

OFA Temelleri

ObjectiveFIELD Görme Alanı'nın Temel İlkeleri

Ted Maddess
Avustralya Ulusal Üniversitesi
15 Ağustos 2025

Neden Yeni Bir Perimetrik Cihaza İhtiyaç Duyuyoruz?

Bu sorunun yanıtı kısmen şudur: Standart Otomatize Perimetri, görme alanı testlerinin temel taşı olmaya devam etse de, yaygın olarak yeterince fark edilmeyen bazı sınırlamalara sahiptir. Buna ek olarak, farklı bir perimetre türü; istatistiksel olarak birbirinden bağımsız ek bilgi türleri sağlayabilir ve bu bilgilerin birlikte kullanılması, tanısal ve prognostik gücü artırabilir. Ayrıca, kullanıcı dostu bir cihaza duyulan ihtiyaç da açıktır.

SAP'nin Sınırlılıkları

Standart Otomatize Perimetri, uyarıların tek tek sunulduğu ve her bir test noktasında gerçek duyarlılığın dolaylı bir göstergesi olan ışık eşiğinin belirlenmesini amaçlayan, davranışsal ve butona basmaya dayalı bir testtir. Bu sürecin zahmetli ve rahatsız edici olması nedeniyle, katılımcılar tarafından sıklıkla hoş olmayan bir deneyim olarak algılanır¹ ve özellikle çocuklar, ileri yaştaki bireyler ya da fiziksel olarak kırılğan hastalar için belirgin zorluklar içerir.

SAP'nin en önemli sorunlarından biri düşük tekrarlanabilirliğe sahip olmasıdır. Bunun temel nedenlerinden biri, görme alanı defektleriyle ilişkili ani duyarlılık değişimlerinin, SAP'de tipik olarak kullanılan ve yalnızca 0,43 derece çapında olan Goldmann boyut 3 uyarı ile yetersiz örneklenmesidir. Görece yoğun kabul edilen SAP 10-2 uyarı dizilimi bile makulünün yüzde 96,4'ünü test dışı bırakırken, daha yaygın kullanılan ve uzamsal olarak daha geniş SAP 24-2 paterni makulünün yüzde 99,6'sını değerlendirememektedir.

Çalışmalarımız, SAP'de retinanın yetersiz örneklenmesinin, testin düşük tekrarlanabilirliğine büyük ölçüde katkıda bulunduğunu göstermiştir^{2, 3}. Retinadaki işlev bozukluğu olan nöronlar da bu duruma katkı sağlamakla birlikte, etkileri yaklaşık on iki kat daha düşüktür⁴. Düşük tekrarlanabilirlik, zaman içinde klinik değişikliklerin saptanmasını zorlaştırır; yani prognostik gücü olumsuz etkiler. Hızlı ilerleyen glokom hastalarında dahi, bu ilerlemenin yüzde 80 olasılıkla tespit edilebilmesi için iki yıllık süre içinde altı SAP testinin yapılması gerekmektedir⁵. Yoğun klinik koşullarda bu durum çoğu zaman uygulanabilir değildir.

Buna karşılık, ObjectiveFIELD Görme Alanı daha yüksek tekrarlanabilirliğe sahiptir ve SAP'ye kıyasla daha hızlıdır⁶. Bu durum kısmen daha büyük uyarıların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. ObjectiveFIELD Görme Alanı'nın makulaya yönelik uyarı düzeni, retina kalınlığına ilişkin optik koherens tomografi verileri ile karşılaştırmaları da kolaylaştırmaktadır. Sistem ayrıca geniş alan testlerini de içermektedir. ObjectiveFIELD Görme Alanı, test edilen bireyin fizyolojik yanıtlarını doğrudan pupilla üzerinden ölçer; kullanıcının yalnızca merkezi bir sabitleme işaretine bakması yeterlidir ve herhangi bir butona basılması gerekmez.

SAP'nin bir diğer zayıf yönü, bildirdiği duyarlılık kayıplarının erken dönem retinal hücre kayıplarını yeterince yansıtmamasıdır. SAP'de ölçülen duyarlılık değişimleri, ganglion hücre

kaybı ile doğrusal olmayan bir ilişki gösterir⁷. Gözdeki hasar minimal düzeyden ileri derecede hücre kaybına ilerlerken, bu ilişkinin eğimi çok az değişir; dolayısıyla SAP'nin yansıttığı fonksiyonel değişiklikler, hücre kaybının gerçek şiddetini doğru biçimde temsil etmez. Ancak ciddi hasar oluşuktan sonra SAP tarafından bildirilen hasar artışı hızlanır. Buna karşılık, ObjectiveFIELD Görme Alanı ile ölçülen duyarlılık değişimleri hücre sayısındaki azalmayı doğrusal biçimde takip eder ve bu durum, teorik olarak hasarın daha erken evrede raporlanmasına olanak tanır⁸. Aynı bireylerde SAP ortalama defekt değerlerinin ObjectiveFIELD Görme Alanı ortalama defekt değerleri ile karşılaştırılması, bu doğrusal olmayan ilişkiyi açık biçimde ortaya koymaktadır⁶.

