

Nesne Seçici Görsel Alanların Entrensek Fonksiyonel Bağlantısallık Örüntüleri

Intrinsic Functional Connectivity Patterns of The Object-Selective Visual Areas

Ulaş AY^{1,2}, Tamer DEMİRALP³

¹İstanbul Üniversitesi, Aziz Sancar Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü, Sinirbilim Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi, Hulusi Behçet Yaşam Bilimleri Araştırma Laboratuvarı, Nörogörüntüleme Birimi, İstanbul, Türkiye

³İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

ÖZ

Giriş ve Amaç: Oksipitotemporal bölgenin, lateral oksipital (LO) ve posterior fusiform (pF) kortekslerden oluşan ve lateral oksipital kompleks adı verilen özel nesne algılama alanlarına sahip olduğu çok sayıda araştırmayla gösterilmiştir. Bu çalışmanın amacı, nesne tanımanın altında yatan nöral mekanizmalara ışık tutmak amacıyla, nesne seçici LO ve pF bölgelerinin entrensek fonksiyonel bağlantısallık (intrinsic functional connectivity, iFC) örüntülerini incelemektir.

Yöntem: Çalışmaya 15 sağlıklı katılımcı dâhil edildi. Lateral oksipital ve pF bölgelerini tanımlamak için standart bir yer saptayıcı görevi kullanıldı. Manyetik rezonans görüntüleme verileri yüksek çözünürlüklü anatomik görüntü ve fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRG) oluşmaktaydı. Ön işleme adımları standart prosedürlere uygun olarak gerçekleştirildi. Görev temelli fMRG verileri üzerinde aktivasyon analizleri ile LO ve pF bölgeleri belirlendikten sonra, dinlenme durumu fMRG kaydı üzerinde gerçekleştirilen fonksiyonel bağlantısallık analizleri ile bu bölgelerin iFC'leri araştırıldı.

Bulgular: iFC analizleri LO ve pF bölgelerinin farklı bağlantısallık modellerine sahip olduğunu ortaya çıkardı. Lateral oksipital geniş çapta dağıtılmış bir bağlantısallık ağına sahipken, pF daha lokal bir bağlantısallık örüntüsü gösterdi. LO'nun, pF'ye kıyasla daha fazla oksipitotemporal, oksipitoparietal ve motor bağlantılara sahip olduğu tespit edildi. Bu dağılım örüntüsünün aksine, sağ ve sol LO'nun bağlantıları genellikle ipsilateral tarafta yoğunlaşırken, pF'nin bağlantıları bilateral idi.

Sonuç: Çalışmanın sonuçları, LO ve pF'nin nesne algısındaki fonksiyonel rollerini ayıran karmaşık iFC desenlerini ortaya koymaktadır. pF, ventral görsel akış boyunca bilateral olarak dağıtılmış iFC gösterirken, LO'nun geniş ve lateralize iFC'si, görsel bilgiyi entegre etme, nesneyle ilgili dikkat ve eylem tanıma gibi işlevlerdeki rolünü desteklemektedir.

Anahtar Sözcükler: Entrensek fonksiyonel bağlantısallık, lateral oksipital kompleks, lateral oksipital korteks, nesne algısı, posterior fusiform korteks

ABSTRACT

Introduction: It has been shown by numerous investigations that the occipitotemporal area has a particular object perception area called the lateral occipital complex, which is composed of lateral occipital (LO) and posterior fusiform (pF) cortices. The aim of this study is to examine the intrinsic functional connectivity (iFC) patterns of the object-selective LO and pF regions in order to shed light on the underlying neural mechanisms of object recognition.

Methods: 15 healthy participants were included in the study. A standard localizer task was used to identify LO and pF regions. Magnetic resonance imaging (MRI) data were collected using two different imaging protocols: high-resolution anatomical image and functional MRI (fMRI) data. Data preprocessing steps were carried out in accordance with standard procedures. After determining the LO and pF regions with activation analyses on the task-based fMRI data, the iFCs of these regions were investigated with functional connectivity analyses carried out on the resting-state fMRI recording.

Results: iFC analyzes revealed that LO and pF regions have different connectivity patterns. Lateral occipital had a widely distributed connectivity network, whereas pF showed a more localized connectivity pattern. Lateral occipital had more extensive occipitotemporal, occipitoparietal and motor connections compared to pF. In contrast to this distribution pattern, the connections of the right and left LO were generally concentrated on the ipsilateral sides, while the connections of the pF were bilateral.

Conclusion: The results of the study revealed complex iFC patterns of the LO and pF differentiating their functional roles in object perception/ recognition. While the pF revealed bilaterally distributed iFC along the ventral visual stream, the extensive and lateralized iFC of the LO suggests its role in integrating visual information including object-related attention and action recognition.

Keywords: Intrinsic functional connectivity, lateral occipital complex, lateral occipital cortex, object perception, posterior fusiform cortex

Cite this article as: Ay U, Demiralp T. Nesne Seçici Görsel Alanların Entrensek Fonksiyonel Bağlantısallık Örüntüleri. Arch Neuropsychiatry 2025;62:100–108.

GİRİŞ

İnsan beyni, nesnelere hızlı ve güvenilir bir şekilde tanıma yeteneği sayesinde, dış dünyanın tutarlı bir temsilini oluşturmak için duyuşal girdiyi sorunsuz bir şekilde entegre eder. Bu başarının altında yatan en büyük etkenlerden biri, görsel kortekste nesne tanıma için özelleşmiş alanların

varlığı olarak düşünülebilir. İnsan beyninde, nesne tanıma için kritik bir kortikal alan olan lateral oksipital kompleks (LOC) ilk olarak Malach ve ark. (1995) tarafından tanımlanmıştır (1). Araştırmacılar bu kortikal bölgeyi, belirgin şekil yorumları olmayan görsel doku görüntülerine

Yazışma Adresi: Ulaş Ay, İstanbul Üniversitesi, Hulusi Behçet Yaşam Bilimleri Araştırma Laboratuvarı, Nörogörüntüleme Birimi, 34093, İstanbul, Türkiye • **E-posta:** psk.ulasay@gmail.com

Geliş Tarihi: 15.04.2024, **Kabul Tarihi:** 22.04.2024, **Çevrimiçi Yayın Tarihi:** 08.06.2025

©Telif Hakkı 2024 Türk Nöropsikiyatri Derneği - Makale metnine www.noropsikiyatrisiivi.com web sayfasından ulaşılabilir

Öne Çıkan Noktalar

- LO'nun iFC'si pF'ye göre daha geniş alanlardır.
- LO'nun iFC'si dorsal ve ventral görsel akışları ve motor korteksleri kapsar.
- pF'nin iFC'si LO'nunkine kıyasla daha lokaldir.
- LO'nun iFC'si aynı hemisferde daha belirgindir.
- LO'nun motor kortekse olan iFC'si, eylem tanıma ile ilişkili olabilir.

kiyasla günlük nesnelerin fotoğraflarına daha güçlü aktivasyon gösteren harekete duyarlı MT/V5'in arka sınırı ile fusiform girusun lateral kısmında konumlandırılmıştır. Bu nedenle, bu bölgenin nesne tanımda önemli bir rolü olduğunu öne sürmüşlerdir. Benzer bir sonuç Kanwisher ve ark. (1996) tarafından çizimler kullanılarak bildirilmiştir: LOC, ister tanıdık ister yeni olsun, çizimlerle tasvir edilen üç boyutlu nesnelere, net bir şeklin tanımlanamadığı karışık çizimlere göre daha güçlü tepki vermiştir (2). Daha sonraki nörogörüntüleme çalışmaları da bu bölgenin nesne seçiciliğini doğrulamış ve LOC'un çeşitli nesnelerin görüntülerine, bu nesnelerin karıştırılmış görüntülerinden daha güçlü aktivasyon gösterdiğini bulmuştur (3,4).

