkında azalma sağlayacağı düşünülmektedir.^{24,27,28}

Dikoptik yaklaşımlar, ambliyopik görme sisteminde binoküler fonksiyonel kapasitenin korunduğu (gizli binoküler yetiler) varsayımına dayanmaktadır.^{3,24} Dikoptik yaklaşımların birincil amacı binoküler füzyonu ve stereopsisi sağlamaktır. Aynı zamanda ikincil sonuç olarak ambliyopik gözde görme keskinliğinin iyileşmesi beklenir.³ Bunu sağlamak için, tamamlayıcı dikoptik uyarılar kullanılır, böylece görsel görev ancak sol ve sağ gözden gelen bilgiler bütünleştirilirse çözülebilmektedir.²⁴

Bu derlemenin amacı, konu ile ilgili yayımlanmış çalışmalar ışığında ambliyopi tedavisinde dikoptik uyarım yaklaşımlarını değerlendirmektir. Binoküler yaklaşımlar üç bölümde incelenmiştir. İlk bölüm, monoküler görme keskinliğini geri

kazanmak için tasarlanmış dikoptik uyarım yaklaşımlarını kapsamaktadır. İkinci bölümde, binoküler fonksiyonu geri kazanmayı amaçlayan monoküler algısal öğrenme ve dikoptik uyarım yaklaşımları tartışılmıştır. Üçüncü bölümde, binoküler fonksiyonu geri kazanmak için tasarlanmış aktif ve pasif dikoptik uyarım yaklaşımları ve kontrastın dikoptik manipülasyonu ele alınmaktadır.

1. Monoküler Görme Keskinliğini Artırmak için Dikoptik Uyarım Kullanan Yaklaşımlar

Bu yaklaşımların amacı, çocuklar için görme keskinliğini eğlenceli ve binoküler bir formatta artırarak kapama tedavisine alternatif bir ambliyopi tedavisi geliştirmektir.³⁰

İnteroküler Binoküler Tedavi Sistemi

İnteroküler binoküler tedavi sistemi (I-BiT™), kapama gerekmeden tembel gözün tercihi uyarımı için dinamik uyarılar kullanan VR tabanlı bir bilgisayar sistemidir. Orijinal I-BiT™ sistemi, monitörle eşzamanlı hızlı ışık karanlık geçişlerini sağlayan, stereoskopik monitör başlığı (cyberscope) içerir;³⁰ böylece her iki göze ortak bir arka plan sunulurken, zengin ve dinamik görüntü yalnızca ambliyopik göze iletilir. Bu cihaz ile tamamen ayrı ancak görsel olarak ilişkili iki görüntü, bir sinoptofora benzer şekilde her göze bağımsız olarak gösterilebilir.^{31,32} Bu sistemde görüntüler çeşitli yöntemlerle sunulmaktadır.³⁰ Bu yöntemler çeşitli video klipler ve oyunlar geliştirmek için kullanılmıştır. Video kliplerde, ambliyopik göz hareketli bir video görürken, dominant göz sabit bir arka plan görür. I-BiT™ sisteminde kullanılan oyunlar arasında Pac-Man'ın (Bandai Namco Entertainment Inc., Japonya) bir sürümü ve bir yarış oyunu bulunmaktadır. I-BiT™'in kullanıldığı çalışmalar [Tablo 1](#)'de özetlenmiştir.^{33,34,35,36}

I-BiT™ sistemi, geleneksel tedavilerin reddedildiği veya başarısız olduğu anizometropik, şaşılık veya anizometropik ve şaşılık tiplerinin birlikte olduğu (mikst) ambliyopisi olan 5-7 yaş arası 6 çocuğu içeren bir pilot çalışmada test edilmiştir.³³ Çalışmada, haftada 1-2 tedavi seansı yapılarak her seansta 20 dakikalık video izletilmiş ve birkaç dakika süreyle etkileşimli bir oyun oynatılmıştır. Tedaviye, ambliyopik çocukların görme keskinliği stabil hale gelene kadar (11-22 ay) devam edilmiş ve minimum çözünürlük açısının logaritması (logMAR) görme keskinliğinde ortalama 10 harflik bir iyileşme izlenmiştir.³³

Şaşılık, anizometropik veya mikst tip ambliyopisi olan 4-8 yaş arası 75 hastayı içeren çok merkezli, randomize kontrollü bir çalışmada, I-BiT™ sistemi ile 10 hafta sonra görme keskinliğinde 0,067 logMAR artış sağlanmıştır.³² Ancak stereo keskinlikte herhangi bir kazanım izlenmemiştir. I-BiT™ ile dikoptik uyarımın ambliyopik gözde önemli bir avantaj sağlamadığı sonucuna varılmıştır. Çalışmadaki sınırlı başarı; kısa tedavi süresine, katılımcıların büyük kısmında daha önceki tedavi girişimlerinin başarısız olmasına ve şaşılık tipi ambliyopinin dikoptik uyarıma dayalı çalışmalarda dezavantaj oluşturmaya bağlanmıştır.³⁴

I-BiT™, ambliyopi tedavisi için etkili bir ek yöntem olarak kabul edilmektedir, ancak tedavi kesildikten sonra görme keskinliğindeki iyileşme kalıcı olmamıştır.³⁵ Özellikle prototipin

Tablo 1. Monoküler görme keskinliğini artırmak için I-BiT™ sistemini kullanan çalışmalar

Çalışmalar	Çalışma tipi	Örneklem büyüklüğü	Ambliyopi tipi	Yaş	Tedavi süresi	Seans süresi/sıklığı	Tedaviye uyum	Üç boyutlu görmede iyileşme	Görme keskinliğinde iyileşme	Yan etkiler
Waddingham ve ark. ³³ 2006	Pilot	6	Anizometropik, şaşılık veya mikst	5-7	11-22 ay	20 dk, 2 gün/hafta	%100	M/D	10 harf	Yok
Herbison ve ark. ³² 2013	Pilot	10	Anizometropik, şaşılık veya mikst	4-8	6 hafta	30. dk, 1 gün/hafta	%90	M/D	0,18 LogMAR	Yok
Herbison ve ark. ³⁴ 2016	Randomize kontrollü	75	Anizometropik, şaşılık veya mikst	4-8	6 hafta	30. dk, 1 gün/hafta	>%90	Yok	0,060 logMAR	Çift görme
Rajavi ve ark. ³⁵ 2016	Randomize kontrollü	50	Anizometropik	3-10	4 hafta	30. dk, 5 gün/hafta	M/D	M/D	0,17 logMAR	M/D
Rajavi ve ark. ³⁶ 2019	Randomize kontrollü	38	Anizometropik	3-10	4 hafta	30 dk, 5 gün/hafta	%87,5	Yok	0,08 logMAR	M/D

I-BiT™: İnteroküler binoküler tedavi sistemi, M/D: Mevcut değil (çalışmada değerlendirilmedi veya rapor edilmedi), logMAR: Minimum çözünürlük açısının logaritması

küçük çocuklar için uygun olmaması ve evde kullanılamaması nedeniyle I-BiT™ sistemine uyumla ilgili sorunlara dikkat çekilmiştir.^{32,34} Araştırmacılar ayrıca, şaşılık ve mikst tip ambliyopi olgularında başarı sağlanması için her iki göze fovea ile hizalanmış dikoptik görüntülerin sunulması gerektiğini vurgulamışlardır.³¹

2. Binoküler Fonksiyonu Geri Kazanmak için Monoküler Algısal Öğrenme ve Dikoptik Uyarım Kullanan Yaklaşımlar

Araştırmalar, zorlu bir görsel görevi tekrar tekrar gerçekleştirmenin, özellikle geleneksel tedavilerin görme keskinliğini iyileştirmede sınırlı başarıya sahip olduğu yetişkinlerde ve yaşı büyük çocuklarda algısal performansı artırabileceğini göstermiştir.^{22,23} Ancak, ambliyopi için rutin bir tedavi yöntemi olarak kullanılan monoküler kapamanın algısal öğrenmeyi sınırladığı ve görme keskinliğinde yalnızca sınırlı bir iyileşme sağladığı belirtilmiştir. Bu kısıtlılıkların üstesinden gelmek amacıyla, araştırmacılar algısal öğrenmeyi binoküler koşullar altında sağlamaya yönelik alternatif yöntemler geliştirmiştir.

