
研究揭示刺激大小依赖的亮暗光斑视觉后像不对称性的皮层下神经机制

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/14959.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

7月29日，《神经科学杂志》在线发表了题为《从神经元感受野到知觉场：刺激大小依赖的亮暗光斑视觉后像不对称性的皮层下神经机制》的研究论文。该研究由中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心（神经科学研究所）、神经科学国家重点实验室、上海脑科学与类脑研究中心研究员王伟研究组完成。研究利用人的心理物理学，视觉实验动物猫的丘脑外膝体（dLGN）单细胞记录和视网膜神经节细胞轴突末梢记录，以及数学建模等手段，展示了皮层下视觉细胞感受野（receptive field, RF）的中心-周边拮抗机制，在调控皮层下ON-和OFF-中心细胞的撤光反应以及在亮暗视觉后像感知中的作用。

视觉后像（afterimage）是一种视觉错觉，是指在视觉刺激从视野消失后的短暂时间内，尤其是在单色背景下，大脑依旧能感知到短暂残留的视觉图像的现象。如图1A所示，当观察者盯着左图一段时间后，再把视线移到中间空白区域，《蒙娜丽莎》就会展现在眼前；如果盯着右图的《蒙娜丽莎》一段时间，再把视线移到中间空白区域，观察者又会看到极性相反类似左图的图像，这就是视觉后像。由于视觉输入（物理刺激）与输出（视知觉）的不一致性，视觉后像受到视觉科学界的关注，并为研究视知觉的形成提供了有力工具。一般来说，黑色和白色视觉刺激的撤除分别会产生亮和暗的视觉后像。视皮层下存在两条分离的视觉通路——ON和OFF通路，它们分别编码亮度增加（亮）和亮度减少（暗）的视觉信息。ON和OFF细胞分别对白色和黑色刺激表现出兴奋性反应；对极性相反的黑色和白色刺激表现出抑制性反应，当刺激撤除后又表现出兴奋性反弹反应（图1B），这种反弹反应被认为是产生亮和暗的视觉后像的神经基础。

王伟研究组前期研究发现，黑色光斑刺激撤除产生的亮视觉后像，比相同大小和对比度的白色光斑刺激撤除产生的暗视觉后像，感知强度更强，持续时间也更久；这些感知觉上的不对称性与皮层下ON和OFF细胞对黑色和白色光斑刺激的撤除反应的动作电位发放强度的不对称性相一致（Li et al., *J Neurosci*, 2017）。视皮层下神经元处理视觉信息最基本的结构是中心-周边拮抗式的感受野，其受视觉刺激的大小所调制。但是，中心-周边拮抗作用如何影响上述的ON和OFF细胞撤光反应以及亮暗视觉后像的不对称性，以及该影响的神经机制尚不清楚。

该工作中，研究人员结合多种研究手段，探究了刺激大小依赖的视觉细胞感受野中心-周边拮抗作用是如何影响皮层下ON和OFF细胞的撤光反应以及由此产生的亮暗视觉后像的感知。心理物理学实验显示，当光斑刺激的直径大于 0.8° 时，与相同对比度的白色光斑产生的暗视觉后像相比，黑色光斑撤除产生的亮视觉后像更强，持续时间更久；而当光斑直径变小后，亮暗视觉后像之间的不对称性消失了（图2A和B）。电生理学单细胞记录实验显示，当刺激直径大于 1° 时，皮层下ON细胞对黑色光斑的撤除反应比OFF细胞对白色光斑的撤除反应更强且更持久；而当光

斑直径变小时，这些不对称性消失了（图2C和D）。上述结果与心理物理学实验结果一致。研究还发现，这种刺激大小依赖的不对称性，与撤光反应时OFF细胞比ON细胞感受野具有更强的周边抑制显著有关（图2E）。研究人员应用基于神经元发放率的时空感受野模型——扩展高斯差模型（extended Differences of Gaussians, eDOG），验证了ON与OFF细胞对撤光反应表现出不同的时空感受野特性（图2F），并通过初级视皮层（V1）群体发放模型——recurrent spiking neural network（SNN）模型，展示了皮层下ON与OFF通路的动作电位发放强度和持续时间的不对称性可以传递到视皮层区域。

该研究揭示了视觉系统ON-OFF通路一个重要的不对称性，也为进一步理解视知觉形成的神经机制提供了参考依据，揭示出产生亮暗视觉后像的皮层下神经机制，阐明了神经元感受野结构特性是知觉场（perceptual field）特性的神经基础。

研究工作得到中科院、上海市、国家自然科学基金和教育部的资助。

[论文链接](#)