SAP'de Retinal Kazanç Kontrolüne İlişkin Ek Bir Sorun

SAP'de kullanılan Goldmann boyut 3 uyarıların küçük çaplı olması, doğal uyarıların için devreye giren magnoselüler retinal ganglion hücrelerinin kontrast kazanç kontrol sisteminin aktive edilememesine yol açmaktadır. Normal koşullarda bu sistem, magnoselüler hücrelerin yanıt düzeyini milisaniyeler içinde yaklaşık bir büyüklük derecesi kadar değiştirebilir. Bu sürecin hassas biçimde kontrol edilebilmesi için, inhibitör çevre alanından anlamlı ölçüde daha geniş bir bölge üzerinden kontrastların hızlı biçimde hesaplanan uzamsal ortalaması kullanılır⁹.

Makak çalışmalarında, retinal kazanç kontrolünün çapı 0,5 dereceye eşit ya da bu değerden küçük uyarıların için devreye girmediği gösterilmiştir¹⁰. Bu değer, Goldmann boyut 3 uyarıların çapına karşılık gelmektedir. Buna karşılık, ObjectiveFIELD Görme Alanı tarafından kullanılan daha büyük ve yüksek kontrastlı uyarıların, görsel sistemi tasarlandığı biçimde test eder; yani uzamsal olarak geniş ve dinamik biçimde değişen uyarıların bulunduğu bir ortamda. Bunun doğal bir sonucu olarak, glom ve diğer hastalıkların bu dinamik görsel sistem üzerindeki etkilerine ilişkin yeni bilgilerin ortaya çıkarılması mümkün hale gelmektedir.

OFA Temel İlkeleri

ObjectiveFIELD Görme Alanı, ölçülen fizyolojik yanıtın pupilla çapındaki göreceli değişim olduğu multifokal uyarıların kullanır. Pupilla boyutundaki göreceli değişimin kullanılması yaygın bir yaklaşımdır¹¹ ve bunun temel nedenlerinden biri, pupilla yanıt dinamiklerinin pupilla boyutundan bağımsız olmasıdır¹². Bu durum, hafif düzeyde pupilla çapını etkileyen ilaçların çoğu vakada ölçümü etkilememesini sağlar. Pupillalardan birinin sabit olmaması ya da düzensiz bir yapıya sahip olması genellikle sorun oluşturmaz. Katarakt cerrahisi gibi işlemler sonucunda iriste oluşan lokal defektler de çoğu zaman ölçümü etkilemez. Yaşa bağlı etkiler de bu yöntemle azaltılmış olur.

Pitozis, ObjectiveFIELD Görme Alanı için olası bir sorun teşkil edebilse de, büyük pupillalarda üst pupilla alanı izlenmediği için bu etki sınırlıdır. Test sırasında her iki göze bağımsız uyarıların eş zamanlı olarak sunulur ve bu yaklaşım test süresini yarıya indirir. Aynı anda her iki pupilla kaydedilir. Elde edilen doğrudan ve konsensüel yanıtlar, ölçülen sinyal-gürültü oranlarına göre birleştirilir; bu nedenle pupillalardan birinin zayıf performans göstermesi ölçüm açısından büyük bir sorun oluşturmaz.

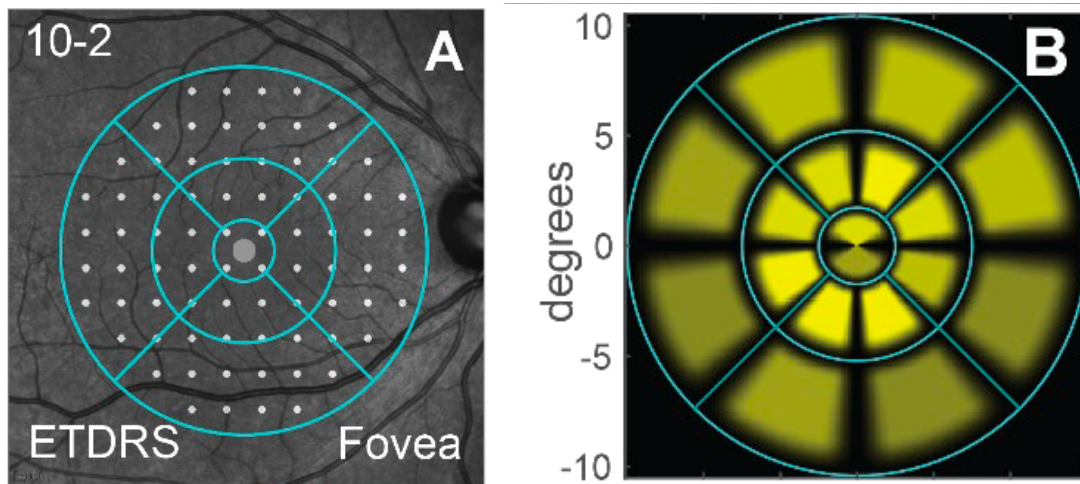
Pupilla yanıtlarının subkortikal olduğu zaman zaman ileri sürülse de, bu durum yalnızca parlak ışıktaki pupilla boyutunu düzenleyen melanopsin içeren retinal ganglion hücrelerinin son derece yavaş yanıtları için geçerlidir¹³. Pupilla sistemine korteksin birçok alanından girdi