Pull-Push Algısal Öğrenme Eğitim Protokolü

Görsel duyuşal sistem, iki göz arasındaki binoküler uyarın etkileşimleri ve karşılıklı baskılamadan kaynaklanan rekabetle şekillenebilir.³⁷ Normal gelişim gösteren erişkinlerde, gözler arasındaki karşılıklı baskılama genellikle dengelidir. Ancak bu dengenin bozulması duyuşal göz baskınlığına neden olur.³⁷ Hemen hemen herkeste bir gözün bir dereceye kadar duyuşal olarak baskın olduğu düşünülmektedir.³⁸ Bu baskınlık aşırıya kaçtığında hem uyarıcı hem de baskılayıcı mekanizmalar yoluyla binoküler görmede bozukluğa yol açar.³⁷ Ambliyopi, aşırı duyuşal göz baskınlığı neticesinde ambliyopik gözün gözler arası baskılanması sonucu ortaya çıkan bir durum olarak tanımlanır.³⁹

Ambliyopik bireylerde duyuşal göz baskınlığının, klinik olarak normal görme keskinliğine sahip sağlıklı kontrollere kıyasla daha belirgin olduğu bildirilmiştir.⁴⁰ Pull-push algısal öğrenme eğitim protokolü (PPLT), ambliyopide aşırı duyuşal

göz baskınlığını azaltmak ve stereopsisi geliştirmek amacıyla, ambliyopik göze uyarıcı, dominant göze baskılayıcı uyarınları eşzamanlı gönderen bir protokol olarak geliştirilmiştir.³⁷ Dominant gözün kapanması gibi geleneksel ambliyopi tedavileri doğrudan duyuşal göz baskınlığını ele almaz.³⁷ PPLT, temel olarak dominant gözün algısını baskılayarak (pull) ve ambliyopik gözün algısını güçlendirerek (push) uyarıcı ve baskılayıcı uyarınların binoküler dengesini düzenlemek için tasarlanmıştır. Bu eğitim protokolünün duyuşal göz baskınlığını etkili bir şekilde azalttığı, stereo keskinliği iyileştirdiği ve klinik olarak normal binoküler görmesi olan kişilerde bile duyuşal plastisiteye önemli ölçüde katkıda bulunduğu belirtilmiştir.^{37,38,39,40} Bu sebeple bu yöntemin ambliyopi tedavisinde etkili olabileceği ileri sürülmüştür. Ancak, şimdiye kadar PPLT ile yapılan tek klinik çalışma, anizometropik ambliyopisi olan 4-17 yaş arası 36 çocuk ile normal görme keskinliğine sahip 33 çocuğu kapsamaktadır. Yirmi dakikalık eğitim seansları, hem görsel korteks hem de temporal lobu uyatarak, bu yöntemin anizometropik ambliyopide stereo keskinliğin geri kazanılmasındaki önemini ortaya koymuştur.⁴¹ Eğitimden sonra öğrenme etkilerinin 4 aydan fazla devam etmesi, PPLT'nin uzun süreli kortikal plastisite oluşturduğunu göstermektedir.³⁸

Lazy Eye Shooter

Lazy Eye Shooter, birinci şahıs aksiyon oyunu Unreal Tournament 2004 (Epic Games, 2004, CA, ABD) temel alınarak geliştirilmiş terapötik bir video oyunudur. Bu yöntemde ambliyopik birey aynı oyun sahnesini stereoskop veya video gözlük kullanarak iki farklı ekranda görmektedir (**Şekil 1**). Bu yaklaşım aynı anda algısal öğrenme, video oyunu oynama ve dikoptik uyarım sağlar. Ambliyopik bireylerden monoküler algısal öğrenme görevleri, Gabor yamaları⁴² ve dikoptik uyarım içeren özel tasarlanmış bir aksiyon video oyunu oynamaları istenir. Gabor yamaları, kare bir çerçeveye içine alınmış çapraz siyah ve beyaz çizgili bir desene sahip sinüzoidal paternlerdir.⁴³ Ambliyopi çalışmalarında, özellikle algısal öğrenme bağlamında



Şekil 1. Lazy Eye Shooter oyunu. İki oyun ekranı gösterilmektedir. İyi gören göze, soluk ekran (sağda) ve ambliyopik göze, ekstra nesnenin bulunduğu ekran (Gabor yaması; solda) gösterilmektedir. (Bayliss JD, Vedamurthy I, Bavelier D, Nahum M ve Levi D'den alınmıştır, "Lazy eye shooter: A novel game therapy for visual recovery in adult amblyopia", 2012 IEEE International Games Innovation Conference, Rochester, NY, ABD, 2012, pp. 1-4, *IEEE Proceedings* izni ile)

yaygın olarak kullanılırlar. Bayliss ve ark.⁴³ tarafından geliştirilen dikoptik uygulama yönteminde, binoküler füzyonu teşvik etmek amacıyla aynı görüntü (Gabor yamaları hariç) dominant göze kontrastı azaltılarak her iki göze gösterilir. Oyunda, katılımcılardan Gabor yaması olan hedeflere ateş etmeleri ve olmayanlara ateş etmemeleri istenir.⁴³

On dokuz-66 yaş arası 38 erişkinde Lazy Eye Shooter ile kapama tedavisini karşılaştıran bir çalışmada, 40 saatlik tedaviden sonra oyun grubunun görme keskinliğinde ($0,14 \pm 0,01$ logMAR) anlamlı bir iyileşme izlenmiştir.⁴⁴ Ortalama $0,18 \pm 0,05$ log ark saniye (arksn) kazancı ile stereo keskinlikte de anlamlı iyileşme gözlenmiştir. Ek olarak, dikoptik ve algısal öğrenme eğitimi alan katılımcılarda, kontrast duyarlılığı ve okuma hızında artış, dominant gözde görme kaybı korkusunda azalma izlenmiş ve bu gelişmeler 2 ay sabit seyretmiştir.

Ancak bu tedavi yaklaşımının bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır. Şiddet unsurlarının (silah, kan ve şiddet) bulunması nedeniyle Lazy Eye Shooter çocuklar için kullanılamaz.⁴⁴ Yaklaşık 40-50 saat oyun oynama zorunluluğu katılımcıların sıkılmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, mevcut tasarımı ile Gabor yamaları oyunun akışını kesmekte ve oyuncunun konsantrasyonunu etkilemektedir.^{43,44}

3. Binoküler Fonksiyonun Geri Kazanımı için Kontrast Ayarlaması Yoluyla Dikoptik Uyarım Kullanan Yaklaşımlar

Etkileşimli Yaklaşımlar

Falling Blocks

Falling Blocks, Tetris (Tetris Inc., Honolulu, HI, ABD) oyununun değiştirilmiş bir versiyonudur. Blok tabanlı yapısı sayesinde kontrastın etkili biçimde özelleştirilebilmesine olanak tanıdığı için dikoptik uyarımda Tetris tercih edilmiştir.⁴⁵ Geliştirilen ilk prototipte, blokların ambliyopik ve dominant gözlere nasıl sunulması gerektiğini belirlemek amacıyla, her birey için kontrast denge oranı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ambliyopik kişi, boşluksuz blok sıraları oluşturarak daha yüksek seviyelere

geçer. Daha yüksek seviyelerde, kontrast denge oranı yeniden hesaplanarak ve blok düşme hızı artırılarak oyunun zorluğu artırılır ancak oyun oynanamayacak kadar zorlaştırılmaz.⁴⁵

Dikoptik uyarım bu oyunda çeşitli şekillerde sunulabilmektedir. Bu uygulama, Knox ve ark.⁴⁶ ofis ortamında VR başlık kullanarak uygularken To ve ark.⁴⁵ yine ofis ortamında ek ekipman gerektirmeksizin dokunmatik bir iPod® Touch (Apple® Inc., Cupertino, CA, ABD) ile kullanmıştır. Ancak, blokların yerini değiştirmek için baş pozisyonunun sabit olmasına ve çok iyi ince motor becerilere ihtiyaç duyulması nedeniyle, bu tasarım küçük yaştaki ambliyopik çocuklar için uygun değildir.⁴⁷ Sonuçta oyun kırmızı/yeşil anaglif gözlük takarak okuma mesafesinde tutulan daha büyük bir iPad® (Apple® Inc., Cupertino, CA, ABD) ile oynanacak şekilde yeniden yapılandırılmıştır.^{47,48,49,50,51} Oyun öğeleri, ambliyop göze %100 kontrastla, diğer göze ise daha düşük kontrastla sunulmaktadır. Dominant göz için kullanılan kontrast, oyun süresine ve önceki günün performansına bağlı olarak ayarlanmakta; bu değişiklikler %10 artıştan azalmaya veya hiç değişiklik olmamasına kadar çeşitlilik gösterebilmektedir. Falling Blocks kullanılan çalışmalar [Tablo 2](#)'de özetlenmiştir.^{47,48,50,51,52,53,54,55,56}

