迄今最详细基底神经节脑细胞图谱发布

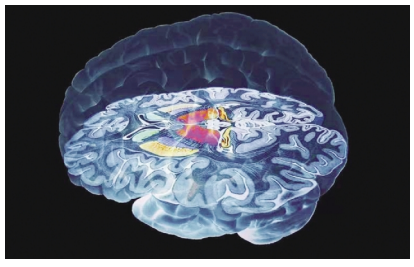
有助于理解从帕金森病到成瘾等各种病症

本报讯 科学家发布迄今最详细基底神经节图谱，包含来自人类、猕猴和狨猴的 2550 万个脑细胞。相关 26 篇研究论文近日发表于《细胞》《细胞报告》《细胞报告方法》《细胞系统》《细胞基因组学》和《神经元》，涵盖了此前研究较少的神经元，揭示了部分脑细胞随年龄变化的情况，以及哪些细胞可能与疾病相关。

基底神经节是位于大脑深部的细胞群，负责处理运动、认知、情绪和决策信息。它们与多种神经退行性疾病和精神疾病相关，包括帕金森病、亨廷顿病、精神分裂症、双相情感障碍和成瘾。

图谱由 9 个国家的数百名科学家合作完成，是“脑计划细胞图谱网络”（BICAN）的一部分。BICAN 是由美国国立卫生研究院于 2022 年启动的一个耗资 5 亿美元的项目，旨在创建哺乳动物大脑的参考图谱。

“这是该领域急需的一部大型词典。”西班牙加迪斯大学的神经科学家 Ana Munoz Manchado 说。她主要研究神经退行性疾病中的基底神经节。



基底神经节的磁共振扫描图像。
图片来源：Zephyr/SPL

基底神经节图谱包含 6 个人的大脑的 2100 万个细胞、3 只食蟹猴和恒河猴大脑的 300 万个细胞，以及两只狨猴大脑的 150 万个细胞。研究人员还使用了此前已发表的完整小鼠大脑图谱中的数据。通过比较不同灵长类动物的基底神经节，研究人员在人类、恒河猴和狨猴中鉴定出 61 种在 7600 万年演化历程中保守的细胞类型。

团队分析了这些物种在整个生命周期不同发育阶段的脑组织样本。最新研究以前所未有的细节整合了这些细胞的信息——从测量基因表达和调控基因表达的 DNA 修饰到记录电活动，以及 DNA 在细胞核内的折叠方式。

研究人员还绘制了每个细胞在脑中的位置，并设计了一个通用框架，用于表征和注释这些细胞。参与该项目的美国艾伦脑科学研究所的生物信息学家 Michael Hawyrylycz 说：“我们现在可以很容易地在此基础上完成对大脑其余部分的描绘。”

其中一项研究对 19 名已故捐献者基底神经节最大结构（纹状体）的 110 万个细胞进行了分析。与其他许多脑区不同，纹状体没有清晰的解剖边界。研究人员在人类和恒河猴纹状体中鉴定出 6 个具有独特分子特征的区带，每个区带都包含不同数量的神经元和胶质细胞。

“这些区域的细胞在显微镜下看起来都一样，但转录差异显著，而且个体之间高度一致。”论文作者、美国博德研究所的神经生物学家 Evan Macosko 说，他和同事还发现，随着年龄增长，区分各个区域的基因表达模式越来越相似，尤其是在受亨廷顿病或帕金森病影响的脑区。

另一项研究则分析了 178 名年龄在 27 岁至 90 多岁的已故捐献者的纹状体和前额叶皮层中的近 400 万个细胞。研究人员发现，这两个脑区的细胞构成因人而异，尤其是被称为胶质细胞的非神经元细胞，表明脑细胞图谱需要考虑这些个体差异。