Grill-Spector ve ark. (1999), LOC'un anatomik ve işlevsel olarak farklılık gösteren iki bileşenden oluştuğunu öne sürmüştür (5). Kaudal-dorsal bileşen, boyut ve konum duyarlılığına göre anterior-ventral bileşenden ayırt edilmiş ve anterior-ventral bileşenin nesne konumundaki değişikliklere kaudal-dorsal bileşenden daha duyarlı olduğu görülmüştür. O zamandan bu yana, LOC'un işlevsel ve anatomik olarak farklı iki bileşeni arasındaki ayrım birçok çalışmada gösterilmiştir. Kaudal-dorsal bileşen, lateral oksipital korteks (LO), anatomik (lateral oksipital korteks içinde) ve fonksiyonel (orta temporal girusun posteriorunda) sınırlara dayanarak tanımlanmıştır (1,6). Öte yandan, anterior-ventral bileşen V4/V8 alanlarının anteriorundaki fusiform girus içinde yer alır ve oksipitotemporal sulkusa kadar uzandığı bulunmuştur (6). LOC'un ventral temporal bileşeni posterior fusiform sulkus, ventral temporo-okspital korteks, posterior fusiform, anterior lateral oksipital ve ventral lateral oksipital kompleks gibi farklı şekillerde etiketlenmiş olsa da, yakın tarihli bir çalışma bu nesne seçici alanı posterior fusiform (pF) olarak tanımlamıştır (6).

LOC'un entrensek fonksiyonel bağlantısallığını (intrinsic functional connectivity, iFC) anlamak, nesne tanımanın fonksiyonel organizasyonu hakkında değerli bilgiler sağlayabilir ve nesne tanımanın altında yatan nöral mekanizmalara ışık tutabilir. iFC, beyindeki zamansal olarak korele olan ve farklı beyin bölgelerinin entrensek organizasyonu ve iletişimi hakkında içgörü sağlayan süregiden aktivite modellerini ifade eder. Dinlenme durumu (resting-state) verilerinde gözlemlenebilen bu tür iFC örüntüleri, dış uyaranların varlığından veya belirli görev taleplerinden bağımsız olarak beyin bölgeleri arasındaki fonksiyonel bağlantıları yansıtır (7). Oksipitotemporal kortekste kategori seçici bölgelerin iFC'lerini inceleyen bir çalışmada (8), LO ve pF'nin farklı bağlantısallık örüntüleri rapor edilmesine rağmen, bu farklılıkların fonksiyonel önemi, nesne tanıma ve ilgili süreçlerle ilişkileri açısından özel olarak değerlendirilmemiştir. Bu çalışma, LO ve posterior fusiform (pF) bölgelerinin iFC örüntülerini, özellikle nesne algısındaki fonksiyonel uzmanlaşmaları açısından aydınlatmayı ve karşılaştırmayı amaçlamaktadır.

YÖNTEM

Katılımcılar

Örneklem büyüklüğü R yazılımı (sürüm 4.2.2, <https://www.rproject.org>) kullanılarak belirlendi. Güç 0,8 ve alfa 0,05 olarak ayarlandı. En küçük örneklem büyüklüğü olan 14, önceki bir pilot çalışmadaki etki büyüklüğüne göre hesaplandı (9) ve on beş sağlıklı katılımcı çalışmaya dâhil edildi. Katılımcılar için dâhil edilme kriterleri: a) 18 ila 40 yaşları arasında olmak, b) sağ elini kullanmak, c) normal veya düzeltilmiş-normal görüşe sahip olmak, d) bilgilendirilmiş onam formunu onaylamak ve e) Beck Depresyon ve Anksiyete Envanteri puanlarının sırasıyla 17 ve 16'nın altında olması olarak tanımlandı. Dışlama kriterleri ise: a) duyuşal sistemlerde düzeltilemeyecek herhangi bir patolojinin varlığı, b) herhangi bir nörolojik veya psikiyatrik bozukluğun olması, c) merkezi sinir sistemini etkileyen ilaç kullanımı, d) uzun süreli bilinç kaybıyla sonuçlanan kafa travması öyküsü, e) vücutta manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile uyumlu olmayan herhangi bir maddenin varlığı ve f) klostrofobi olarak belirlendi. Katılımcıların genel kognitif durumunu değerlendirmek için Addenbrook Kognitif Değerlendirme Bataryası-III (ACE-III) tarama testi kullanıldı. Çalışma İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylandı (No: 2021/670). Bu çalışma, Helsinki Deklarasyonu'nun son versiyonunun etik ilkelerine uygun olarak gerçekleştirildi.

Yer Saptayıcı Görev

Nesne seçici alanları belirlemek için standart bir yer saptayıcı görevi (localizer task) kullanılarak ve katılımcılara dört farklı blokta nesnelerin, sahnelerin, insan yüzlerinin ve karıştırılmış nesnelerin siyah-beyaz görüntüleri sunuldu. Katılımcılara, deney boyunca aynı görüntüyü arka arkaya iki kez gördüklerinde, MR içerisinde sağ eline yerleştirilen bir butona basmaları talimatı verilmiş, böylece deney sırasında dikkati sürdürmeleri için basit bir çalışma belleği görevi uygulandı. Deney tasarımı E-prime yazılımı kullanılarak oluşturuldu. Yer saptayıcı görev, palindromik bir düzende iki oturumu içeren blok tasarımında oluşturuldu. Her bir oturum, her biri 16 saniye süren 16 bloktan (4 nesne, 4 sahne, 4 yüz, 4 karıştırılmış nesne) ve öncesinde ve sonrasında 16 saniyelik fiksasyon bloklarından oluşmaktaydı. Bloklardaki her fotoğraf 350 ms boyunca sunuldu ve ardından 450 ms'lik bir fiksasyon kullanıldı. Böylece, her bir oturum 5 dakika 36 saniye sürdü ve yer saptayıcı görevinin toplam süresi 11 dakika 12 saniye olarak belirlendi.

Nesne uyaranları, Bank of Standardized Stimuli (BOSS) Faz II veri tabanından seçildi (10). Bu uyaranlar dört kategoriye ayrıldı (mutfak eşyaları, mobilyalar, giysiler, taşıtlar) ve her kategori 20 uyaran içerdi. Daha sonra, BOSS-II veri tabanından seçilen nesnelere Adobe Photoshop'ta "scramble" eklentisi (<https://www.telegraphics.net/sw/product/Scramble>) uygulanarak karıştırılmış nesne uyaranları oluşturuldu ve 20x20 piksellik karıştırılmış görüntüler elde edildi. Böylece, yer saptayıcı görevi için toplam 320 uyaran seçildi. Tüm uyaranlar 500x500 piksel boyutlarında gri bir arka plan üzerine siyah-beyaz olarak kaydedildi.

MRG çekim parametreleri

Manyetik rezonans görüntüleme, İstanbul Üniversitesi Hulusi Behçet Yaşam Bilimleri Araştırma Laboratuvarı Nörogörüntüleme Birimi'nde kurulu olan üç Tesla MRG cihazı (Philips Achieva, Hollanda) kullanılarak 32 kanallı kafa bobini ile gerçekleştirildi. Yüksek çözünürlüklü anatomik görüntüler elde etmek için T1 ağırlıklı turbo alan eko sekansı (Turbo field echo, TFE) kullanıldı (TR=8,4 ms, TE=3,9 ms, FOV=250x250 mm, 180 aksiyal dilim, vokal boyutu=1 mm³, çevirme açısı=8°). Dinlenme durumu fMRG verileri aşağıdaki parametrelerle T2* ağırlıklı eko planar görüntüleme protokolü kullanılarak toplandı: TR=2000 ms, TE=30 ms, FOV=224x240 mm, dilim sayısı=36, vokal boyutu=2x2x4 mm, çevirme açısı=77°. Dinlenme durumunda 214 aksiyal imge toplandı ve toplam tarama süresi 448 saniye olarak belirlendi. Yer saptayıcı

görevde kullanılan parametreler dinlenme durumuyla aynıydı, ancak bir çekimde 168 fonksiyonel imge içeren toplam iki oturum kaydedildi. Tüm katılımcılara gözlerini kapalı tutarak rahatlamaları ve çekim süresi boyunca uyumamaları talimatı verildi.