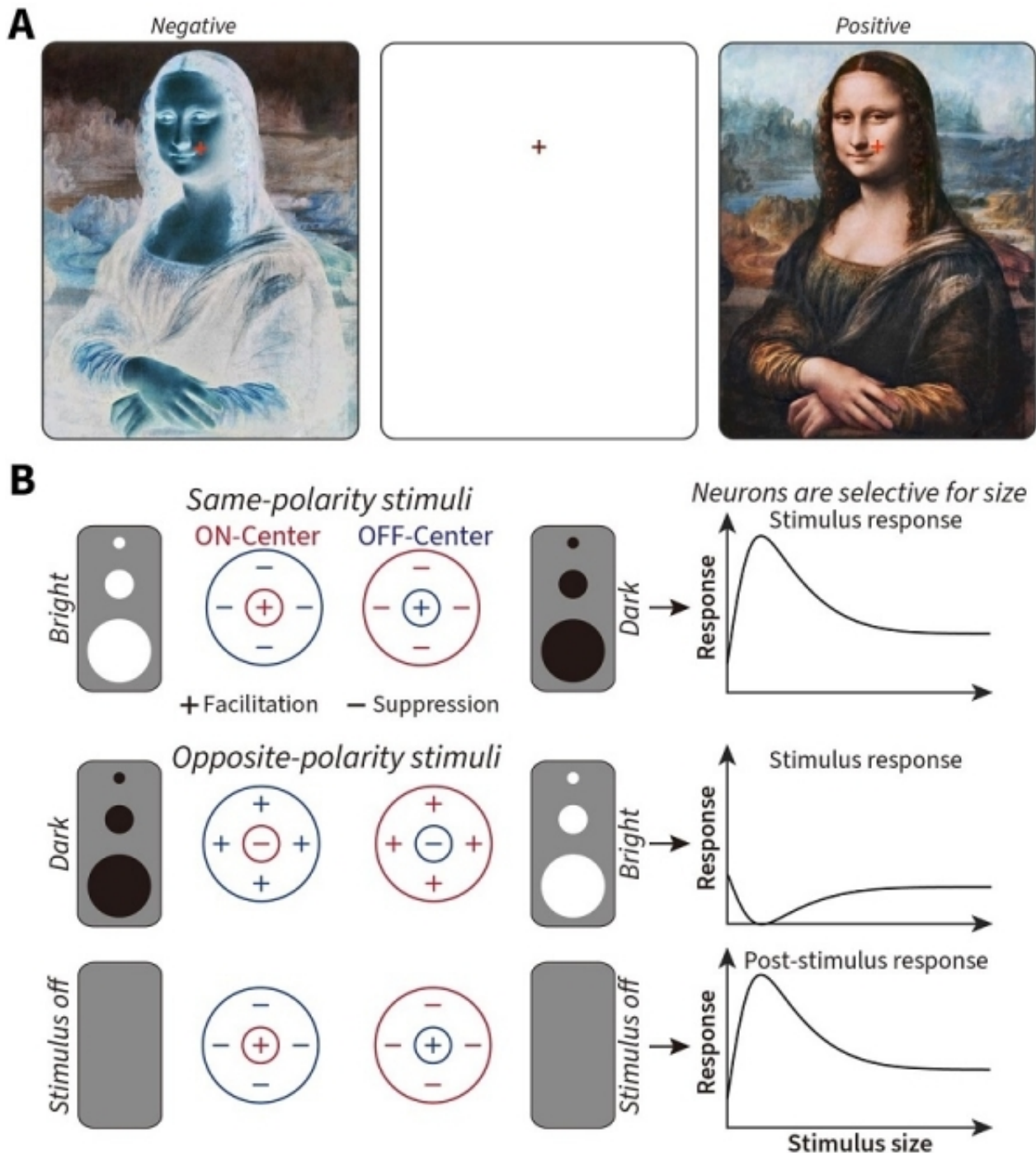


图1: A.眼睛盯住左图中的红十字20秒，再把视线移到中间空白区域，《蒙娜丽莎》就会展现在你的眼前；如果盯着右图《蒙娜丽莎》中的红十字20秒，再把视线移到中间空白区域，则会看到极性相反类似左图的图像，这就是视觉后像。B.视皮层下ON和OFF细胞中心-周边拮抗的感受野结构以及对刺激大小的选择性。图中，+代表易化，-代表抑制。对于相同极性的刺激，感受野中心表现为兴奋性反应（+），感受野周边表现为抑制性反应（-）；而对于相反极性刺激的呈现，感受野中心反应会被抑制（-），周边则表现为去抑制性反应（+）；当相反极性刺激撤除之后，感受野中心又会出现兴奋性的反弹反应（+），而且该反弹反应的强度与之前的抑制强度有关。