sağlandığı iyi bilinmektedir¹⁴. ObjectiveFIELD Görme Alanı'nda kullanılan geçici başlangıç uyarılarının kortikal bir yolu aktive ettiğine dair kanıtlar sunulmuştur¹⁵; bu yolun büyük olasılıkla ikinci görsel alan üzerinden iletildiği düşünülmektedir¹⁶. Bu mekanizma, akomodatif triadı destekleyen sinir ağından türemiş bir yan dal gibi görünmektedir. Bu sistem, nesnelere olan mesafenin hızlı biçimde tahmin edilmesini gerektirir ve bu bilgi, kortekste hesaplanan stereopsis yoluyla sağlanır¹⁷.

Şekil 1

A) Makula, camgöbeği renkte gösterilen ETDRS ızgarası ile sınırlandırılmıştır. Merkezdeki gri nokta foveolayı temsil etmektedir. Küçük beyaz noktalar, 10-2 SAP testinde kullanılan çok küçük uyarıları göstermektedir ve bu uyarılar makulanın yüzde 96,4'ünü değerlendirememektedir.

B) ObjectiveFIELD Görme Alanı'na ait maküler 10-ETDRS uyarı düzeni, ETDRS ızgarasına göre konumlandırılmış şekilde gösterilmektedir. ObjectiveFIELD Görme Alanı ayrıca görme alanının artı ve eksi 30 dereceye kadar uzanan geniş alan testlerini de içermektedir.



OFA Yöntemlerindeki Gelişmeler

ObjectiveFIELD Görme Alanı yöntemleri zaman içinde sürekli olarak geliştirilmiştir. Üç önemli yenilik, her biri sinyal-gürültü oranlarını yaklaşık yüzde 40 oranında artıran yeni uyarı yöntemlerinin geliştirilmesi olmuştur. Bu yenilikler arasında parlaklık dengeleme¹⁸ ve kümelenmiş volley uyarıları¹⁹ yer almaktadır. En güncel olarak, pupiller kazanç dinamiklerinin modellenmesine yönelik yöntemler geliştirilmiştir; bu sayede her iki gözün birlikte değerlendirildiği, geniş alan²⁰ ve makulaya yönelik²¹ testlerin 90 saniyeden kısa sürede uygulanabilmesi mümkün hale gelmiştir.

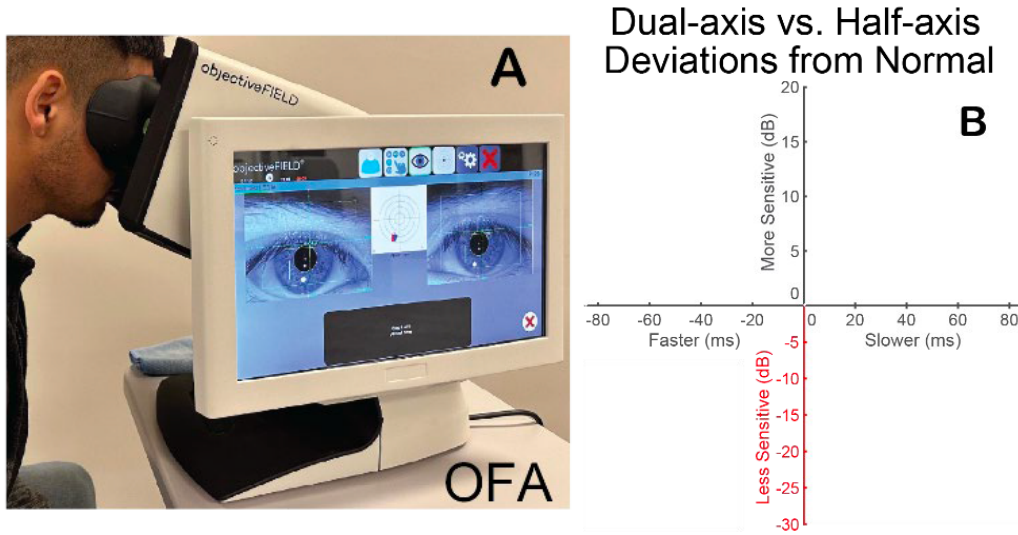
2020 yılından bu yana yayımlanan ObjectiveFIELD Görme Alanı çalışmalarının büyük çoğunluğu, bu en güncel test yöntemlerini kullanmaktadır. Az sayıdaki istisna dışında, bu dönemde yayımlanan on üç çalışmada güncel protokoller tercih edilmiştir. ObjectiveFIELD Görme Alanı'nın migreni olan bireylerde güvenli olduğu gösterilmiştir²²; benzer şekilde epilepsisi bulunan hastalarda da güvenli kullanımına dair kanıtlar mevcuttur²³.