研究还发现，某些类型的神经元和胶质细胞的比例会随年龄增长而下降。通过检查基因表达模式，研究人员能够预测捐献者的年龄，中位误差为 6.6 年。

BICAN 团队表示，基底神经节图谱是绘制整个人脑图谱的模板。“我们下次再发表一组论文时，很可能描绘的就是整个人脑图谱了。”Hawrylycz 说。

（李木子）

相关论文信息：
https://doi.org/10.1016/j.celrep.2026.118269
https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.10.026
https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.10.012
https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.10.031

猴脑实验助力意识研究

本报讯 美国加州大学伯克利分校的神经科学家曹颖在一项视觉感知实验中探测了恒河猴的大脑。通过猴子的神经活动，研究人员重建了猴子有意识看到的图像，以及那些出现在猴子眼前却没被意识到的图像。近日，相关研究成果公布于预印本平台 bioRxiv。

此前针对猴子的研究也曾探测到它们对意识之外的内容的神经反应，但都只是些微弱的信号。“能发现这种不被意识感知的强烈信号，实在太令人惊讶了。”曹颖说。更出乎她意料的是，研究表明，大脑活动每秒会在有意识模式与无意识模式之间切换数次。

研究人员表示，这些发现或许是朝着揭开神经科学领域最大谜团 ——大脑究竟如何产生意识迈出的一小步。

研究意识的科学家对此颇感兴趣，称赞其方法严谨，但也有人担心有些夸大其词。“这是一篇引发小范围风暴的有趣论文。”美国加州大学洛杉矶分校的认知神经科学家 John Sakon 说，“但其中一些发现并不完全出人意料。”

设想有人通过一台双筒望远镜观察，两只眼睛看到的画面各不相同。人每次只能感知其中一幅画面，而不是两者的混合。这种被称为双眼竞争的现象，对意识研究非常重要。因为它让研究者得以观察一幅图像进入人的意识时，大脑中究竟发生了什么。

在猴子身上探索这一范式时，曹颖团队先向猴子的一只眼睛展示一张人脸图像，几秒钟后，再向另一只眼睛展示另一张人脸图像。若在人类身上进行同样的实验，看到两幅图像的人只会报告看到了第二幅。研究者假设猴子也是如此，他们记录了已知参与面部识别的两个脑区——颞下皮层和前额叶皮层的活动。

研究者先一次一幅地向猴子展示这两张人脸，以便识别每幅图像激发的神经活动模式。随后他们开始实验：先把第一幅图像呈现于猴子的一只眼睛；再把第二幅图像呈现于另一只眼睛。此时，猴子的大脑活动迅速在两种神经模式之间来回切换，频率高达每秒 15 次。

进一步分析显示，这两种神经模式各有分工：一种对应的是猴子意识上“看见”的那张脸；另一种对应的则是被压制的那张脸——也就是说，这张脸真实存在，但猴子并没有感知到它。更值得注意的是，这两个信号的强度相当。

“我们当时的反应就是——哇，这也太疯狂了。”论文作者、加州大学伯克利分校的神经科学家 Janis Hesse 回忆道。

研究者之所以如此震惊，是因为根据人类的经验推断，猴子的意识很可能在脑部发生这种闪烁时保持不变——从第二张脸出现起，它就只感知到这一张。

目前尚不清楚大脑为何要在这两种状态之间如此迅速地切换，也不清楚与被抑制的图像相关的信号为何如此之强。曹颖说，厘清这两类脑信号，将有助于研究者探究大脑在“意识到某物”的那一刻究竟发生了什么。

Sakon 指出，老鼠大脑中也曾记录到两种模式之间的类似闪烁。但那篇论文关注的是大脑如何处理动物所处的环境，而非动物对视觉刺激的意识。

德国波鸿鲁尔大学的神经科学家 Lucia Melloni 表示，该研究提出了关于意识的有趣问题，但没有尝试回答那个关键问题：当两幅图像都摆在猴子眼前时，究竟是什么让大脑“看到”的是这一幅，而不是另一幅。

（侯慧静）

相关论文信息：
https://doi.org/10.64898/2026.10.15.759299