Pediyatrik Göz Hastalığı Araştırma Grubu ("Pediatric Eye Disease Investigator Group", PEDIG) tarafından yürütülen çok merkezli iki randomize klinik çalışmada, Falling Blocks tedavisi ve kapama tedavisinin ambliyopik göz görme keskinliği üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.^{50,51} Bu çalışmalara, şaşılık (≤ 4 prizma diyoptri [PD]), anizometropik veya mikst tip ambliyopisi olan 5-12 yaş arası 385 çocuk ve 13-16 yaş arası 100 ergen dahil edilmiştir. Çalışmalarda, 16 hafta boyunca günde 1 saat evde oynanan binoküler Falling Blocks tedavisi, günde 2 saat önerilen kapama tedavisi ile karşılaştırılmıştır. Dokunmatik cihaz, oyun oynama süresini kaydetmiş ve dominant göz kontrastını otomatik olarak ayarlamıştır. On altı haftalık süre boyunca, binoküler tedavi grubunda reçete edilen günlük tedavinin en az %75'i 5-12 yaş grubunda %22; 13-16 yaş grubunda ise %13 oranında tamamlanmıştır. Ambliyopik göz görme keskinliğinde, 5-12 yaş grubunda ortalama 1,05 satır (kapama lehine 0,31 satır

Tablo 2. Binoküler fonksiyonu geri kazanmaya yönelik dikoptik uyarım ve kontrastın dikoptik ayarlamasının kullanıldığı etkileşimli yaklaşımlar

Çalışmalar	Çalışma tipi	Örneklem büyüklüğü	Ambliyopi tipi	Yaş	Tedavi süresi	Seans süresi/sıklığı	Tedaviye uyum	Stereo keskinlikte iyileşme (ortalama, log arsn)	Görme keskinliğinde iyileşme	Yan etkiler
Falling blocks										
Li ve ark. ⁴⁸ 2014	Olgu-kontrol	75	Anizometropik, şaşılık veya mikst	4-12	4 hafta	4 saat/hafta	M/D	%11	0,08±0,01 logMAR	M/D
Birch ve ark. ⁴⁷ 2015	Olgu-kontrol	50	Anizometropik, şaşılık veya mikst	3-7	4 hafta	4 saat/hafta	%59	Yok	0,14±0,02 logMAR	M/D
Holmes ve ark. ⁵⁰ 2016	Randomize kontrollü	385	Anizometropik, şaşılık veya mikst	5-12	16 hafta	1 saat/hafta	%22	Yok	1,05 satır	Kayma, çift görme
Manh ve ark. ⁵¹ 2018	Randomize kontrollü	100	Anizometropik, şaşılık veya mikst	13-16	16 hafta	1 saat/hafta	%13	Yok	3,7 harf veya 0,74 satır	Kayma, çift görme
Dig Rush										
Kelly ve ark. ⁵² 2016	Randomize kontrollü	28	Anizometropik, şaşılık veya mikst	4-10	2 hafta	5 gün/hafta, 1 saat/gün	%100	Yok	0,15±0,08 logMAR	Yok
Kelly ve ark. ⁵⁴ 2018	Randomize kontrollü	41	Anizometropik, şaşılık veya mikst	4-10	2 hafta	5 gün/hafta, 1 saat/gün	%94	4,46±0,79	0,14±0,09 logMAR	M/D
Holmes ve ark. ⁵⁵ 2019	Randomize kontrollü	138	Anizometropik, şaşılık veya mikst	7-12	8 hafta	5 gün/hafta, 1 saat/gün	%97	Yok	2,3 harf	Kayma, çift görme
Manny ve ark. ⁵⁶ 2022	Randomize kontrollü	182	Anizometropik, şaşılık veya mikst	4-6	8 hafta	5 gün/hafta, 1 saat/gün	%78	Yok	1,3 logMAR	Çift görme
M/D: Mevcut değil (çalışmada değerlendirilmedi veya rapor edilmedi), logMAR: Minimum çözünürlük açısının logaritması, arsn: Ark saniye										

fark) ve 13-16 yaş grubunda 0,74 satır (kapama lehine 0,52 satır fark) iyileşme gözlenmiştir. Ancak, binoküler tedavi gruplarında başlangıç değerlerine kıyasla stereo keskinlik ölçümlerinde anlamlı bir değişiklik bildirilmemiştir.^{50,51}

Genel olarak, Falling Blocks tedavisinin uygulandığı çalışmalar, bu tedavinin ambliyopik yetişkinlerde görme keskinliği ve stereo keskinlikte daha anlamlı iyileşme sağlayabileceğini öne sürmektedir.^{45,47,48,49,50,51} Çalışma sonuçlarındaki farklılıklar, kontrast denge noktalarının bireye özgü ayarlanıp ayarlanmadığına, dikkat veya motivasyondaki yaşa bağlı farklılıklara ve kontrollü laboratuvar ortamı ile ev ortamı arasındaki farklılıklara bağlanabilir.⁴⁸ PEDIG, Falling Blocks tedavisiyle elde edilen görme keskinliği kazanımlarının, günde 2 saatlik kapama tedavisi kadar etkili olmadığını öne sürmüştür.^{50,51} Bu sonuçların olası nedenleri arasında ilk ve son değerlendirmelerin zamanlaması ve tedavi süresindeki farklılıklar sayılabilir. Bazı çalışmalarda, hastalar daha kısa tedavi sürelerinden (4 hafta) sonra değerlendirilirken,^{45,47,48} PEDIG çalışmalarında daha uzun bir süre (16 hafta) sonra değerlendirilmiştir.^{50,51} Ancak, Li ve ark.⁴⁹ binoküler tedavi



Şekil 2. Dig Rush. Yüksek kontrastlı kırmızı ögeler (madenciler ve ateş topu) ambliyopik göze gösterilir. Dominant göze ise düşük kontrastlı mavi ögeler (altın ve platformlar) gösterilir. Gri ögeler (kayaçlar ve zemin) her iki göze de gösterilir. (Vision'ın izni ile Boniquet-Sanchez ve Sabater-Cruz'dan⁵³ çoğaltılmıştır)

ile elde edilen görme keskinliği kazanımının 12 aya kadar devam edebileceğini öne sürmüştür. Daha büyük bir etki elde edilememesinin bir başka nedeni, katılımcıların oyuna olan ilgilerini kaybetmeleridir. Bu durum, tedaviye uyum sorunlarının ele alınmasının ve tedaviyi daha ilgi çekici hale getirecek sürükleyici çocuk oyunları, binoküler birinci şahıs aksiyon oyunları ve binoküler film izleme uygulamaları gibi yenilikçi alternatiflerin geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Dig Rush

Dig Rush, kırmızı/yeşil anaglif gözlükler kullanarak iPad ile oynanan bir aksiyon-macera oyunudur. Oyuna ilişkin kapsamlı bilgi Kelly ve ark.⁵² tarafından sunulmaktadır. Kırmızı/yeşil anaglif gözlükler, her bir göze farklı oyun öğelerinin gösterilmesini mümkün kılmaktadır. Oyunda, yüksek kontrastlı öğeler (madenciler ve canavarlar) ambliyopik göz tarafından, düşük kontrastlı öğeler (maden arabası, altın ve ateş) dominant göz tarafından görülebilmektedir (**Şekil 2**).⁵³ Oyunda, ambliyopik gözün kontrast seviyesi %100'e ayarlanmıştır; dominant gözün başlangıç kontrast seviyesi ise hekim tarafından belirlenebilmektedir. Oyunda başarı sağlandıkça dominant gözün kontrastı artarken 30 dakikada başarı sağlanamaması kontrastın azalmasına neden olmaktadır. Dokunmatik cihaz, oyun süresini ve dominant göz kontrastını kaydederek başarı oranına göre kontrastı otomatik olarak ayarlamaktadır.