Aktivasyon analizleri ve ilgi bölgelerinin tanımlanması

Bir sonraki bölümde anlatılacak olan ön işlemenin ardından, yer saptayıcı görevden kaynaklanan aktivasyonları belirlemek için SPM yazılımı (sürüm 12.7771) kullanılarak genel doğrusal model analizi gerçekleştirildi. Birinci seviye analizlerde, BOLD sinyali, parametreleri tahmin etmek için dört blok koşulu ve çoklu regresör içeren kanonik bir hemodinamik yanıt fonksiyonu ile evriştirilerek her katılımcı için ayrı ayrı modellendi. Nesne seçici bölgeler, nesne > karıştırılmış nesne kontrastı kullanılarak tanımlandı. Etkilerini hesaba katmak için, altı hareket parametresi (üç translasyon ve üç rotasyon) ve ön işleme sırasında ART ile tanımlanan aykırı görüntüler modele dâhil edildi. Daha sonra, yavaş salınan sinyalleri gidermek için 128 saniyelik bir kesme ile yüksek geçişli bir filtre uygulandı ve ikinci seviye analizlerde kullanılmak üzere t-kontrast tanımlandı. İlgi bölgelerinin anatomik konumlarında bireyler arası farklılıkları önlemek için, ikinci düzey analizlerde grup düzeyinde tek örneklem t-testi gerçekleştirildi. İkinci seviye analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeltilmemiş $p < 0,001$ olarak kabul edildi ve iki nesne seçici ilgi bölgesi (LO ve pF) bilateral olarak belirlendi.

Dinlenme durumu fMRG verilerinin ön işlenmesi

Nörogörüntüleme verilerinin ön işlenmesi CONN fonksiyonel bağlantısallık araç kutusu ile gerçekleştirildi (11). Başlangıçta, bireysel kafa hareketlerini düzeltmek için fonksiyonel görüntüler ilk görüntüye göre yeniden hizalandı. Daha sonra, katılımcıların kafa hareketlerindeki ve sinyal değişikliklerindeki aykırı değerleri belirlemek için ART araç kutusu kullanılarak fonksiyonel imgeler önceki imge ile karşılaştırıldı. Sinyal değişikliklerinde aykırı değerler, ± 5 standart sapma global sinyal z-değeri eşliğini aşma veya önceki görüntüye göre 0,9 mm'den büyük bir hareket değişikliği koşuluna göre belirlendi. Her oturumda %20'den fazla aykırı görüntüsü olan katılımcıların dışlanması planlandı ancak hiçbir katılımcı bu eşliği aşmadığından tüm veriler analizlere dâhil edildi. Ardından, yüksek çözünürlüklü anatomik görüntüleri fonksiyonel görüntülerle hizalamak için fonksiyonel ve yapısal bağdaştırma işlemi gerçekleştirildi. Bu işlemin ardından, yapısal görüntüler ak madde, gri madde ve beyin omurilik sıvısı bölümlerine ayrıldı ve Montreal Nöroloji Enstitüsü (MNI) standart alanına normalize edildi. Elde edilen dönüşüm matrisi kullanılarak, fonksiyonel veriler uzamsal olarak normalleştirildi ve izotropik 2 mm³ voksellere yeniden örnekledi. Son olarak, fonksiyonel veriler izotropik bir Gauss çekirdeği (yarı maksimumda tam genişlik=6 mm) ile yumuşatıldı.

Fonksiyonel görüntüler, BOLD sinyalindeki fizyolojik gürültüyü ortadan kaldırmak için ekstra ön işleme adımlarından geçirildi. İlk olarak, BOLD verilerindeki olası karıştırıcı etkilerin doğrusal regresyonunu ve bir bant geçiren filtre kullanımını içeren bir gürültü giderme (denoising) adımı gerçekleştirildi (11). Beyindeki her voksel için gözlemlenen olası gürültü etkilerini değerlendirmek ve ortadan kaldırmak için doğrusal regresyon kullanıldı. Karıştırıcı etkileri azaltmak için CONN'da varsayılan gürültü giderme prosedüründen sonra anatomik bileşen tabanlı bir düzeltme yaklaşımı (aCompCor) kullanıldı. Bu yaklaşım, ak madde ve beyin omurilik sıvısı sinyallerinden kaynaklanan olası gürültü bileşenlerini gürültü giderme aşamasında karıştırıcı faktörler olarak değerlendirdi. Ayrıca, yeniden hizalama sırasında her katılımcı için elde edilen altı hareket parametresi (üç translasyon ve üç rotasyon) olası karıştırıcı faktörler olarak değerlendirildi. Ek olarak, ART ile tespit edilen aykırı görüntüler de karıştırıcı faktörler olarak kabul edildi. Son olarak, fonksiyonel görüntülerdeki gürültü kaynaklarının etkisini azaltmak için 0,01-0,1 Hz'lik bir bant geçiren filtre kullanıldı.

Entrensek fonksiyonel bağlantısallık analizleri

Tohum temelli iFC analizi, aktivasyon analizlerinde elde edilen dört ilgi bölgesi (bilateral LO ve pF) kullanılarak dinlenme durumu fMRG verileri üzerinde gerçekleştirildi. Katılımcı düzeyinde iFC analizi, yumuşatılmamış veriler kullanılarak tek tek ilgi bölgelerinin ortalama zaman serileri ile yumuşatılmış veriler kullanılarak beyindeki diğer tüm voksellerin zaman serileri arasındaki iki değişkenli korelasyon katsayıları hesaplanarak gerçekleştirildi. Bunu takiben, tüm korelasyon değerleri Fisher'ın z-dönüşümüne tabi tutuldu. Her katılımcı için z-skoru, dinlenme durumu sırasında her bir ilgi bölgesiyle anlamlı bağlantılar sergileyen kümeleri belirlemek için voksel bazında tek örnek t-testine dâhil edildi. Küme düzeyinde çıkarımlar, 5000 artık-randomizasyon yinlemeli permütasyon analizlerinden elde edilen parametrik olmayan istatistiklere dayandırıldı. Sonuçlar, küme oluşturma eşliği için $p < 0,001$, küme düzeyinde ise ailevi hata oranı (İng. family-wise error rate, FWE) düzeltilmesi uygulanarak $p < 0,001$ kullanılarak eşiklendirildi.

BULGULAR

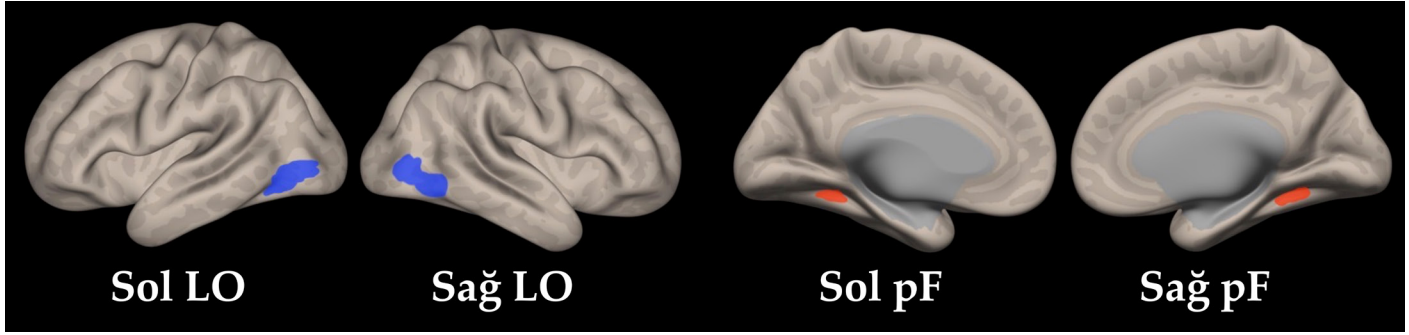
Örneklem özellikleri

Çalışmaya dâhil edilme ve dışlama kriterlerini karşılayan 15 sağlıklı katılımcı (5 kadın; yaş: 27,7 \pm 4,3, aralık: 21-36 yıl; eğitim: 17,9 \pm 2,5, aralık: 15-22 yıl) dâhil edildi. Katılımcıların genel kognitif durumunu değerlendiren ACE-III tarama testindeki puanlar 90 ila 100 arasında değişmekteydi (ortalama: 97,3 \pm 3,0). Örneklem diğer özellikleri Tablo 1'de sunuldu.