Human Psychophysics

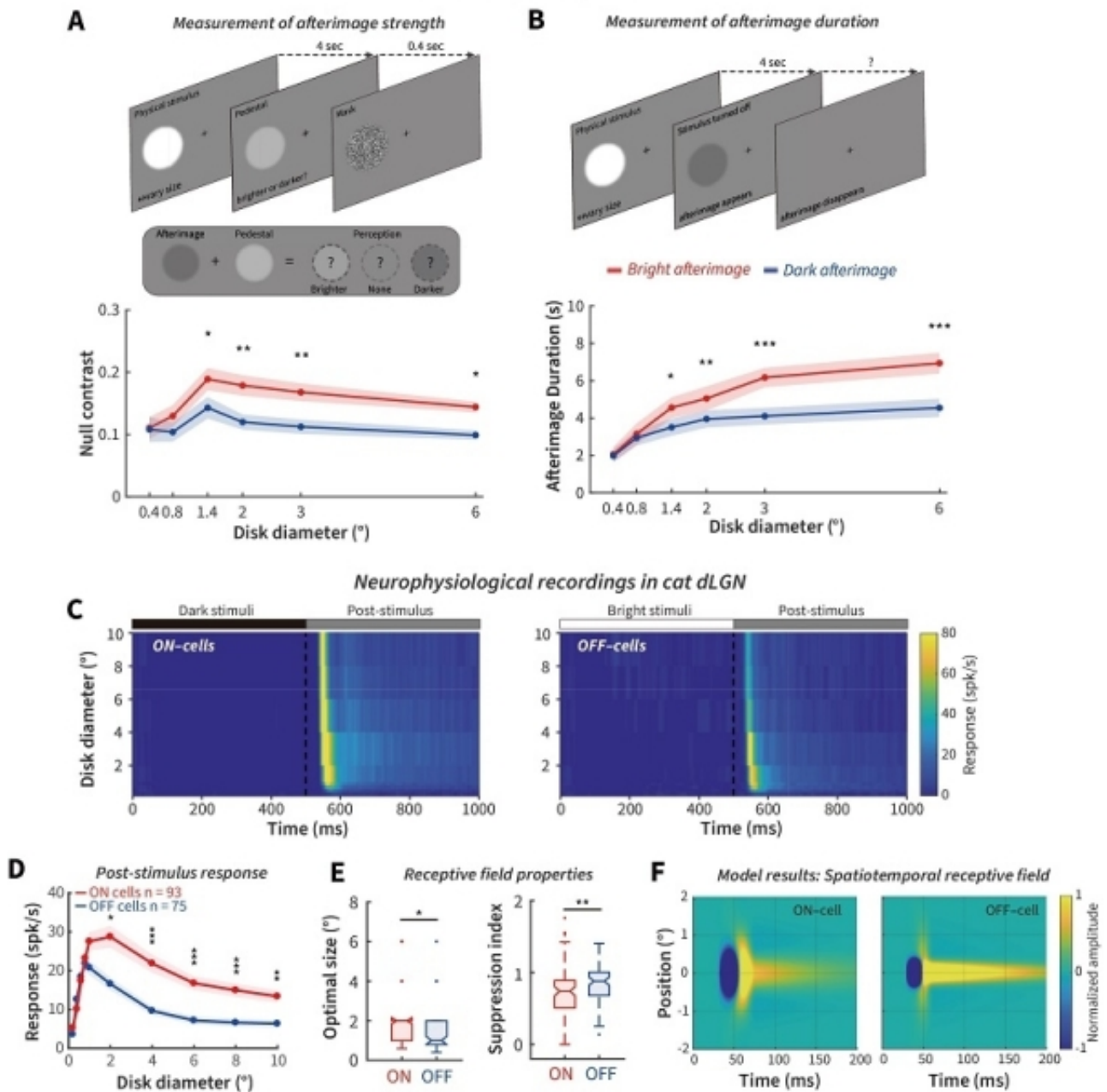


图2：A.亮暗视觉后像的感知强度的刺激大小调谐曲线。当刺激尺寸变大时，亮视觉后像的null对比度显著大于暗视觉后像的null对比度。B.亮和暗视觉后像持续时间随着刺激尺寸变大而增加，同时两者差异也加大。C.外膝体ON和OFF细胞对相反极性刺激的动态反应图。D.外膝体ON和OFF细胞对相反极性刺激的撤光反应的刺激大小调谐曲线。E.外膝体ON细胞比OFF细胞有更大的最优尺寸，更小的抑制指数。F.eDOG模型模拟的外膝体ON和OFF细胞的时空感受野。

研究团队单位：脑科学与智能技术卓越创新中心

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发