Çift Eksenli ve Yarım Eksenli Test Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

SAP ile ilgili bir diğer sorun, yalnızca duyarlılıktaki azalmaları raporlayan yarım eksenli bir cihaz olmasıdır. Bu nedenle SAP, duyarlılıktaki artışları yansıtamaz. Oysa bu artışlar, glutamat eksitotoksitesisi gibi bazı patofizyolojik olgulara işaret edebilir²⁴. Buna karşılık, ObjectiveFIELD Görme Alanı çift eksenli bir sistemdir ve test edilen her bölgede hem duyarlılık artışlarını hem de duyarlılık azalmalarını, ayrıca yanıt gecikmelerindeki değişimleri raporlar. Aşağıda ayrıntılı olarak açıklanacağı üzere, yanıt gecikmeleri sıklıkla duyarlılıktan bağımsız hasar bilgileri içerir; bu da hastalığın farklı ve bağımsız yönlerine ilişkin veri sağlayabilir.

Aşırı duyarlılık bu duruma dikkat çekici bir örnektir. Normalden daha yüksek duyarlılık değerlerinin, erken evre diyabetik retinal hastalık ile ilişkili olduğu gösterilmiştir^{25,26} ve bu durum SAP'ye kıyasla daha yüksek tanısal güç sağlamaktadır²⁶. Aşırı duyarlılık, anti-VEGF tedavisine başlanacak yaşa bağlı makula dejenerasyonu olgularında, hangi gözlerin tedaviye iyi yanıt vereceğini hem erken dönemde²⁷ hem de 15 aylık izlem sürecinde²⁸ öngörebilmektedir.

Retinal kazanç kontrolünü devreye sokan daha büyük uyarılar kullanılarak yapılan SAP testlerinde, glokomlu gözlerde aşırı duyarlılık gösteren bölgelerin saptanabildiği bildirilmiştir. Casson ve Johnson bu alanları "yüksek duyarlılık defektleri" olarak tanımlamıştır²⁹. Bu bölgelerin, iki ila üç yıl içinde duyarlılığın azaldığı alanlara, yani "düşük duyarlılık defektlerine" dönüşebildiği gösterilmiştir²⁹. Burada dikkat çekici bir nokta, SAP ile aşırı duyarlılığın nicel olarak değerlendirilebilmesinin, bireylerin çok küçük kontrast değişimlerini algılamasını gerektirmesidir. Buna karşılık, ObjectiveFIELD Görme Alanı'nda aşırı duyarlılık, normalden daha büyük fizyolojik yanıtlar üzerinden kolaylıkla ölçülebilmektedir.



Şekil 2.

A) Klinik ortamda kullanılan bir ObjectiveFIELD Görme Alanı sistemi; test edilen bireyi ve pupillaların video kaydı üzerinden izlenmesini sağlayan operatör görünümünü göstermektedir.

B) Yalnızca yarım eksenli ölçüm yapan SAP gibi cihazlar ile, daha geniş bir veri kümesi sağlayan ve çift eksenli ölçüm gerçekleştiren ObjectiveFIELD Görme Alanı arasındaki fark gösterilmektedir.

Daha uzun yanıt gecikmeleri, ileri evre diyabetik retinal hastalık için karakteristiktir ve iki yıllık süre boyunca retina kalınlığındaki ödeme ilişkili değişimlerle birlikte görülürken, aynı bireylerde SAP herhangi bir değişiklik bildirmemektedir³⁰. Glokom üzerine yürüttüğümüz beş yıllık çalışmada, bazı gözlerde duyarlılıkta ilerleme saptanırken yanıt gecikmesinde ilerleme olmadığı, bazı gözlerde ise bunun tersinin gözlemlendiği gösterilmiştir³¹. Bu olgu, bağımsız bir yöntem olan sakkadik perimetri kullanılarak diğer araştırmacılar tarafından kısmen doğrulanmıştır³². ObjectiveFIELD Görme Alanı'nda olduğu gibi, sakkadik perimetride de, doğrusal olmayan yapısı nedeniyle SAP'nin normal duyarlılık bildirdiği bölgelerde belirgin yanıt gecikmeleri saptanabilmektedir. Ayrıca, glokomda artmış sakkadik gecikmeler ve daha az sayıda ekspre sakkad bulunduğunda da bildirilmiştir³³.