Dig Rush kullanılan çalışmalar **Tablo 2**'de özetlenmiştir. Çok merkezli iki randomize kontrollü çalışmada, PEDIG, Dig Rush'ın ambliyopik göz görme keskinliği üzerindeki etkilerini sadece gözlük kullanımı ile karşılaştırmıştır.^{55,56} Bu çalışmalardan ilkinde, şaşılık (≤ 4 PD), anizometropik veya mikst tip ambliyopisi olan 7-12 yaş arası 138 çocuk dahil edilmiş ve tedaviye objektif uyumun 4. haftada %58 ve 8. haftada %56 olduğu bildirilmiştir. Binoküler tedavi grubunda ambliyopik gözün görme keskinliğinde 4. haftada 1,3 harf ve 8. haftada 2,3 harflik bir iyileşme izlenmiştir. Ancak, stereo keskinlik ölçümlerinde başlangıç değerlerine kıyasla anlamlı fark gözlenmemiştir.⁵⁵

Dig Rush çalışmalarına dahil edilen yaş grupları farklılık göstermektedir. Kelly ve ark.^{52,54} çalışmalarına 4-10 yaş arası çocukları dahil ederken, PEDIG çalışmalarına^{55,56} 7-12 ve 4-6 yaş arası çocuklar dahil edilmiştir. Bu çalışmaların sonuçları arasındaki farklılıklar yaş gruplarının farklı olmasına bağlanmıştır.^{54,55} İleri yaş grupları, daha önce ambliyopi tedavisi (kapama, atropin vs.) almış olabileceğinden bir tedavi platosuna ulaşmış olabilirler; bu durum yeni tedavilere daha az duyarlı olmalarına neden olarak sınırlı bir iyileşme sağlayabilir. Daha genç yaş grupları ve/veya daha önce ambliyopi tedavisi almamış çocuklar binoküler tedavilere daha duyarlı olabilir. Bununla birlikte, aynı protokol 4-6 yaş arası çocuklara uygulandığında, 4. haftada gözlenen görme keskinliği iyileşmeleri 8. haftada korunmamıştır. Öngörülen tedavi süresine uyumdaki değişkenlik de tutarsız sonuçların bir nedeni olabilir.^{54,55} Kelly ve ark.^{52,54} tarafından yapılan çalışmalarda uyum oranının yüksek olmasının (%87-100) görme keskinliği ve binoküler sonuçlarda anlamlı iyileşme ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Buna karşılık, PEDIG çalışması, 7-12 yaş arasındaki çocuklarda %56-75 arasında

değişen uyum oranları bildirmiştir.⁵⁵ PEDIG, bunu Dig Rush oyununun tasarımına bağlamış ve oyunun daha küçük çocuklar için daha çekici olacağı varsayımıyla, 4-6 yaş grubunu içeren sonraki bir çalışmada daha yüksek uyum oranları beklemiştir. Ancak beklentilerin aksine, bu daha küçük yaş grubunda %43-57 arasında daha düşük uyum oranları gözlemlenmiştir.⁵⁶ Bu bulgular, Dig Rush oyununa uyumun yaş grubuna ve bireysel özelliklere bağlı olarak değişebileceğini düşündürmekte ve oyun temelli tedavilerin etkinliğini değerlendirirken yaşa bağlı farklılıkları dikkate almanın önemini vurgulamaktadır.

Vivid Vision®

Vivid Vision® (Vivid Vision Inc., San Francisco, CA, ABD) oyunları, VR gözlükler ile dikoptik görsel deneyim sağlayan oyunlardır. Orijinal adı Diplopia olan oyunlar artık şirketin adı olan Vivid Vision® olarak bilinmektedir. Kendisi de şaşılık ve ambliyopi hastası olan Blaha ve Gupta⁵⁷ tarafından 2014 yılında tasarlanan Diplopi modu, her göze farklı bir görüntü sunarak gözlerin oyunda başarılı olmak için birlikte çalışmasını zorunlu kılar. Amaç, her bir göze verilen bilgiyi sınırlayarak oyuncunun her iki görsel girdiyi tek bir tutarlı görüntüye dönüştürmesini teşvik etmektir.

Anizometropik ambliyopisi olan 17-69 yaş arası 17 yetişkinin katıldığı bir pilot çalışmada, haftada iki kez oynanan ve 40 dakika süren Vivid Vision® oyunlarından 4 hafta sonra, ambliyopik gözde hem görme keskinliğinde hem de stereo keskinlikte anlamlı iyileşme izlenmiştir (**Şekil 3**).⁵⁸ Bu iyileşmeler oyun içinde yapılan test ölçümleriyle uyumlu bulunmuş ve dirençli çift görme veya başka bir yan etki bildirilmemiştir.⁵⁹

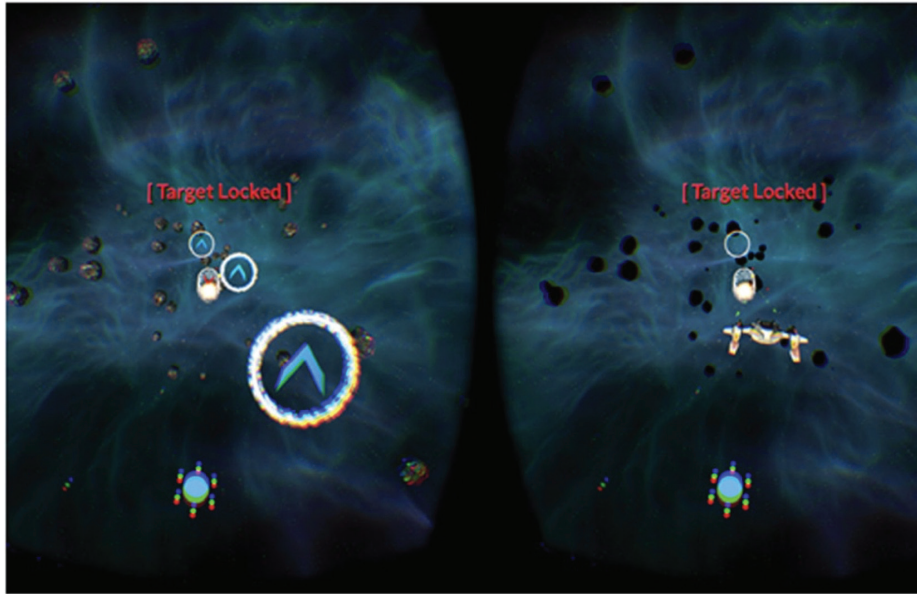
Ancak, Vivid Vision® oyunlarının kısıtlılıkları vardır. Geliştiriciler, VR gözlüklerin neden olduğu simülasyon hastalığının,⁶⁰ özellikle çocuklar için önemli bir engel oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, VR gözlüklerin akomodasyon değişikliklerini takip edememesi ve tasarımın başa tam oturmaması, sistemin daha küçük çocuklarda kullanılamamasının diğer nedenleridir. Şaşılık ambliyopisi olgularında anormal retinal korespondans gelişmesi riski konusunda da endişeler mevcuttur.

Pasif Yaklaşımlar

Kontrast Dengeli Dikoptik Filmler

Dikoptik filmler, popüler animasyon filmleri veya televizyon programlarının dikoptik biçimde hazırlanmış uzun uyarlamalarıdır. Bu filmler, polarize^{61,62,63} veya shutter gözlükler,⁶⁴ VR başlıklar⁶⁵ veya ek görüntüleme ekipmanı olmadan özel cihazlarla⁶⁶ görüntülenebilmektedir. Böyle bir filmin bir örneği **Şekil 4**'te gösterilmiştir.