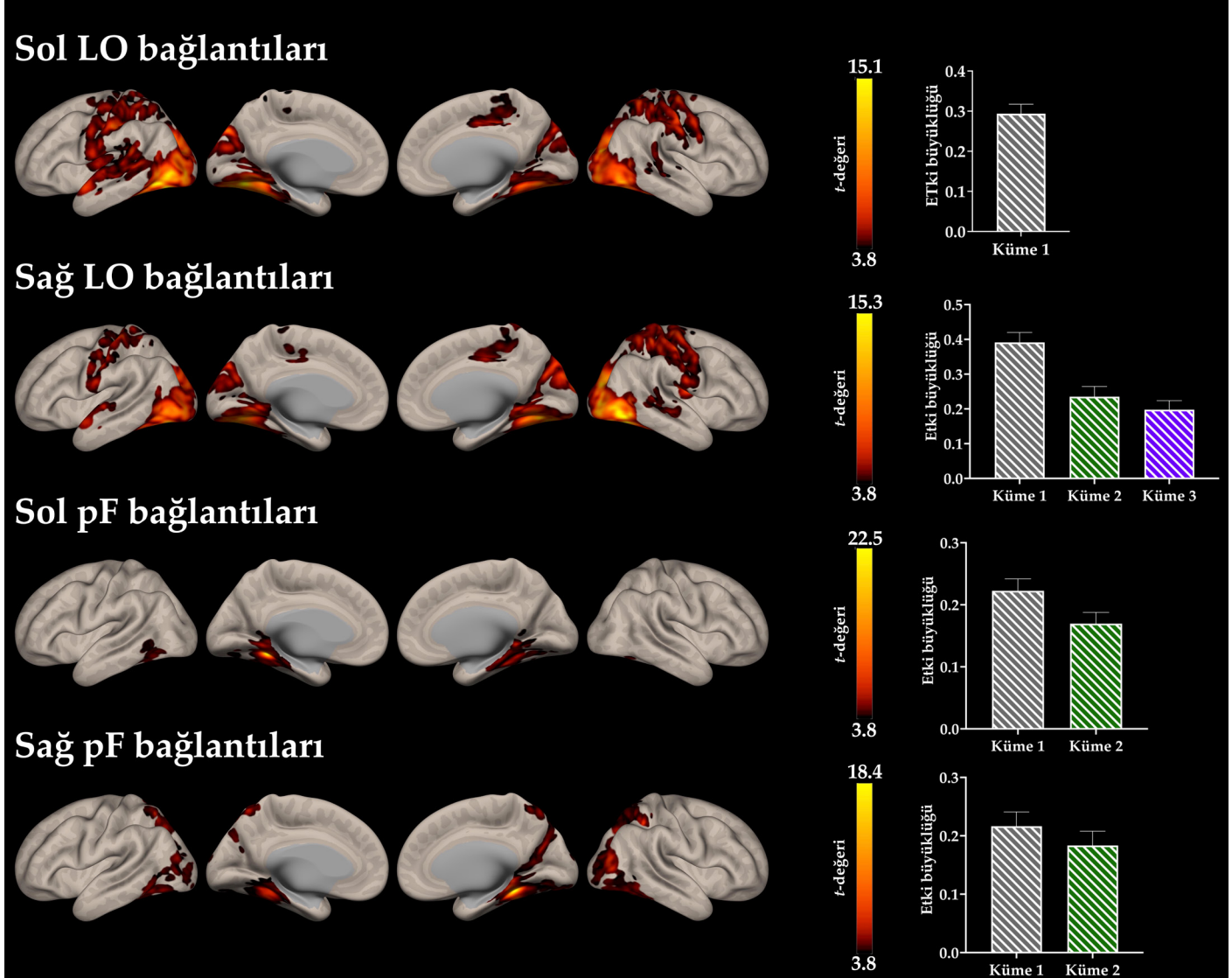
Tablo 1. Örneklem özellikleri

Özellik	Değer
Katılımcı sayısı	15
Yaş ortalama \pm SS (aralık)	27,7 \pm 4,3 (21-36 yıl)
Cinsiyet	5 kadın (%33,3), 10 erkek (%66,7)
Eğitim ortalama \pm SS (aralık)	17,9 \pm 2,5 (15-22 yıl)
Beck Depresyon Envanteri, ortalama \pm SS (aralık)	7,9 \pm 4,7 (0-15)
Beck Anksiyete Envanteri, ortalama \pm SS (aralık)	5,9 \pm 3,6 (1-12)
ACE-III toplam puanı, ortalama \pm SS (aralık)	97,3 \pm 3,0 (90-100)

ACE-III: Addenbrook Kognitif Değerlendirme Bataryası-III; SS: Standart sapma.



Şekil 1. Aktivasyon analizleri sonucunda tanımlanan bilateral lateral oksipital ve posterior fusiform nesne-seçici korteksler.



Şekil 2. Nesne-seçici lateral oksipital ve posterior fusiform kortekslerin entresek fonksiyonel bağlantısalıkları. Etki büyüklüğü grafiklerinde kümeler, Tablo 2'de tanımlanan kümelere karşılık gelmektedir.

Aktivasyon analizleri sonuçları

Şekil 1'de görselleştirildiği üzere, yer saptayıcı görevinin analizi, lateral oksipital kortekslerde bilateral LO bölgelerini ve ventral görsel akışlarda pF bölgelerini ortaya çıkardı (sağ LO: $t(14)=8,25, p=0,0002$; sol LO: $t(14)=6,97, p=0,0001$; sağ pF: $t(14)=8,68, p=0,0004$; sol pF: $t(14)=8,60, p=0,0007$). Görev temelli fMRG verilerinin ikinci seviye analizi sonucunda elde edilen bu bölgeler, dinlenme durumu fMRG verileri üzerinde gerçekleştirilen iFC analizlerinde ilgi bölgesi olarak kullanıldı.

Entresek fonksiyonel bağlantısalılık sonuçları

LO'nun fonksiyonel bağlantıları

Hem sağ hem de sol LO için benzer iFC örüntüleri olduğu görüldü, ancak ağırlıklı olarak unilateral bir dağılım vardı (Şekil 2). Her iki LO'nun bilateral oksipitotemporal ve oksipitoparietal bölgeler, bilateral inferior temporal ve bilateral motor kortekslerle bağlantıları, sıfırdan, anlamlı derecede yüksekti (Her iki LO Mass $p_{FWE} < 10^{-6}$, Tablo 2). Bununla birlikte, sağ ve sol

Tablo 2. Lateral oksipital ve posterior fusiform kortekslerin entrensek fonksiyonel bağlantısı

İlgi bölgesi	Küme	Bağlantısallık gösteren bölgeler	Tepe MNI koordinatı	Küme büyüklüğü	Mass p_{FWE}
Sol LO	1	Bilateral presantral girus, bilateral postsantral girus, bilateral orta oksipital girus, bilateral fusiform girus, bilateral orta temporal girus, bilateral lingual girus, bilateral superior temporal girus, bilateral superior oksipital girus, bilateral inferior oksipital girus, bilateral kuneus, bilateral inferior temporal girus, bilateral superior parietal girus, bilateral inferior parietal girus, bilateral kalkarine fissür, bilateral supramarjinal girus, bilateral parasantral lobül, bilateral superior frontal girus, bilateral prekuneus, bilateral parahippokampal girus, sağ orta singulat girus, sol superior temporal kutup, sol rolandik operkulum, sol insula, sağ orta frontal girus	-36 -64 -10	30815	<10 ⁻⁶
Sağ LO	1	Bilateral orta oksipital girus, bilateral lingual girus, bilateral fusiform girus, bilateral kuneus, bilateral superior oksipital girus, bilateral orta temporal girus, bilateral inferior oksipital girus, bilateral inferior temporal girus, bilateral kalkarin fissür, bilateral orta temporal girus, bilateral prekuneus, sağ superior temporal girus, sağ parahippokampal girus	38 -62 -10	17500	<10 ⁻⁶
	2	Sağ postsantral girus, sağ presantral girus, sağ superior parietal girus, sağ rolandik operkulum, bilateral orta singulat girus, sağ parasantral girus, sağ insula, sağ inferior parietal girus, sağ superior frontal girus, sağ orta frontal girus, bilateral supplementer motor alan, sağ prekuneus, sol parasantral lobül, sağ superior temporal girus	50 -12 14	5996	<10 ⁻⁶
	3	Sol postsantral girus, sol presantral girus, sol superior temporal girus, sol superior temporal pole, sol orta temporal girus, sol superior parietal girus, sol inferior parietal girus, sol rolandik operkulum, sol parasantral lobül	-52 6 -14	2721	<10 ⁻⁶
Sol pF	1	Sol fusiform girus, sol lingual girus, sol parahippokampal girus, sol inferior temporal girus, sol orta temporal girus, sol inferior oksipital girus, sol hippokampus	-32 -46 -8	1784	<10 ⁻⁶
	2	Sağ fusiform girus, sağ parahippokampal girus, sağ lingual girus, sağ hippokampus	26 -20 -22	1101	<10 ⁻⁶
Sağ pF	1	Sağ fusiform girus, sağ orta oksipital girus, sağ inferior temporal girus, sağ superior parietal girus, sağ superior oksipital girus, sağ parahippokampal girus, sağ inferior oksipital girus, sağ orta temporal girus, sağ kuneus, sağ kalkarin fissür, sağ hippokampus, sağ postsantral girus, sağ angular girus	34 -44 -12	6201	<10 ⁻⁶
	2	Sol fusiform girus, sol orta oksipital girus, sol superior parietal girus, sol inferior oksipital girus, sol lingual girus, sol prekuneus, sol orta temporal girus, sol parahippokampal girus, sol inferior parietal girus, sol kuneus	-24 -64 54	3402	<10 ⁻⁶

LO: Lateral oksipital; pF: Posterior fusiform.