Gecikmeler ve duyarlılıklar, yaşa bağlı makula dejenerasyonu şiddeti ve maküler pigment optik yoğunluğu ile farklı biçimlerde korelasyon göstermektedir³⁴; bu durum, hastalığın birbirinden bağımsız ölçümlerinin elde edilebildiğini göstermektedir. ObjectiveFIELD Görme Alanı'nda ölçülen yanıt gecikmeleri, fokal ve jeneralize epilepsinin ayırt edilmesini sağlar²³, multipl sklerozda yüksek tanısal güç sunar²⁰ ve multipl sklerozlu bireylerde on yıllık süre içinde progresif hastalığa geçiş gösterecek olguları öngörebilmektedir³⁵. Hafif konküzyon sonrasında, görme alanının farklı bölgelerinde gecikmeler ve duyarlılıkların farklı biçimlerde etkilendiği de gösterilmiştir³⁶. Genel olarak, hem duyarlılık hem de yanıt gecikmelerinin birlikte ölçülmesinin tanısal ve prognostik gücü anlamlı ölçüde artırdığı ortaya konmuştur.

Örneğin, normal kontrol gözleri ile retinopatisi bulunmayan diyabetik bireylerin gözlerini ayırt etmeyi amaçlayan ve çok erken evre diyabetik retinal hastalığı hedefleyen 23 çalışmadan elde edilen, toplam 44 farklı fonksiyonel ve yapısal testin tanısal gücü karşılaştırılmıştır. Bu analiz sonucunda, ObjectiveFIELD Görme Alanı'nın açık ara en yüksek performansı gösterdiği belirlenmiştir³⁷.

ObjectiveFIELD Görme Alanı pupilla yanıtlarını kullandığı için iris nöropatisi olasılığı gündeme gelmektedir. İrise özgü sorunlar, tüm görme alanı bölgelerini eşit şekilde etkiler; bu etki ya duyarlılıklar ya da gecikmeler üzerinden ortaya çıkar. Bu nedenle, SAP'de kataraktın etkilerine benzer biçimde, ObjectiveFIELD Görme Alanı'nda patern sapmaları bu tür global yanılılardan etkilenmez. Sonuç olarak, patern sapmaları gerçek bölgesel gecikme defektlerini ortaya koyar. Erken evre diyabetik retinal hastalıkta, diğer faktörlerden bağımsız olarak lokalize gecikme defektleri nicel olarak tanımlanmıştır²⁶.

SAP Duyarlılık Kaybı Gibi Görünen Uzun Bölgesel Yanıt Gecikmeleri

ObjectiveFIELD Görme Alanı ile gözlenen yanıt gecikmeleri 600 ms'nin üzerine çıkabilmektedir. Bu değerler, glokomda sakkadik perimetri ile bildirilen gecikmelerle karşılaştırılabilir düzeydedir³². İki çalışma, SAP benzeri testlerde glokom hastalarına yanıt vermeleri için daha fazla süre tanındığında ortaya çıkan yanıt gecikmelerini incelemiştir^{38,39}. Bu çalışmalardan birinde, glokomlu bireylerin yüzde 25'inde ortalama yanıt gecikmesinin 1 saniyeden uzun olduğu gösterilmiştir³⁸. Bu tür gecikmeler, standart SAP testlerinde uyaranların algılanamamasına yol açabilir ve bu durum duyarlılık kaybı olarak yorumlanabilir.

Bir diğer çalışmada, SAP benzeri uyaranlar kullanılarak kontrast-yanıt fonksiyonunun farklı eşiklerinde performans değerlendirilmiştir³⁹. Görme alanındaki hasarlı bölgelerde, 0 dB uyaran için ortalama yanıt gecikmesi 996,3 ms olarak saptanmıştır. Hasarlı alanlarda glokomlu on kişiden altısı, izin verilen 2 saniyelik süre içinde hiç yanıt vermemiştir. Bu bulgular, uzun yanıt gecikmelerinin SAP'de duyarlılık kaybı gibi algılanabileceğini düşündürmektedir.

Glokomlu bireyler beş yıl boyunca izlenmiş ve bu süreçte duyarlılık kayıpları ile yanıt gecikmelerinin zaman içinde ve görme alanı boyunca büyük ölçüde birbirinden bağımsız

olarak ilerleyebildiği gösterilmiştir³¹. Dolayısıyla, uzun bir yanıt gecikmesine bağlı olarak ortaya çıkan yalancı bir SAP defekti, gerçek duyarlılık kaybının bulunduğu konumdan farklı bir bölgede kolaylıkla oluşabilir. ObjectiveFIELD Görme Alanı'nda duyarlılık ve gecikme defektlerinin bağımsız evrimi, sakkadik perimetri bulgularıyla uyumludur ve bu durum multipl skleroz³⁵, diyabetik retinal hastalık^{26,30,40} ve yaşa bağlı makula dejenerasyonu²⁸ için de bildirilmiştir.