Şaşılık (≤ 5 PD), anizometropik veya mikst tip ambliyopisi olan 4-10 yaş arası 8 hastanın dahil edildiği bir pilot çalışmada, dikoptik filmlerin 2 hafta boyunca, haftada 3 kez laboratuvar ortamında izlenmesinin etkisi görme keskinliği, stereo keskinlik ve gözler arası supresyon açısından değerlendirilmiştir.⁶¹ Ambliyopik gözde görme keskinliğinde ortalama 2,0 logMAR anlamlı iyileşme meydana gelmiştir. Stereo keskinlik veya gözler arası supresyonda anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu iyileşme düzeyi özellikle küçük yaş grubunda (3-6 yaş) ve



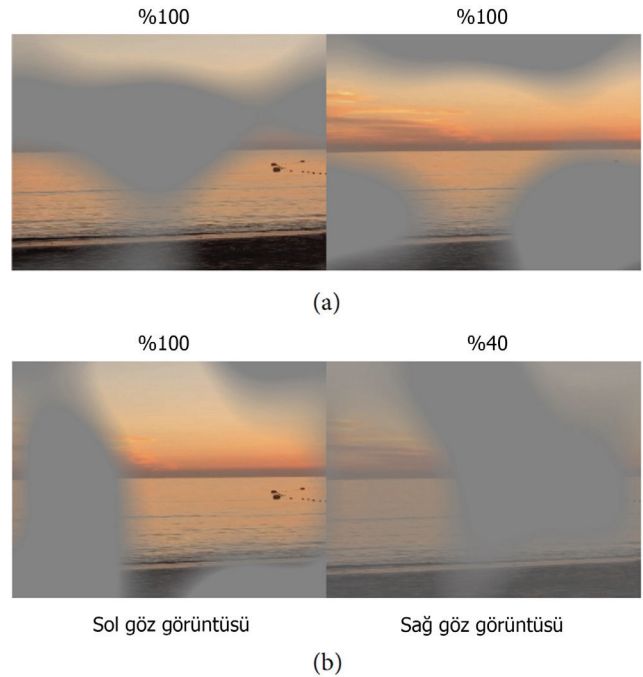
Şekil 3. Vivid Vision® Ring Runner. Bu uzay oyununda, görüntünün merkezi bölümü farklılaştırılarak bir dikoptik ortam oluşturulmuştur. Renkli kapılar ve asteroidler sadece ambliyopik gözle görülebilenken, uzay gemisi sadece dominant gözle görülebilmektedir. Uzay gemisi, hile yapılmasını önlemek için dominant göze sunulur, çünkü oyundaki tüm nesneler ambliyopik gözle görülürse, hastanın dominant gözü kapatarak monoküler olarak ambliyopik gözü kullanma riski vardır (*BMC Ophthalmology*'nin izni ile Žiak ve ark.'dan³⁸ çoğaltılmıştır)

şiddetli ambliyopi olgularında ($\geq 0,7$ logMAR) daha yüksek bulunmuştur.⁶² Tedavi başlangıcında ölçülebilir stereo keskinlik değerlerine (170 arksn) sahip anizometropik ambliyopi olgularında stereo keskinlik, tedaviden sonra anlamlı artış (85 arksn) göstermiştir.⁶⁴ Ek olarak, stereo keskinlikteki bu kazanım, ambliyopik gözün hem başlangıç görme keskinliğiyle hem de görme keskinliğindeki mutlak artışla ilişkili bulunmuştur. Pasif dikoptik yaklaşımların kullanıldığı çalışmalar [Tablo 3](#)'te özetlenmiştir.

Ortalama yaşı 34 olan 17 ambliyopik bireyin dahil edildiği bir çalışmada, terapötik film seanslarından önce ambliyopik gözün 2 saat kapatılmasının, ambliyopik gözde görme keskinliğinde anlamlı iyileşme sağladığı ve 1 aylık izlemde kazanımların devam ettiği gösterilmiştir.⁶³ Bu çalışma, kısa süreli monoküler yoksunluğun, uyarıcı/baskılayıcı dengesindeki değişiklikler üzerinden binoküler beyin plastisitesini aktive edebileceğini ve potansiyel olarak dikoptik eğitimin sonuçlarını iyileştirebileceğini göstermiştir.⁶³

Bu bulgular, pasif dikoptik film eğitiminin ambliyopik yetişkinlerde ve daha büyük çocuklarda stereo keskinliği artırabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, 2 hafta boyunca haftada 3 kez film izleme tedavisinin, görme keskinliğini ve stereo keskinliği artırmada, günde 2 saat kapama tedavisinden daha etkili olduğu bulunmuştur.⁶⁶

Dikoptik filmlerdeki en yeni gelişme Luminopia™ One (Luminopia Inc., Cambridge, MA, ABD) tedavisidir. FDA onaylı ilk dijital tedavi olan Luminopia™ One, anizometropik ve/veya hafif şaşılık olan 4-7 yaş arası çocukların bir göz hekimi gözetiminde, VR set aracılığıyla yaklaşık 700 saatlik



Şekil 4. Dikoptik film kesitleri (a, b) 10 saniyelik aralıklarla. a) Görüntüler %100 kontrastla her iki göze gösterilmektedir. b) Ambliyopik göze yüksek kontrastlı görüntü gösterilirken, dominant göze düşük kontrastlı görüntü gösterilir (*Neural Plasticity*'nin izniyle Sauvan ve ark.'dan⁶³ çoğaltılmıştır)

Tablo 3. Binoküler fonksiyonu geri kazanmaya yönelik dikoptik uyarım ve kontrastın dikoptik ayarlamasının kullanıldığı pasif yaklaşımlar

Çalışmalar	Çalışma tipi	Örneklem büyüklüğü	Ambliyopi tipi	Yaş (y)	Tedavi süresi	Seans süresi/sıklığı	Tedaviye uyum	Üç boyutlu görmede iyileşme	Görme keskinliğinde iyileşme	Yan etkiler
Dikoptik filmler										
Li ve ark. ⁶¹ 2015	Prospektif kohort	8	Anizometropik, şaşılık veya mikst	4-10	2 hafta	3 gün/hafta	M/D	Yok	2 logMAR	M/D
Birch ve ark. ⁶² 2019	Prospektif kohort	27	Anizometropik, şaşılık veya mikst	4-10	2 hafta	3 gün/hafta	M/D	Yok	0,15±0,10 logMAR	M/D
Sauvan ve ark. ⁶³ 2019	Prospektif kohort	17	Anizometropik, şaşılık veya mikst	9-67	2 hafta	3 gün/hafta	M/D	M/D	0,08 logMAR	M/D
Jost ve ark. ⁶⁶ 2022	Randomize kontrollü	60	Anizometropik, şaşılık veya mikst	3-7	2 hafta	3 gün/hafta	%95	0,12 log arksn	0,07 logMAR	M/D
Bossi ve ark. ⁶⁴ 2017	Kohort	22	Anizometropik, şaşılık veya mikst	3-11	8 hafta	1 saat/gün	%68	165±182 log arksn	0,39±0,25 logMAR	Yok
Luminopia™ One										
Xiao ve ark. 2022 ⁶⁵	Randomize kontrollü	105	Anizometropik, şaşılık veya mikst	4-8	12 hafta	1 saat/gün, 6 gün/hafta	%88,2	Yok	0,18 logMAR	Baş ağrısı, kayma
M/D: Mevcut değil (çalışmada değerlendirilmedi veya rapor edilmedi), logMAR: Minimum çözünürlük açısının logaritması, arksn: Ark saniye										

popüler televizyon programları ve filmleri izlemesine olanak sağlar.⁶⁷ VR başlıklarının küçük yaştaki çocuklarda kullanımına ilişkin sorunlar göz önünde bulundurularak, Luminopia™ One, ayarlanabilir pupiller mesafe ve çocukların baş yapısına uygun sabitleyici kayış sistemiyle özel olarak tasarlanmıştır. Cihazın terapötik görsel girdisi, her bir göze VR başlık aracılığıyla iletilmekte olup, bu süreç önceden akıllı telefona yüklenmiş bir yazılım uygulaması tarafından kontrol edilmektedir.

Pilot bir çalışmadan elde edilen cesaret verici sonuçların ardından,⁶⁸ tam zamanlı gözlük kullanımı ile 12 hafta boyunca haftada 6 gün, günde 1 saat süreyle Luminopia™ One kullanılarak uygulanan dikoptik tedaviyi karşılaştırmak amacıyla çok merkezli, randomize kontrollü bir çalışma yürütülmüştür.⁶⁵ Bu çalışmanın sonuçları, 12 haftalık tedaviden sonra, ambliyopik göz görme keskinliğinin dikoptik tedavi grubunda tam zamanlı gözlük grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha iyi olduğunu göstermiştir.