LO'ların iFC örüntüleri arasındaki karşılaştırmalar, bağlantıların oldukça unilateral bir baskınlığına işaret etti (Şekil 3 ve Tablo 3). Sol LO'nun sağ LO'ya kıyasla sol fusiform girus, sol inferior ve orta temporal girus, sol inferior ve orta oksipital girus, sol lingual girus, sol parahippokampal girus, sol superior parietal ve oksipital girus, sol prekuneus ve sol inferior parietal girus ile daha güçlü bağlantılar sergilediği tespit edildi (Küme-1 Mass p_{FWE} : <10⁻⁶, Küme-2 Mass p_{FWE} : <0,0002). Tersine, sağ LO sol LO'ya kıyasla sağ inferior, orta ve superior oksipital girus, sağ inferior ve orta temporal girus, sağ fusiform girus, sağ lingual girus ve sağ kalkarin fissür ile daha güçlü bağlantılar gösterdi (Mass p_{FWE} : <10⁻⁶). Böylece, sol LO'nun ağırlıklı olarak sol hemisfer, sağ LO'nun ise sağ hemisfer ile daha güçlü bağlantılar sergilediği tespit edildi.

pF'nin fonksiyonel bağlantısallığı

pF'lerin iFC'lerinin ağırlıklı olarak daha yerel bölgelerle sınırlı olduğunu tespit edildi (Şekil 2, Tablo 2). Sağ ve sol pF'lerin her biriyle fonksiyonel olarak bağlantılı iki kümeden biri yalnızca sol hemisferde, diğeri yalnızca sağ hemisferde lokalize oldu. Spesifik olarak, sol pF'nin bilateral fusiform girus, bilateral lingual girus, bilateral parahippokampal girus, bilateral hippokampus, sol inferior ve orta temporal girus ve sol inferior oksipital girusu içeren iki farklı bilateral küme ile önemli iFC sergilediği belirlendi. Benzer şekilde, sağ pF de iki farklı küme ile önemli ölçüde daha güçlü iFC gösterdi. Bu kümelerin, bilateral fusiform girus, bilateral orta oksipital

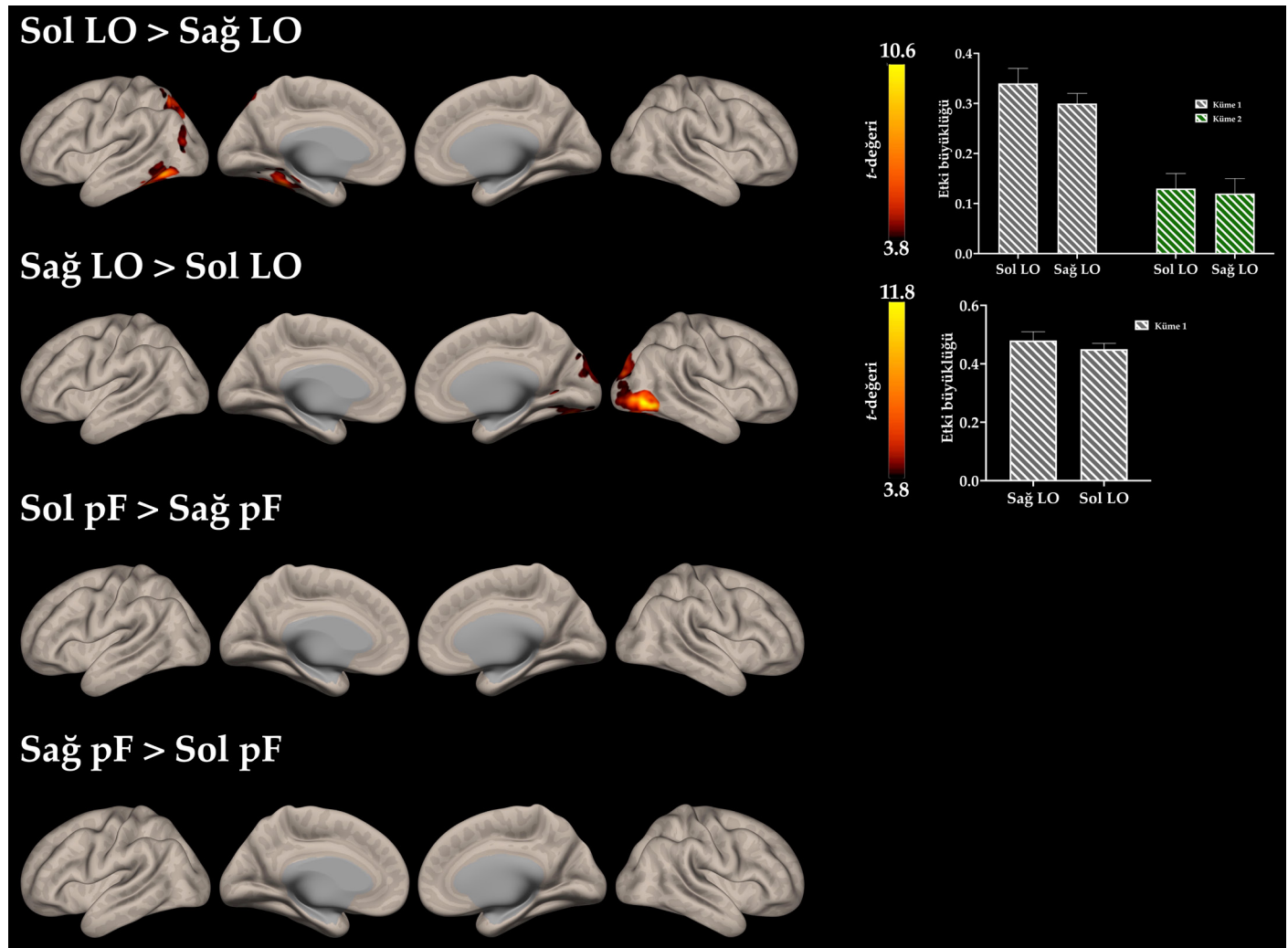
girus, bilateral superior parietal girus, bilateral parahippokampal girus, bilateral inferior oksipital girus, bilateral orta temporal girus, bilateral kuneus, sağ inferior temporal girus, sağ superior oksipital girus, sağ kalkarin fissür, sağ hippokampus, sağ postsantral girus, sağ angular girus, sol lingual girus, sol precuneus ve sol inferior parietal girusu içermekte olduğu bulundu (Her iki pFs Mass p_{FWE} : <10⁻⁶, Tablo 2). Ancak, sağ ve sol pF'lerin iFC'leri arasında herhangi bir fark anlamlı fark bulunmadı.

LO ve pF'nin fonksiyonel bağlantısallığının karşılaştırılması

LO ve pF'nin iFC'leri arasındaki karşılaştırma, bilateral LO'nun pF'ye kıyasla daha güçlü ve daha geniş bir iFC modeli sergilediğini gösterdi (Tablo 3, Şekil 4). Özellikle, sol LO'nun bilateral oksipital bölgelerle (Mass p_{FWE} : <10⁻⁶), sol motor korteksle (Mass p_{FWE} : <10⁻⁶), sağ motor korteks ve frontal bölgelerle (Mass p_{FWE} : <10⁻⁶) ve sol oksipitotemporal bölgelerle (Mass p_{FWE} : 0,0002) sol pF'ye kıyasla daha güçlü iFC'ye sahip olduğu ortaya çıktı. Sağ LO ayrıca sağ pF'ye kıyasla bilateral oksipital ve temporal bölgelerle (Mass p_{FWE} : <10⁻⁶) ve sağ motor korteks ve frontal bölgelerle (Mass p_{FWE} : 0,0004) daha güçlü bağlantılar gösterdi.