SAP benzeri uyaranlarla ölçülen gecikmeli yanıtlar konusuna geri döndüğünde, bu çalışmalardan birinde dikkat çekici bir bulgu, daha akut hastalıklara sahip bireylerde— anterior iskemik optik nöropati ve inme—yanıt gecikmelerinin glokom hastalarına kıyasla daha kısa olmasıdır³⁸. Bu durum, bazı bölgesel yanıt gecikmelerinin glokomda bildirilen kortikal ve optik radyasyonlardaki ikincil dejenerasyondan kaynaklanabileceğini düşündürmektedir^{41,42}. Bu tablo, makak maymunlarında striat korteks ablasyonunu takiben maküler retinal ganglion hücrelerinde görülen trans-nöronal retrograd dejenerasyon bulgularıyla paralellik göstermektedir⁴³. Bu tür çalışmalarda retinal ganglion hücre kaybının 1 ila 9 yıl arasında artmaya devam ettiği gösterilmiştir⁴⁴.

Glokomlu bireylerde görsel arama hızı⁴⁵ ve okuma hızı⁴⁶ da daha düşüktür. Bu verilerin, ObjectiveFIELD Görme Alanı'ndan elde edilen duyarlılık ve yanıt gecikmesi ölçümleri ile karşılaştırılması ilgi çekici olabilir. Benzer karşılaştırmaların, yakın zamanda gelişmiş akut glokom olgularında ve uzun süreli kronik glokom hastalarında yıllar içinde tekrarlanması da önemli bilgiler sağlayabilir.

Özet

Günümüze kadar yayımlanan 39 ObjectiveFIELD Görme Alanı çalışması, sekiz farklı oftalmik ve beyin hastalığını kapsayan araştırmaları içermektedir. Çift eksenli ObjectiveFIELD Görme Alanı sonuçları, tanı ve prognozu geliştiren, istatistiksel olarak bağımsız ve yeni bilgiler sağlamaktadır. Yüksek çözünürlüklü iki testi, sekiz dakika içinde 30-2 benzeri dört ayrı rapor üretmektedir⁶. Daha düşük çözünürlüklü üç adet 90 saniyelik testi ise özellikle çocuklar⁴⁷ ve fiziksel olarak kırılgan bireyler⁴⁸ için oldukça kullanışlıdır. Her iki test türü de maküler ve geniş alan versiyonlarıyla sunulmaktadır.

Hızlı maküler testte kullanılan uyaranlar²¹, retina kalınlığı verilerini raporlamak için optik koherens tomografi cihazlarında kullanılan ETDRS ızgarasının test bölgeleriyle uyumludur. Bu uyum, yapı ve fonksiyon karşılaştırmalarını önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır.

Kaynaklar

1. Glen FC, Baker H, Crabb DP. A qualitative investigation into patients' views on visual field testing for glaucoma monitoring. *BMJ Open* 2014;4:e003996. doi:10.1136/bmjopen-2013-003996
2. Maddess T. The influence of sampling errors on test-retest variability in perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;52:1014–1022. doi:10.1167/iops.10-6014
3. Maddess T. Modelling the relative influence of fixation and sampling errors on test-retest variability in perimetry. *Graefes Archive Ophthalmol* 2014;252:1611–1619. doi:10.1007/s00417-014-2751-y
4. Numata T, Maddess T, Matsumoto C, Okuyama S, et al. Exploring test-retest variability using high-resolution perimetry. *Trans Vis Sci Tech* 2017;6:1–9. doi:10.1167/tvst.6.5.8