Dikoptik Uyarıma Dayalı Binoküler Yaklaşımların Tartışmalı Yönleri

Dikoptik uyarıma dayalı binoküler yaklaşımların kullanıldığı çalışmalar, binoküler görmeyi teşvik ederek ve görme korteksinde baskılayıcı etkileşimleri azaltarak binoküler işlev bozukluğunu doğrudan hedef alan ambliyopi tedavilerinin geliştirilmesine olan ilgiyi artırmıştır.^{3,24} Pilot çalışmalarda stereo keskinlikte iyileşme olduğu bildirilmesine rağmen,^{39,41,43,47,58,64} bu sonuçlar çok merkezli randomize kontrollü çalışmalarla desteklenmemiştir. Dominant gözde kontrastın ne kadar azaltılacağı, tedavi boyunca kontrast değişim hızı ve eşit kontrast elde edildikten sonra tedavinin devam edip etmeyeceği konusunda temel belirsizlikler devam etmektedir.^{50,51} Bireyler arasındaki ambliyopi şiddetinin değişkenliği, başlangıç ve takip eden kontrast oranlarının her bir ambliyopik hastaya özel olarak belirlenmesini gerekli kılmaktadır.⁴⁵ Ayrıca, 0 ile 2000 arksn arasındaki eşikleri ölçebilen bir stereo keskinlik testinin

bulunmaması, başlangıçta ölçülebilir stereo keskinliğe sahip birey sayısında azalmaya yol açmıştır. Bununla birlikte, farklı yaş gruplarında farklı stereo keskinlik testlerinin kullanılması, sonuçların karşılaştırılabilirliğini azaltabilmektedir.⁴⁶ Ayrıca, binoküler tedavi sonucu gözlenen iyileşmenin öğrenme etkisinden kaynaklanıp kaynaklanmadığı konusunda endişeler vardır. Ancak dominant gözün görme keskinliğini değerlendiren çalışmalarda anlamlı bir artış gözlenmemiştir, bu da ambliyopik gözdeki iyileşmelerin öğrenme sonucu ortaya çıkma olasılığının düşük olduğunu düşündürmektedir.^{50,51,55,56,61,62,63,64}

Dikoptik uyarıma dayalı binoküler tedaviyi etkili bir şekilde uygulamak, maksimum hasta sayısına ulaşmak ve monoküler yaklaşımlarla rekabet edebilmek için, hastaların evde kullanabilecekleri tedavi alternatiflerine acil ihtiyaç vardır.⁴⁵ Ancak, bu yaklaşımdaki en etkili modeller genellikle klinik ortamda uygulanan, hekim gözetiminde yürütülen ve hastanın bireysel hedeflerine göre uyarlanmış tedavi yaklaşımlarıdır. Ayrıca, tedaviye uyumun takip edilmesi için tutulan elektronik kayıtlar ile ebeveyn bildirimleri arasındaki tutarsızlıklar, gerekli ekipmanın gerçekten kullanılıp kullanılmadığına dair belirsizlikler ve tedavinin ambliyop hasta tarafından bizzat uygulanmamış olma olasılığı, ev temelli tedavilerin güvenilirliğini sorgulatan önemli unsurlardır.^{50,51,55,56}

Şaşılık veya mikst tip ambliyopisi olan hastalarda yapılan binoküler tedavi çalışmalarına, sadece ameliyat sonrası veya gözlükle kayma açısı 4-5 PD veya daha az olanlar dahil edilmiştir. Araştırmacılar, elde edilen sonuçların daha büyük kayma açısına sahip olgular veya yoksunluk ambliyopisi (konjenital katarakt vs.) gibi diğer ambliyopi türlerine genellenmemesi gerektiğini vurgulamışlardır.^{52,54}

Dikoptik uyarıma dayanan binoküler tedavilerin etki mekanizması anti-supresyon yolları üzerinden etkili olabileceğinden, bu tedavilerin diplopi gelişimine yol

açabileceğine dair endişeler dile getirilmiştir. Ancak bu çalışmalarda diplopi nadiren bildirilmiştir.^{50,56}

Ambliyopi rehabilitasyonu için binoküler yaklaşımlara ilgi artmasına rağmen, dikoptik uyarımın kalabalıklaşma (*crowding*) fenomeni üzerinde etkisinin araştırıldığı çalışma sayısı oldukça sınırlıdır.^{69,70} Ambliyopide kontrast duyarlılık kaybının monoküler koşullarda kalabalıklaşma etkisini artırdığı bilinmektedir. Algısal öğrenmeye dayalı ambliyopi tedavilerinde monoküler kontrast duyarlılık arttıkça kalabalıklaşma etkisinin azaldığı görülmüştür.⁷¹ Erken dönem araştırmalar, kalabalıklaşma etkisinin dikoptik olarak da ortaya çıkabileceğini göstermiştir; ancak farklı uyaran türlerinin (uyaran benzerliği, görsel ortam düzeni ve dikkat) seçici doğası, çalışmalar arasındaki karşılaştırmaları güçleştirmektedir.⁷² Binoküler yaklaşımlara yönelik birkaç pilot çalışma, gözler arasındaki kontrast farkının dikoptik uyarım yoluyla dengelenmesinin kalabalıklaşma etkisini azaltabileceğini öne sürmüştür.⁷³ Ancak bu alandaki kapsamlı araştırmaların yetersizliği, binoküler yaklaşımların kalabalıklaşma etkisini nasıl azaltabileceğine dair anlayışımızı sınırlamakta ve bu yöntemlerin görsel rehabilitasyonda etkili bir müdahale olarak potansiyelini kısıtlamaktadır.

Sonuç

Dikoptik temelli binoküler tedaviler, binoküler işlev bozukluklarını doğrudan ele alıp binoküler görmeyi destekleyerek ambliyopi tedavisinde önemli ilerlemeler sunmaktadır. Bu yaklaşımlar, görsel korteksteki baskılayıcı etkileşimleri azaltarak stereo keskinlikte iyileşme ve kalabalıklaşma etkisinde hafifleme amaçlamaktadır. Pilot çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edilmesine rağmen, bu bulgular henüz geniş çaplı, çok merkezli randomize kontrollü çalışmalarla doğrulanmamıştır. Dominant gözde ne kadar kontrast azaltılması gerektiği, görme düzeyindeki iyileşmenin hızı ve eşit kontrast sağlandıktan sonraki tedavi süresi gibi temel parametrelerde belirsizlikler devam etmektedir. Ayrıca, ambliyopi şiddetindeki bireysel farklılıklar, kişiselleştirilmiş tedavi protokollerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Evde uygulanabilen yaklaşımlar, erişilebilirliği ve hasta iş birliğini artırma açısından avantajlı görünse de uygulama sürecine uyum ve güvenilirlik ile ilgili kaygılar tedavi etkinliğini kısıtlamaktadır. Bunun yanı sıra, nadir de olsa, anti-supresyon yolları üzerinden diplopi gelişme potansiyeli göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm bu zorluklara rağmen gelecekteki araştırmalarla mevcut sınırlamaların aşılması ve kalabalıklaşma etki mekanizmalarının daha iyi anlaşılması halinde dikoptik tedaviler, ambliyopi tedavisinde önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Beyan

Yazarlık Katkıları

Cerrahi ve Medikal Uygulama: D.Y., H.T.Ş., Konsept: D.Y., H.T.Ş., Dizayn: D.Y., H.T.Ş., Veri Toplama veya İşleme: D.Y., H.T.Ş., Analiz veya Yorumlama: D.Y., H.T.Ş., Literatür Arama: D.Y., H.T.Ş., Yazan: D.Y., H.T.Ş.

Çıkar Çatışması: Yazarlar bu makale ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

Finansal Destek: Çalışmamız için hiçbir kurum ya da kişiden finansal destek alınmamıştır.