TARTIŞMA

Bu çalışma, nesne tanıma için kritik bölgeler olan LO ve pF kortekslerin karmaşık entrensek fonksiyonel bağlantısallık modellerine odaklanmıştır.

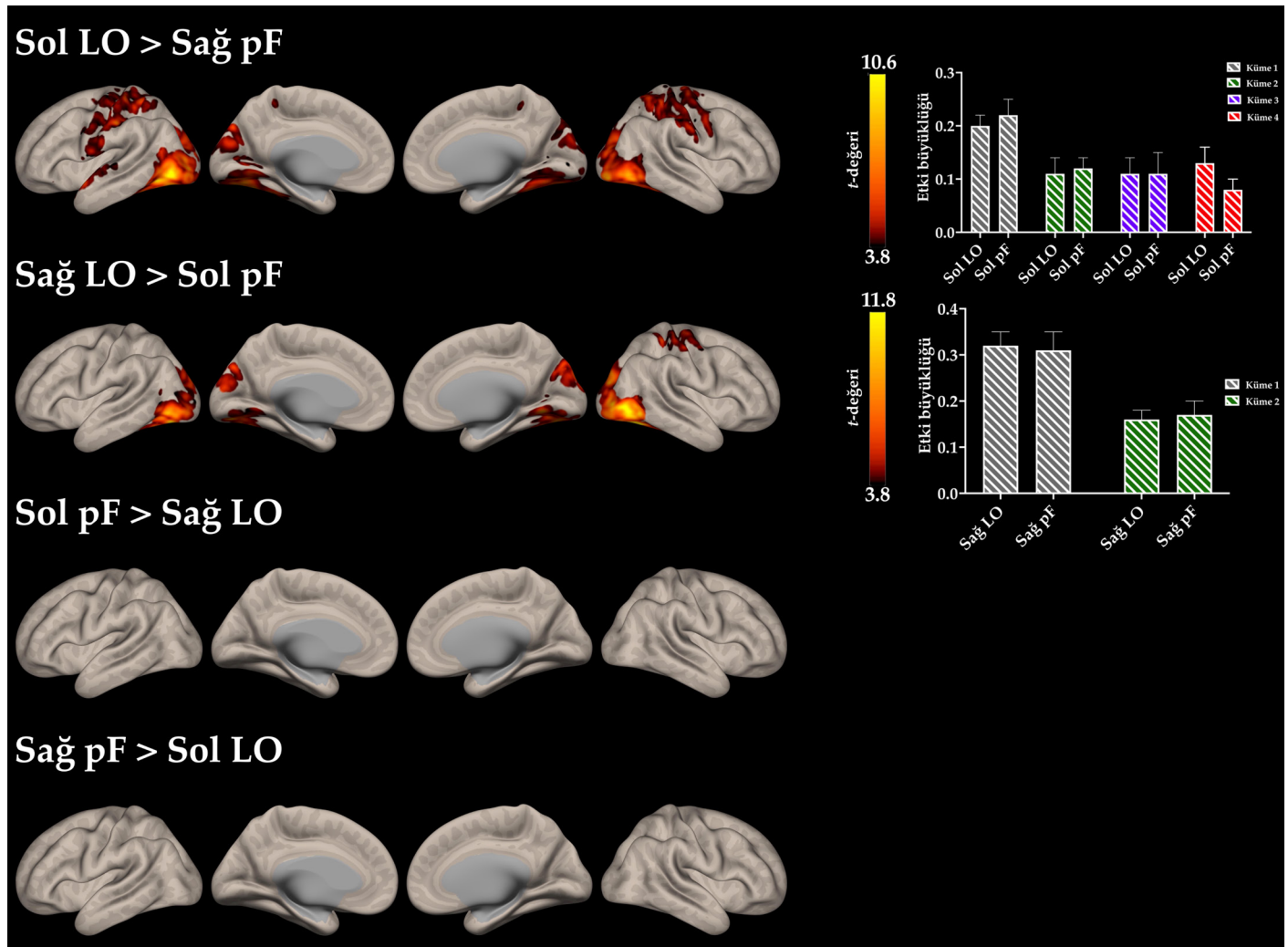


Şekil 3. Sağ ve sol hemisferlerdeki nesne-seçici korteksler arasındaki entrensek fonksiyonel bağlantısallık farklılıkları

Tablo 3. Sağ ve sol nesne-seçici korteksler ile lateral oksipital ve posterior fusiform korteksler arasındaki entrensek fonksiyonel bağlantısallığın karşılaştırılması

Kontrast	Küme	Bağlıntısallık değişimi gösteren bölgeler	Tepe MNI koordinatı	Küme büyüklüğü	Mass P_{FWE}
Sol LO > Sağ LO	1	Sol fusiform girus, sol inferior temporal girus, sol inferior oksipital girus, sol orta temporal girus, sol lingual girus, sol parahippokampal girus	-38 -50 -22	1552	<10 ⁻⁶
	2	Sol orta oksipital girus, sol superior parietal girus, sol superior oksipital girus, sol prekuneus, sol inferior parietal girus	-20 -66 52	710	0.0002
Sağ LO > Sol LO	1	Sağ inferior oksipital girus, sağ orta oksipital girus, sağ orta temporal girus, sağ superior oksipital girus, sağ fusiform girus, sağ inferior temporal girus, sağ lingual girus, sağ kalkanin fissür	46 -66 -2	2534	<10 ⁻⁶
Sol LO > Sol pF	1	Bilateral orta oksipital girus, bilateral fusiform girus, bilateral lingual girus, bilateral inferior oksipital girus, bilateral superior oksipital girus, bilateral orta temporal girus, bilateral kuneus, bilateral inferior temporal girus, bilateral kalkanin fissür	-38 -62 -8	13264	<10 ⁻⁶
	2	Sağ postsantral girus, sağ presantral girus, sağ inferior parietal girus, sağ superior parietal girus, sağ supramarjinal girus, sağ superior frontal girus, sağ orta frontal girus	18 -22 78	3350	<10 ⁻⁶
	3	Sol postsantral girus, sol presantral girus, sol inferior parietal girus, sol superior parietal girus, sol supramarginal girus, sol parasantral lobül	-34 -42 64	2442	<10 ⁻⁶
	4	Sol superior temporal pole, sol superior temporal girus, sol postsantral girus, sol rolandik operkulum, sol orta temporal girus	-54 10 -10	603	0.0008
Sağ LO > Sağ pF	1	Bilateral orta oksipital girus, bilateral fusiform girus, bilateral lingual girus, bilateral inferior oksipital girus, bilateral cuneus, bilateral superior oksipital girus, bilateral orta temporal girus, bilateral inferior temporal girus, bilateral kalkanin fissür	40 -60 -14	8995	<10 ⁻⁶
	2	Sağ presantral girus, sağ postsantral girus, sağ orta frontal girus	22 -40 46	1270	0.0004

LO: Lateral oksipital; pF: Posterior fusiform.



Şekil 4. Lateral oksipital ve posterior fusiform bölgeler arasındaki entrensek fonksiyonel bağlantı farklılıkları. Etki büyüklüğü grafiklerinde sağ sütundaki kümeler, Tablo 3'te tanımlanan kümelere karşılık gelmektedir.

Bulgularımız, farklı beyin bölgelerindeki iFC modellerinde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koyarak, bu bölgelerin görsel işlemedeki özel işlevlerine ışık tutmuştur.

Hem sağ hem de sol LO alanlarında görülen önemli fonksiyonel bağlantısallık, LO'nun görsel bilgiyi farklı kortikal bölgeler arasında entegre etmedeki kritik rolünü gösteren önceki çalışmalarla tutarlıdır (5,12). Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRG) kullanılarak yapılan önceki araştırmalar, LO ile oksipitotemporal ve oksipitoparietal bölgeler arasında güçlü bağlantılar bulmuş ve nesne tanıma görevlerindeki önemini göstermiştir (8,13,14). Bu bağlantılar büyük olasılıkla görsel özelliklerin entegrasyonuna ve tutarlı nesne temsillerinin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır (15,16).