5. Chauhan BC, Garway-Heath DF, Goni FJ, Rossetti L, et al. Practical recommendations for measuring rates of visual field change in glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2008;92:569–573. doi:10.1136/bjo.2007.135012
6. Maddess T, Carle CF, Kolic M, Essex RW, et al. Diagnostic power and reproducibility of objective perimetry in glaucoma. *J Glaucoma* 2024;32:940–950. doi:10.1097/IJG.0000000000002485
7. Hood DC, Anderson SC, Wall M, Kardon RH. Structure versus function in glaucoma: an application of a linear model. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48:3662–3668. doi:10.1167/iovs.06-1401
8. Carle CF, Chain AYH, Kolic M, Maddess T. The structure-function relationship between multifocal pupil perimetry and retinal nerve fibre layer in glaucoma. *BMC Ophthalmology* 2024;24:1–11. doi:10.1186/s12886-024-03402-z
9. Hochstein S, Shapley RM. Linear and nonlinear spatial subunits in Y cat retinal ganglion cells. *J Physiol* 1976;262:265–284. doi:10.1113/jphysiol.1976.sp011595
10. Benardete EA, Kaplan E. The dynamics of primate M retinal ganglion cells. *Vis Neurosci* 1999;16:355–368. doi:10.1017/s0952523899162151
11. Bremner FD. Pupillometric evaluation of the dynamics of the pupillary response to a brief light stimulus in healthy subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:7343–7347. doi:10.1167/iovs.12-10881
12. Maddess T. Pupil dynamics and response amplitude: only size matters. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53. doi:10.1167/iovs.12-11105
13. Dacey DM, Liao HW, Peterson BB, Robinson FR, et al. Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal colour and irradiance and project to the LGN. *Nature* 2005;433:749–754. doi:10.1038/nature03387
14. Gamlin PD. The pretectum: connections and oculomotor-related roles. *Prog Brain Res* 2006;151:379–405. doi:10.1016/S0079-6123(05)51012-4
15. Carle CF, James AC, Kolic M, Essex RW, et al. Blue Multifocal Pupillographic Objective Perimetry in Glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015;56:6394–6403. doi:10.1167/iovs.14-16029
16. Sabeti F, James AC, Carle CF, Essex RW, et al. Comparing multifocal pupillographic objective perimetry (mfPOP) and multifocal visual evoked potentials (mfVEP) in retinal diseases. *Sci Rep* 2017;7:45847. doi:10.1038/srep45847
17. Suryakumar R, Allison R. Accommodation and pupil responses to random-dot stereograms. *J Optom* 2016;9:40–46. doi:10.1016/j.optom.2015.03.002
18. Carle CF, James AC, Kolic M, Essex RW, et al. Luminance and colour variant pupil perimetry in glaucoma. *Clin Exp Ophthalmol* 2014;42:815–824. doi:10.1111/ceo.12346
19. Carle CF, James AC, Sabeti F, Kolic M, et al. Clustered volleys stimulus presentation for multifocal objective perimetry. *Trans Vis Sci Tech* 2022;11(2):1–10. doi:10.1167/tvst.11.2.5

20. Maddess T, van Kleef JP, Rohan EMF, Carle CF, et al. Rapid, non-contact multifocal visual assessment in multiple sclerosis. *Neurol Sci* 2022;43:1–7. doi:10.1007/s10072-022-06387-z
21. Rai BB, Sabeti F, Carle CF, Rohan EMF, et al. Rapid objective testing of visual function matched to the ETDRS-grid, and its diagnostic power in AMD. *Ophthalmol Sci* 2022;2:1–9. doi:10.1016/j.xops.2022.100143
22. Ali EN, Carle CF, Lueck CJ, Kolic M, et al. Assessing migraine patients with multifocal pupillographic objective perimetry. *BMC Neurol* 2021;21:1–12. doi:10.1186/s12883-021-02239-z
23. Ali EN, Lueck CJ, Carle CF, Martin KL, et al. Response characteristics of objective perimetry in persons living with epilepsy. *J Neurol Sci* 2022;436:120237. doi:10.1016/j.jns.2022.120237
24. Feng L, Dai S, Zhang C, Zhang W, et al. Ripa-56 protects retinal ganglion cells in glutamate-induced retinal excitotoxic model of glaucoma. *Sci Rep* 2024;14:3834. doi:10.1038/s41598-024-54075-z
25. Bell A, James AC, Kolic M, Essex RW, et al. Dichoptic multifocal pupillography reveals afferent visual field defects in early type 2 diabetes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:602–608. doi:10.1167/iovs.09-3659
26. Sabeti F, van Kleef JP, Iyer RM, Carle CF, et al. Discriminating early-stage diabetic retinopathy with subjective and objective perimetry. *Front Endocrinol* 2024;14:1–12. doi:10.3389/fendo.2023.1333826
27. Sabeti F, Maddess T, Essex RW, James AC. Multifocal pupillography identifies ranibizumab induced changes in retinal function for exudative age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:253–260. doi:10.1167/iovs.11-8004
28. Rai BB, Essex RW, Sabeti F, Maddess T, et al. An objective perimetry study of central versus peripheral sensitivities and delays in age-related macular degeneration. *Trans Vis Sci Tech* 2021;10:1–14. doi:10.1167/tvst.10.14.24
29. Casson EJ, Johnson CA. Flicker perimetry in ocular hypertensives: evidence for high- and low-sensitivity defects. *Noninvasive Assessment of the Visual System, Technical Digest Series* 1993;NMC.4:304–307. doi:10.1364/NAVS.1993.NMC4
30. Sabeti F, Rai BB, van Kleef JP, Carle CF, et al. Objective perimetry identifies functional progression and recovery in mild diabetic macular oedema. *PLoS One* 2023;18:e0287319. doi:10.1371/journal.pone.0287319
31. Maddess T, Carle CF, Kolic M, Sarac O, et al. Independence across space and time of sensitivity and delay visual field measures in glaucoma. *IPS* 2024. www.perimetry.org/abstracts/
32. Thepass G, Lemij HG, Vermeer KA, van der Steen J, et al. Slowed saccadic reaction times in seemingly normal parts of glaucomatous visual fields. *Front Med (Lausanne)* 2021;8:679297. doi:10.3389/fmed.2021.679297
33. Kanjee R, Yucel YH, Steinbach MJ, Gonzalez EG, et al. Delayed saccadic eye movements in glaucoma. *Eye Brain* 2012;4:63–68. doi:10.2147/EB.S38467