Kaynaklar

1. Wright KW. Binocular vision and introduction to strabismus. In: Wright KW, Yi Ning J, Strube YNJ, eds. Pediatric ophthalmology and strabismus 3rd ed. USA; Oxford University Press; 2012:231-247.
2. Fu VL, Norcia AM, Birch EE. Fusional suppression in accommodative and infantile esotropia. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2006;47:2450.
3. Birch EE. Amblyopia and binocular vision. Prog Retin Eye Res. 2013;33:67-84.
4. Yıldız AA, Bardak Y. Effectiveness of patching in correcting refractive errors in cases with anisometropic amblyopia. Turk J Ophthalmol. 2014;4:385-388.
5. Loudon SE, Simonsz HJ. The history of the treatment of amblyopia. Strabismus. 2005;13:93-106.
6. Repka MX, Beck RW, Holmes JM, Birch EE, Chandler DL, Cotter SA, Hertle RW, Kraker RT, Moke PS, Quinn GE, Scheiman MM; Pediatric Eye Disease Investigator Group. A randomized trial of patching regimens for treatment of moderate amblyopia in children. Arch Ophthalmol. 2003;121:603-611.
7. Holmes JM, Kraker RT, Beck RW, Birch EE, Cotter SA, Everett DE, Hertle RW, Quinn GE, Repka MX, Scheiman MM, Wallace DK; Pediatric Eye Disease Investigator Group. A randomized trial of prescribed patching regimens for treatment of severe amblyopia in children. Ophthalmology. 2003;110:2075-2087.
8. Stewart CE, Moseley MJ, Stephens DA, Fielder AR. Treatment dose-response in amblyopia therapy: the Monitored Occlusion Treatment of Amblyopia Study (MOTAS). Invest Ophthalmol Vis Sci. 2004;45:3048-3054.
9. Stewart CE, Stephens DA, Fielder AR, Moseley MJ; ROTAS Cooperative. Objectively monitored patching regimens for treatment of amblyopia: randomised trial. BMJ. 2007;335:707.
10. Vagge A, Gunton KB, Schnall B. A pilot study using electronic reminders for amblyopia treatment. Strabismus. 2018;26:184-190.
11. von Noorden GK, Campos EC. Patching regimens. Ophthalmology. 2004;111:1063-1066.
12. Somer D, Yabanoğlu D. Current refractive adaptation process and approach to patching treatment in amblyopia in light of studies monitoring patching time: traditional review. Türkiye Klinikleri J Ophthalmol. 2022;31:92-100.
13. Kushner BJ. Patching regimens for amblyopia. Ophthalmology. 2005;112:736-737.
14. Pediatric Eye Disease Investigator Group; Wallace DK, Lazar EL, Holmes JM, Repka MX, Cotter SA, Chen AM, Kraker RT, Beck RW, Clarke MP, Lorenzana JJ, Petersen DB, Roberts JT, Suh DW. A randomized trial of increasing patching for amblyopia. Ophthalmology. 2013;120:2270-2277.
15. Pediatric Eye Disease Investigator Group. Pharmacological plus optical penalization treatment for amblyopia: results of a randomized trial. Arch Ophthalmol. 2009;127:22-30.
16. Repka MX, Gallin PE, Scholz RT, Guyton DL. Determination of optical penalization by vectographic fixation reversal. Ophthalmology. 1985;92:1584-1586.
17. Pediatric Eye Disease Investigator Group. A randomized trial of atropine vs. patching for treatment of moderate amblyopia in children. Arch Ophthalmol. 2002;120:268-278.
18. Repka MX, Cotter SA, Beck RW, Kraker RT, Birch EE, Everett DE, Hertle RW, Holmes JM, Quinn GE, Sala NA, Scheiman MM, Stager DR Sr, Wallace DK; Pediatric Eye Disease Investigator Group. A randomized trial of atropine regimens for treatment of moderate amblyopia in children. Ophthalmology. 2004;111:2076-2085.
19. Pediatric Eye Disease Investigator Group; Repka MX, Kraker RT, Beck RW, Holmes JM, Cotter SA, Birch EE, Astle WF, Chandler DL, Felius J, Arnold RW, Tien DR, Glaser SR. A randomized trial of atropine vs patching for treatment of moderate amblyopia: follow-up at age 10 years. Arch Ophthalmol. 2008;126:1039-1044.

20. Agervi P, Kugelberg U, Kugelberg M, Simonsson G, Fornander M, Zetterström C. Treatment of anisometropic amblyopia with spectacles or in combination with translucent Bangerter filters. *Ophthalmology*. 2009;116:1475-1480.
21. Pediatric Eye Disease Investigator Group Writing Committee; Rutstein RP, Quinn GE, Lazar EL, Beck RW, Bonsall DJ, Cotter SA, Crouch ER, Holmes JM, Hoover DL, Leske DA, Lorenzana JJ, Repka MX, Suh DW. A randomized trial comparing Bangerter filters and patching for the treatment of moderate amblyopia in children. *Ophthalmology*. 2010;117:998-1004.
22. Polat U, Ma-Naim T, Belkin M, Sagi D. Improving vision in adult amblyopia by perceptual learning. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2004;101:6692-6697.
23. Chen PL, Chen JT, Fu JJ, Chien KH, Lu DW. A pilot study of anisometropic amblyopia improved in adults and children by perceptual learning: an alternative treatment to patching. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2008;28:422-428.
24. Hess RF, Thompson B. Amblyopia and the binocular approach to its therapy. *Vision Res*. 2015;114:4-16.
25. Grant S, Moseley MJ. Amblyopia and real-world visuomotor tasks. *Strabismus*. 2011;19:119-128.
26. Kind PC, Mitchell DE, Ahmed B, Blakemore C, Bonhoeffer T, Sengpiel F. Correlated binocular activity guides recovery from monocular deprivation. *Nature*. 2002;416:430-433.
27. Baker DH, Meese TS, Mansouri B, Hess RF. Binocular summation of contrast remains intact in strabismic amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48:5332-5338.
28. Mansouri B, Thompson B, Hess RF. Measurement of suprathreshold binocular interactions in amblyopia. *Vision Res*. 2008;48:2775-2784.
29. Hess RF, Mansouri B, Thompson B. A new binocular approach to the treatment of amblyopia in adults well beyond the critical period of visual development. *Restor Neurol Neurosci*. 2010;28:793-802.
30. Eastgate RM, Griffiths GD, Waddingham PE, Moody AD, Butler TK, Cobb SV, Comaish IF, Haworth SM, Gregson RM, Ash IM, Brown SM. Modified virtual reality technology for treatment of amblyopia. *Eye (Lond)*. 2006;20:370-374.
31. Brown R, Blanchfield P, Fakis A, McGraw P, Foss AJE; I-BiT Study Group. Clinical investigation plan for the use of interactive binocular treatment (I-BiT) for the management of anisometropic, strabismic and mixed amblyopia in children aged 3.5-12 years: a randomised controlled trial. *Trials*. 2019;20:437.
32. Herbison N, Cobb S, Gregson R, Ash I, Eastgate R, Purdy J, Hepburn T, MacKeith D, Foss A; I-BiT study group. Interactive binocular treatment (I-BiT) for amblyopia: results of a pilot study of 3D shutter glasses system. *Eye (Lond)*. 2013;27:1077-1083.
33. Waddingham PE, Butler TK, Cobb SV, Moody AD, Comaish IF, Haworth SM, Gregson RM, Ash IM, Brown SM, Eastgate RM, Griffiths GD. Preliminary results from the use of the novel interactive binocular treatment (I-BiT) system, in the treatment of strabismic and anisometropic amblyopia. *Eye (Lond)*. 2006;20:375-378.
34. Herbison N, MacKeith D, Vivian A, Purdy J, Fakis A, Ash IM, Cobb SV, Eastgate RM, Haworth SM, Gregson RM, Foss AJ. Randomised controlled trial of video clips and interactive games to improve vision in children with amblyopia using the I-BiT system. *Br J Ophthalmol*. 2016;100:1511-1516.
35. Rajavi Z, Sabbaghi H, Amini Sharifi E, Behradfar N, Yaseri M. The role of interactive binocular treatment system in amblyopia therapy. *J Curr Ophthalmol*. 2016;28:217-222.
36. Rajavi Z, Sabbaghi H, Amini Sharifi E, Behradfar N, Kheiri B. Comparison between patching and interactive binocular treatment in amblyopia: a randomized clinical trial. *J Curr Ophthalmol*. 2019;31:426-431.
37. Xu JP, He ZJ, Ooi TL. Effectively reducing sensory eye dominance with a push-pull perceptual learning protocol. *Curr Biol*. 2010;20:1864-1868.
38. Ooi TL, Su YR, Natale DM, He ZJ. A push-pull treatment for strengthening the 'lazy eye' in amblyopia. *Curr Biol*. 2013;23:309-310.
39. Xu JP, He ZJ, Ooi TL. Push-pull training reduces foveal sensory eye dominance within the early visual channels. *Vision Res*. 2012;61:48-59.
40. Ooi TL, He ZJ. Sensory eye dominance: relationship between eye and brain. *Eye Brain*. 2020;12:25-31.
41. Shi W, He L, Lv B, Li L, Wu T. Evaluating the acute effect of stereoscopic recovery by dichoptic stimulation using electroencephalogram. *Comput Math Methods Med*. 2020;2020:9497369.
42. Vedamurthy I, Nahum M, Bavelier D, Levi DM. Mechanisms of recovery of visual function in adult amblyopia through a tailored action video game. *Sci Rep*. 2015;5:8482.
43. Bayliss JD, Vedamurthy I, Nahum M, Levi D, Bavelier D. Lazy eye shooter: making a game therapy for visual recovery in adult amblyopia usable. In: Marcus A. Design, User Experience, and Usability. Health, Learning, Playing, Cultural, and Cross-Cultural User Experience. Springer Berlin Heidelberg; 2013:352-360.
44. Vedamurthy I, Nahum M, Huang SJ, Zheng F, Bayliss J, Bavelier D, Levi DM. A dichoptic custom-made action video game as a treatment for adult amblyopia. *Vision Res*. 2015;114:173-187.
45. To L, Thompson B, Blum JR, Maehara G, Hess RF, Cooperstock JR. A game platform for treatment of amblyopia. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2011;19:280-289.
46. Knox PJ, Simmers AJ, Gray LS, Cleary M. An exploratory study: prolonged periods of binocular stimulation can provide an effective treatment for childhood amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012;53:817-824.
47. Birch EE, Li SL, Jost RM, Morale SE, De La Cruz A, Stager D Jr, Dao L, Stager DR Sr. Binocular iPad treatment for amblyopia in preschool children. *J AAPOS*. 2015;19:6-11.
48. Li SL, Jost RM, Morale SE, Stager DR, Dao L, Stager D, Birch EE. A binocular iPad treatment for amblyopic children. *Eye (Lond)*. 2014;28:1246-1253.
49. Li SL, Jost RM, Morale SE, De La Cruz A, Dao L, Stager D Jr, Birch EE. Binocular iPad treatment of amblyopia for lasting improvement of visual acuity. *JAMA Ophthalmol*. 2015;133:479-480.
50. Holmes JM, Manh VM, Lazar EL, Beck RW, Birch EE, Kraker RT, Crouch ER, Erzurum SA, Khuddus N, Summers AI, Wallace DK; Pediatric Eye Disease Investigator Group. Effect of a binocular iPad game vs part-time patching in children aged 5 to 12 years with amblyopia: a randomized clinical trial. *JAMA Ophthalmol*. 2016;134:1391-1400.
51. Manh VM, Holmes JM, Lazar EL, Kraker RT, Wallace DK, Kulp MT, Galvin JA, Shah BK, Davis PL; Pediatric Eye Disease Investigator Group. A randomized trial of a binocular iPad game versus part-time patching in children aged 13 to 16 years with amblyopia. *Am J Ophthalmol*. 2018;186:104-115.
52. Kelly KR, Jost RM, Dao L, Beauchamp CL, Leffler JN, Birch EE. Binocular iPad game vs patching for treatment of amblyopia in children: a randomized clinical trial. *JAMA Ophthalmol*. 2016;134:1402-1408.
53. Boniquet-Sanchez S, Sabater-Cruz N. Current management of amblyopia with new technologies for binocular treatment. *Vision (Basel)*. 2021;5:31.
54. Kelly KR, Jost RM, Wang YZ, Dao L, Beauchamp CL, Leffler JN, Birch EE. Improved binocular outcomes following binocular treatment for childhood amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2018;59:1221-1228.
55. Pediatric Eye Disease Investigator Group; Holmes JM, Manny RE, Lazar EL, Birch EE, Kelly KR, Summers AI, Martinson SR, Raghuram A, Colburn JD, Law C, Marsh JD, Bitner DP, Kraker RT, Wallace DK. A randomized trial of binocular dig rush game treatment for amblyopia in children aged 7 to 12 years. *Ophthalmology*. 2019;126:456-466.
56. Manny RE, Holmes JM, Kraker RT, Li Z, Waters AL, Kelly KR, Kong L, Crouch ER, Lorenzana JJ, Alkharashi MS, Galvin JA, Rice ML, Melia BM, Cotter SA; Pediatric Eye Disease Investigator Group. A randomized trial of binocular dig rush game treatment for amblyopia in children aged 4 to 6 years. *Optom Vis Sci*. 2022;99:213-227.
57. Blaha J, Gupta M. Diplopia: a virtual reality game designed to help amblyopics. *IEEE Virtual Reality (VR)*. 2014:163-164.
58. Žiak P, Holm A, Halička J, Mojžiš P, Piñero DP. Amblyopia treatment of adults with dichoptic training using the virtual reality oculus rift head mounted display: preliminary results. *BMC Ophthalmol*. 2017;17:105.