Sol ve sağ LO bölgeleri arasındaki iFC farklılıkları incelediğimiz analizde, sol LO'nun sol oksipitotemporal ve oksipitoparietal bölgelerle daha fazla iFC sergilediği, sağ LO'nun ise sağ oksipitotemporal bölgelerle daha güçlü iFC gösterdiğini bulduk. Sol LO'nun sağ LO'ya kıyasla daha fazla iFC gösterdiği iki kümeden birinin fusiform ve parahipokampal giris etrafında merkezlendiği gözlemi önemlidir. Bu kümenin diğer nesne seçici pF korteksi ile örtüştüğü gözlemlenmiştir, bu da nesne tanıma dâhil olduğunu göstermektedir. Nesne tanıma üzerine yapılan çok sayıda çalışma, LO ve pF'yi içeren LOC'un, çeşitli nesne kategorilerinin işlenmesinde ve ventral görsel hiyerarşi içindeki düşük seviyeli ve

karmaşık görsel özelliklerin ve şekillerin kodlanmasındaki önemini vurgulamıştır (12,15,17,18). Ayrıca hem LO hem de pF nesnelere duyarlı olsa da bu iki bölgenin nesne boyutu ve konumuna bağlı olarak farklı işlevsel duyarlılık sergilediği bilinmektedir (5). Ek olarak, sağ LO'nun sol LO'ya kıyasla daha fazla iFC gösterdiği bölgeler incelendiğinde, yalnızca sağ hemisferin LO ve pF'sini içeren bir küme tespit edildi. Bu nedenle hem sağ hem de sol LO'nun kendi hemisferlerindeki pF ile daha fazla bağlantı sergilediği varsayılabilir. Gözlemlenen hemisferik lateralizasyon, nesne algısı sırasında bilginin işlenmesini hızlandırmaya katkıda bulunabilir.

Sol LO'nun sağ LO'dan daha yüksek bağlantısallık sergilediği bir diğer küme, dorsal dikkat ağının bir parçası olan posterior parietal korteks çevresinde tespit edildi (19). Katılımcıların dikkatlerini iki nesneden birine kaydırmalarını veya sürdürmelerini gerektiren görevleri kullanan nörogörüntüleme deneyleri, nesneye temelli dikkatte yer alan fronto-parietal bölgelerin aktivasyonunu göstermiştir. Ayrıca, sol posterior parietal korteks ve sol intraparietal sulkus bölgelerinin nesne temelli dikkatteki önemi önceki çalışmalarda vurgulanmıştır (20,21). Ayrıca, sol hemisfer lezyonu olan inme hastalarının nesne temelli dikkatte eksiklikler sergilediği bulunmuştur (22). Bu bulgular birlikte ele alındığında, sol LO ve sol posterior parietal bölgeleri arasındaki bağlantının nesne temelli dikkat süreçlerinin nöral temellerini temsil edebileceği düşünülmektedir.

Buna karşılık, bilateral pF'de gözlemlenen daha lokalize fonksiyonel bağlantısallık örüntüleri, belirli nesne kategorilerinin işlenmesinde uzmanlaşmalarının altını çizmektedir. pF, ekstrasriat korteks ve üst düzey görsel korteksin ortasında yer alır ve orta derecede karmaşık nesne özelliklerinin işlenmesi için en uygun yer olarak kabul edilir (23). Ayrıca, pF'nin düşük seviyeli görsel özelliklerden bağımsız olarak nesne tabanlı şekilleri, parçaları ve kategoriye özgü özellikleri temsil ettiği gösterilmiştir (24,25). Hiyerarşik çerçeveye göre hem oksipitotemporal hem de oksipitoparietal yollardaki alanlar hiyerarşik olarak düzenlenir ve düşük seviyeli girdilerin ardışık işleme aşamaları yoluyla daha soyut temsillere dönüştürülmesine izin verir. Neredeyse tüm görsel işleme görevleri V1 ve V2'yi devreye sokar. Bununla birlikte, bir alandan diğerine ilerledikçe, nöronal yanıt özellikleri giderek daha karmaşık hale gelir. Bu çerçevede, pF'nin özellikle anlamsal özelliklere dayalı nesne kategorilerinin alt bölümlere ayrılmasında rol oynadığı düşünülmektedir (26,27). Bu çalışmadan elde edilen bulgular, çeşitli nesne kategorilerinin işlenmesi için çok önemli olduğu bilinen ventral görsel akış alanlarını kapsarken, bilateral hippokampusun da pF'ye (LO'lara değil) bağlı olduğunu göstermektedir. Bu bağlantılar muhtemelen farklı nesne kategorilerinin ayırt edilmesini kolaylaştırmakta, böylece etkili nesne tanıma süreçlerine ve uzun süreli nesne belleğine katkıda bulunmaktadır. pF'nin nesne tanımada rol oynayan belirli bölgelerle daha lokalize bağlantısı, kısıtlı bir nöral devre içinde görsel uyarıların işlenmesindeki uzmanlığını daha da vurgulamaktadır. Ek olarak, Hutchison ve ark. (2014) bulgularına benzer şekilde, LO'nun lateralize iFC modelinin aksine, bilateral pF arasında iFC farkı bulunmadık. Bu farkın olmaması, pF'deki nesne algılama süreçlerine her iki hemisferin de eşit katkıda bulunduğunu göstermektedir.

LO ve pF bölgeleri arasındaki fonksiyonel bağlantısallığın karşılaştırmalı analizi, LO'nun nesne algısının altında yatan dağıtılmış nöral ağlarına, pF'ye kıyasla daha geniş bir katılımını vurgulamaktadır. Bu bağlantısallık farklılıklarının topografyasını incelediğimizde, motor korteksin belirgin bir şekilde öne çıktığı görülmektedir (Şekil 3). Yakın zamanda yapılan bir çalışma, nesneye-seçici bölgeleri LO ve pF olarak adlandırdığımız iki bölgeyi lateral oksipitotemporal korteks (LOT) ve ventral oksipitotemporal korteks (VOTC) olarak tanımlamış ve bu bölgelerin fonksiyonel özelleşmelerini vurgulayarak bir eylem tanıma ağı önermişlerdir (28). Bu çalışma, özellikle, görsel bilgiyi işlemek için yerleşik dorsal ve ventral görsel akışların yanı sıra, eylem tanımanın nöral temelinden sorumlu ek bir lateral görsel akış ve ayrıca sol LOTC'de kavramsal eylem temsili önermişlerdir. Çalışmamızda sol LO ve sol pF arasındaki iFC farklılıklarını göz önünde bulundurarak, LO'dan motor kortekse intraparietal sulkus aracılığıyla uzanan bağlantıların, eylem tanıma ağının entresek bir özelliğini yansıtır olabileceğini öneriyoruz. LO'nun iFC modelinin güçlü lateralizasyonu, pF'ninkinin ise bilateral dağılımı bu öneriyi desteklemektedir. Alet kullanma ve dil gibi çeşitli kavramsal temsillerin sol hemisfere lateralize olduğu bilinmektedir (29,30). Buna karşılık, fusiform yüz alanı ve ekstrasriat vücut alanı gibi yüz ve beden ipuçlarına duyarlı bölgelerin sağ lateralize olduğu çeşitli çalışmalar tarafından gösterilmiştir (31). Bu lateralizasyonun makul bir yorumu, eylem tanıma ve temsili için öncelikle sol LO ile ilişkili olması, diğer sosyal algı yönleri için önemli olan beden ipuçlarının işlenmesinin ise sağ LO'nun bir işlevi olduğu şeklindedir (28).

Kısıtlılıklar ve Gelecek Perspektifler

Çalışmamız nesne ve eylem tanıma üzerine değerli bilgiler sağlamış olsa da dikkate değer bazı kısıtlılıklar bulunmaktadır. İlk olarak, çalışmamız sadece LO korteks ve pF bölgelerinin entresek fonksiyonel bağlantısallık modellerine odaklanmış ve görsel işlemeye dâhil olan diğer beyin ağlarıyla olası etkileşimleri göz ardı etmiştir. Ayrıca, sonuçlarımız dinlenme durumunda LO ve pF'nin belirgin bağlantısallık profillerini ortaya koymuş olmasına rağmen, bu bölgelerin işlevsel rolüne ilişkin nedensel çıkarımlar, iyi tasarlanmış görev temelli çalışmalarda ek deneysel manipülasyonlar gerektirmektedir. Son olarak, nesne veya eylem tanımayı etkileyen

nörolojik veya psikiyatrik bozuklukları olan bireylerin bağlantısallık modellerinin incelenmesi, bu nesne-seçici alanların fonksiyonel özelleşmesine dair ek destek sağlayabilir ve bu bozuklukların altında yatan nöral mekanizmalar hakkında değerli bilgiler sunabilir.