34. Rai BB, Sabeti F, van Kleef JP, Carle CF, et al. Comparing 2-dimensional macular pigment optical density and macular function measured by objective perimetry in early to late stage AMD. *Graefes Archive Clin Exp Ophthalmol* 2024;262:1–11. doi:10.1007/s00417-024-06437-6
35. Maddess T, Carle CF, Rohan EMF, Baird-Gunning J, et al. Objective perimetry and progression of multiple sclerosis. *eNeurol Sci* 2022;100430:1–6. doi:10.1016/j.ensci.2022.100430
36. Sabeti F, Carle CF, Jaros RK, Rohan EMF, et al. Objective perimetry in sporting-related mild traumatic brain injury. *Ophthalmology* 2019;126:1053–1055. doi:10.1016/j.ophtha.2019.01.026
37. Rai BB, van Kleef JP, Sabeti F, Vlieger R, et al. Early diabetic eye damage: comparing detection methods using diagnostic power. *Survey Ophthalmol* 2024;69:24–33. doi:10.1016/j.survophthal.2023.09.002
38. Nowomiejska K, Vonthein R, Paetzold J, Zagorski Z, et al. Reaction time during semi-automated kinetic perimetry (SKP) in patients with advanced visual field loss. *Acta Ophthalmol* 2010;88:65–69. doi:10.1111/j.1755-3768.2008.01407.x
39. Wall M, Maw RJ, Stanek KE, Chauhan BC. The psychometric function and reaction times of automated perimetry in normal and abnormal areas of the visual field in patients with glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1996;37:878–885. iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2180501
40. Rai BB, Maddess T, Carle CF, Rohan EMF, et al. Comparing objective perimetry, matrix perimetry, and regional retinal thickness in early diabetic macular oedema. *Trans Vis Sci Tech* 2021;10:1–12. doi:10.1167/tvst.10.13.32
41. Gupta N, Ang LC, Noel de Tilly L, Bidaisee L, et al. Human glaucoma and neural degeneration in intracranial optic nerve, lateral geniculate nucleus, and visual cortex. *Br J Ophthalmol* 2006;90:674–678. doi:10.1136/bjo.2005.086769
42. Zhang QJ, Wang D, Bai ZL, Ren BC, et al. Diffusion tensor imaging of optic nerve and optic radiation in primary chronic angle-closure glaucoma using 3T magnetic resonance imaging. *Int J Ophthalmol* 2015;8:975–979. doi:10.3980/j.issn.2222-3959.2015.05.22
43. Johnson H, Cowey A. Transneuronal retrograde degeneration of retinal ganglion cells following restricted lesions of striate cortex in the monkey. *Exp Brain Res* 2000;132:269–275. doi:10.1007/s002210000384
44. Cowey A, Stoerig P, Williams C. Variance in transneuronal retrograde ganglion cell degeneration in monkeys after removal of striate cortex: effects of size of the cortical lesion. *Vision Res* 1999;39:3642–3652. doi:10.1016/S0042-6989(99)00097-8
45. Sun MJ, Rubin GS, Akpek EK, Ramulu PY. Impact of glaucoma and dry eye on text-based searching. *Transl Vis Sci Technol* 2017;6:24. doi:10.1167/tvst.6.3.24
46. Rolle T, Dallorto L, Cafasso R, Mazzocca R, et al. Reading ability in primary open-angle glaucoma: evaluation with Radner reading charts. *Optom Vis Sci* 2019;96:55–61. doi:10.1097/OPX.0000000000001319

47. Maddess T, Rohan EMF, Rai BB, Carle CF, et al. Diagnostic power of rapid objective perimetry in young people with Type 1 Diabetes. *IOVS-ARVO* 2023;64:e2666.
iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2790300
48. Maddess T, Rohan EMF, Kulh MA, van Kleef JP, et al. Diagnostic power of rapid multifocal objective perimetry in Alzheimer's. *IOVS-ARVO* 2024;65:e83.
iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2794574