59. Aderman CM, Deiner M, Gupta M, Blaha J, Levin MH. Dichoptic virtual reality therapy for amblyopia in adults. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015;56:2191.
60. Dużmańska N, Strojny P, Strojny A. Can simulator sickness be avoided? A review on temporal aspects of simulator sickness. *Front Psychol.* 2018;9:2132.
61. Li SL, Reynaud A, Hess RF, Wang YZ, Jost RM, Morale SE, De La Cruz A, Dao L, Stager D Jr, Birch EE. Dichoptic movie viewing treats childhood amblyopia. *J AAPOS.* 2015;19:401-405.
62. Birch EE, Jost RM, De La Cruz A, Kelly KR, Beauchamp CL, Dao L, Stager D Jr, Leffler JN. Binocular amblyopia treatment with contrast-rebalanced movies. *J AAPOS.* 2019;23:160.
63. Sauvan L, Stolowy N, Denis D, Matonti F, Chavane F, Hess RF, Reynaud A. Contribution of short-time occlusion of the amblyopic eye to a passive dichoptic video treatment for amblyopia beyond the critical period. *Neural Plast.* 2019;2019:6208414.
64. Bossi M, Tailor VK, Anderson EJ, Bex PJ, Greenwood JA, Dahlmann-Noor A, Dakin SC. Binocular therapy for childhood amblyopia improves vision without breaking interocular suppression. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2017;58:3031-3043.
65. Xiao S, Angjeli E, Wu HC, Gaier ED, Gomez S, Travers DA, Binenbaum G, Langer R, Hunter DG, Repka MX; Luminopia Pivotal Trial Group. Randomized controlled trial of a dichoptic digital therapeutic for amblyopia. *Ophthalmology.* 2022;129:77-85.
66. Jost RM, Hudgins LA, Dao LM, Stager DR Jr, Luu B, Beauchamp CL, Hunter JS, Giridhar P, Wang YZ, Birch EE. Randomized clinical trial of streaming dichoptic movies versus patching for treatment of amblyopia in children aged 3 to 7 years. *Sci Rep.* 2022;12:4157.
67. Xiao S, Gaier ED, Mazow ML, Stout AU, Travers DA, Angjeli E, Wu HC, Binenbaum G, Hunter DG. Improved adherence and treatment outcomes with an engaging, personalized digital therapeutic in amblyopia. *Sci Rep.* 2020;10:8328.
68. Xiao S, Gaier ED, Wu HC, Angjeli E, Nuth PL, Bohra LI, Miller AM, Mazow ML, Stout AU, Morse CL, Blumenfeld LC, Glaser SR, Crouch E, Ekdawi NS, Lyon DW, Silbert DI, Hunter DG. Digital therapeutic improves visual acuity and encourages high adherence in amblyopic children in open-label pilot study. *J AAPOS.* 2021;25:87.
69. Li J, Spiegel DP, Hess RF, Chen Z, Chan LY, Deng D, Yu M, Thompson B. Dichoptic training improves contrast sensitivity in adults with amblyopia. *Vision Res.* 2015;114:161-172.
70. Masgoret X, Asper L, Alexander J, Suttle C. The development of crowding and interocular interactions in a resolution acuity task. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:9452-9456.
71. Barollo M, Contemori G, Battaglini L, Pavan A, Casco C. Perceptual learning improves contrast sensitivity, visual acuity, and foveal crowding in amblyopia. *Restor Neurol Neurosci.* 2017;35:483-496.
72. Whitney D, Levi DM. Visual crowding: a fundamental limit on conscious perception and object recognition. *Trends Cogn Sci.* 2011;15:160-168.
73. Hernández-Rodríguez CJ, Piñero DP, Molina-Martín A, Morales-Quezada L, de Fez D, Leal-Vega L, Arenillas JF, Coco-Martín MB. Stimuli characteristics and psychophysical requirements for visual training in amblyopia: a narrative review. *J Clin Med.* 2020;9:3985.