Sonuç olarak, çalışmamız LO korteks ve pF bölgelerinde nesne algısı ve tanıma için kritik olan karmaşık entresek fonksiyonel bağlantısallık modellerini aydınlatmıştır. Fonksiyonel bağlantısallıktaki belirgin farklılıklar, bu beyin bölgelerinin görsel işlemedeki ince rolünü vurgulamaktadır. Özellikle, LO'nun oksipitotemporal ve oksipitoparietal bölgelerle olan geniş bağlantıları, kortikal alanlar arasında görsel bilgiyi entegre ederek tutarlı nesne temsili sağlamadaki yerleşik rolü ile tutarlıdır. Ayrıca, LO'nun iFC'sinin lateralizasyonu ve motor alanlara uzanması, LO'nun eylem tanıma açısından sorumlu önemli bir düğüm olabileceği perspektifini desteklemektedir.

Teşekkür: Bu çalışma, Ulaş Ay'ın doktora tezi (Tez No: 844813) kapsamında üretilmiş olup, daha önce herhangi bir yerde sunulmamıştır. Ulaş Ay, 100/2000 YÖK Doktora Bursu kapsamında Yükseköğretim Kurulu'nun (YÖK) desteğini kabul etmektedir. Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1225654 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Etik Komite Onayı: Çalışma İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylandı (No: 2021/670).

Hasta Onamı: Katılımcılardan bilgilendirilmiş onam formu alınmıştır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış Bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir- UA, TD; Tasarım- UA, TD; Denetleme- TD; Kaynaklar- TD; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi- UA; Analiz ve/veya Yorum- UA, TD; Literatür Taraması- UA; Yazıyı Yazan- UA, TD; Eleştirel İnceleme- TD.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar herhangi bir maddi destek almadıklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

1. Malach R, Reppas JB, Benson RR, Kwong KK, Jiang H, Kennedy WA, et al. Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex. *PNAS*. 1995;92:8135-8139. [Crossref]
2. Kanwisher N, Chun MM, McDermott J, Ledden PJ. Functional imaging of human visual recognition. *Cogn Brain Res*. 1996;5:55-67. [Crossref]
3. Vinberg J, Grill-Spector K. Differential processing of salient regions, contours and shape in the human LOC. *J Vis*. 2007;7(9):1037. [Crossref]
4. Golarai G, Ghahremani DG, Whitfield-Gabrieli S, Reiss A, Eberhardt J, Gabrieli JD, Grill-Spector K. Differential development of high-level visual cortex correlates with category-specific recognition memory. *Nat Neurosci*. 2007;10:512-522. [Crossref]
5. Grill-Spector K, Kushnir T, Edelman S, Avidan G, Itzhak Y, Malach R. Differential processing of objects under various viewing conditions in the human lateral occipital complex. *Neuron*. 1999;24:187-203. [Crossref]
6. Weiner KS, Natu VS, Grill-Spector K. On object selectivity and the anatomy of the human fusiform gyrus. *Neuroimage*. 2018;173:604-609. [Crossref]
7. Van Dijk KR, Hedden T, Venkataraman A, Evans KC, Lazar SW, Buckner RL. Intrinsic functional connectivity as a tool for human connectomics: theory, properties, and optimization. *J Neurophysiol*. 2010;103:297-321. [Crossref]
8. Hutchison RM, Culham JC, Everling S, Flanagan JR, Gallivan JP. Distinct and distributed functional connectivity patterns across cortex reflect the domain-specific constraints of object, face, scene, body, and tool category-selective modules in the ventral visual pathway. *Neuroimage*. 2014;96:216-236. [Crossref]
9. Ay U, Demiralp T. Investigation of brain functional connectivity in the scene perception process. *Anat. Int. J. Exp. Clin. Anat*. 2022;16:264-265. [Crossref]
10. Brodeur MB, Guérard K, Bouras M. Bank of Standardized Stimuli (BOSS) phase II: 930 new normative photos. *PLoS One*. 2014;9:e106953. [Crossref]
11. Whitfield-Gabrieli S, Nieto-Castanon A. Conn: a functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks. *Brain Connect*. 2012;2:125-141. [Crossref]
12. Grill-Spector K, Malach R. The human visual cortex. *Annu Rev Neurosci*. 2004;27:649-677. [Crossref]

13. Grill-Spector K, Kourtzi Z, Kanwisher N. The lateral occipital complex and its role in object recognition. *Vision Res.* 2001;41:1409–1422. [\[Crossref\]](#)
14. Thoma V, Henson RN. Object representations in ventral and dorsal visual streams: fMRI repetition effects depend on attention and part-whole configuration. *Neuroimage.* 2011;57:513–525. [\[Crossref\]](#)
15. Kravitz DJ, Saleem KS, Baker CI, Ungerleider LG, Mishkin M. The ventral visual pathway: an expanded neural framework for the processing of object quality. *Trends Cogn Sci.* 2013;17:26–49. [\[Crossref\]](#)
16. Perry CJ, Fallah M. Feature integration and object representations along the dorsal stream visual hierarchy. *Front Comput Neurosci.* 2014;8:84. [\[Crossref\]](#)
17. Grill-Spector K. The neural basis of object perception. *Curr Opin Neurobiol.* 2003;13:159–166. [\[Crossref\]](#)
18. Grill-Spector K, Weiner KS. The functional architecture of the ventral temporal cortex and its role in categorization. *Nat Rev Neurosci.* 2014;15:536–548. [\[Crossref\]](#)
19. Ay U, Gürvit IH. Alterations in large-scale intrinsic connectivity networks in the Parkinson's disease-associated cognitive impairment continuum: A systematic review. *Noropsikiyatri Ars.* 2022;59:57–66. [\[Crossref\]](#)
20. Arrington CM, Carr TH, Mayer AR, Rao SM. Neural mechanisms of visual attention: object-based selection of a region in space. *J Cogn Neurosci.* 2000;12:106–117. [\[Crossref\]](#)
21. Shomstein S, Behrmann M. Cortical systems mediating visual attention to both objects and spatial locations. *PNAS.* 2006;103:11387–11392. [\[Crossref\]](#)
22. Egly R, Driver J, Rafal RD. Shifting visual attention between objects and locations: evidence from normal and parietal lesion subjects. *J Exp Psychol Gen.* 1994;123:161–177. [\[Crossref\]](#)
23. Ullman S, Vidal-Naquet M, Sali E. Visual features of intermediate complexity and their use in classification. *Nat Neurosci.* 2002;5:682–687. [\[Crossref\]](#)
24. de Bock HPO, Torfs K, Wagemans J. Perceived shape similarity among unfamiliar objects and the organization of the human object vision pathway. *J Neurosci.* 2008;28:10111–10123. [\[Crossref\]](#)
25. Vernon RJ, Gouws AD, Lawrence SJ, Wade AR, Morland AB. Multivariate patterns in the human object-processing pathway reveal a shift from retinotopic to shape curvature representations in lateral occipital areas, LO-1 and LO-2. *J Neurosci.* 2016;36:5763–5774. [\[Crossref\]](#)
26. Chao LL, Haxby JV, Martin A. Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nat Neurosci.* 1999;2:913–919. [\[Crossref\]](#)
27. Beauchamp MS, Lee KE, Haxby JV, Martin A. Parallel visual motion processing streams for manipulable objects and human movements. *Neuron.* 2002;34:149–159. [\[Crossref\]](#)
28. Wurm MF, Caramazza A. Two 'what' pathways for action and object recognition. *Trends Cogn Sci.* 2022;26:103–116. [\[Crossref\]](#)
29. Bracci S, Peelen MV. Body and object effectors: the organization of object representations in high-level visual cortex reflects body-object interactions. *J Neurosci.* 2013;33:18247–18258. [\[Crossref\]](#)
30. Striem-Amit E, Vannuscorps G, Caramazza A. Sensorimotor-independent development of hands and tools selectivity in the visual cortex. *PNAS.* 2017;114:4787–4792. [\[Crossref\]](#)
31. Gerrits R, Van der Haegen L, Brysbaert M, Vingerhoets G. Laterality for recognizing written words and faces in the fusiform gyrus covaries with language dominance. *Cortex.* 2019;117:196–204. [\[Crossref\]](#)