

为三模态整合“搭桥”

(上接第1版)

第二项突破是完整鼠脑全脑高分辨结构成像技术。一个神经元的轴突可能从视觉皮层出发，延伸到很远的脑区，并形成大量细分支。目前成熟的全脑成像技术需要将样本切成薄片，但这可能破坏神经元，导致分子信息损失，甚至造成神经元丢失。

团队的解决策略是对不切割的完整鼠脑进行成像。落实到技术层面时，这又是一个充满矛盾的问题。高质量的成像需要对鼠脑透明化处理，鼠脑越透明，越有利于深层成像；但透明化处理过强，又可能损失荧光和分子信息。

尝试了很多方法后，团队终于在透明化和荧光信号之间找到了平衡。他们自主开发了多平面并行化双光子成像技术。在该技术的帮助下，即便在透明化容差较大的情况下，他们也能对小鼠进行全脑成像。“这种并行化的方法也提升了成像速度，我们能够在100小时内完成完整鼠脑高分辨结构成像。”王凯补充道。

第三项突破是厚组织3D空间转录组解析技术。团队自主开发了双色编码膨胀荧光原位杂交技术(2cEASI-FISH)。徐圣进将其性能概括为“4高1超”，即高穿透性、高灵敏信号放大、高单次检测通量以及高速、超分辨率成像。

其中，高穿透性得益于组织膨胀技术。“就像爆米花一样，组织被均匀放大后，内部孔隙增加，分子探针更容易进入组织深处。膨胀的同时也提升了空间分辨率，使我们能够定位单个mRNA分子在细胞内的分布。”徐圣进解释道。

此外，为提高分子的检测率，团队还采用了杂交链式反应。“一旦识别到一个目标分子，就会像多米诺骨牌一样引起连锁反应，从而起到信号放大作用。”徐圣进说。

这套“组合拳”打下来，团队突破了长期存在的单细胞三模态数据获取和跨尺度配准的技术瓶颈，使研究者能够从真实同源数据出发，分析分子身份、形态结构和功能响应之间的关系。

眼见为实获取新发现

团队并未止步于技术突破。依托IMC平台，他们以小鼠初级视觉皮层为切入点，获得了207个具有在体功能活动和形态信息的神经元，并进一步获得了141个神经元的完整三模态数据集。

“对数据分析后，我们得到了4个非常有趣的科学发现。”徐圣进说。

团队首先发现，对视觉刺激有特异响应的神经元，其全脑投射模式、局部树突形态、基因表达和RNA亚细胞定位均表现出一定特征。“我们把这些特征分为形态结构特征和分子特征两类，发现这两类特征包含互补的信息。”徐圣进表示，将两类特征结合起来，比仅依靠单一模态信息更能预测神经元的功能特征，表明神经元功能身份由分子状态、细胞形态和环路连接共同塑造。

其次，mRNA的亚细胞定位模式本身构成了新的分子特征维度，可用于辅助区分不同投射类型和功能类型的神经元。换言之，RNA亚细胞定位可作为新的分子特征；不仅看“表达多少”，还看“分布在哪里”。

让团队感到意外的是，他们识别出一类此前未被充分认识的Vglut1/Vip⁺PT兴奋性投射神经元亚型。学界曾观察到兴奋性神经元中也会表达少量抑制性神经元的特征分子，但其生理功能不明确。团队的研究证实了这种共表达现象，并进一步发现此类神经元对特定的视觉刺激有反应。这表明传统上常被视为抑制性神经元标记的Vip，也可用于定义兴奋性神经元的亚型。

此外，Rbp4是一类视觉响应神经元的特征分子。结合王凯团队构建的Rbp4-Cre小鼠，他们验证了Rbp4表达富集的神经元中，棋盘格响应细胞比例显著升高。

这些新发现展现了IMC平台用于单神经元多模态研究的潜力。“未来，该平台可扩展到更多脑区，细胞类型和行为范式，用于解析任务相关计算、环路结构和分子身份之间的关系，也可用于研究脑疾病中特定神经元亚型的功能异常、联接改变和分子状态变化。”王凯告诉《中国科学报》。

同时，IMC平台产生的真实同源、跨尺度三模态数据，可作为评估和训练多模态整合方法的高质量真实基准资源。值得一提的是，研究工作中产生的单神经元多模态数据已公开下载。“我们希望这项工作提供的三模态的基准数据库，能够助力人工智能发展。”徐圣进说。

用工程化思维合作

回顾这项工作，徐圣进感叹：“一路走来有很多沟沟坎坎，往往是刚从一个坑爬出来，就又掉进一个新的坑里。”

2017年，“全脑介观神经联接图谱”大科学计划开始筹备。中国科学院院士、脑智卓越中心学术主任蒲慕明在中心内部确定了几个攻关方向，王凯团队“认领”了多模态整合的任务。

团队最初把关注点放在了功能与结构整合上。“可以用按下葫芦浮起瓢形容，功能和结构的测试结果总是不能兼顾。”王凯回忆。

到徐圣进回国时，王凯团队在功能和结构整合方面有了初步结果。徐圣进此前开展过功能和分子整合的双模态技术，三模态整合的雏形就此出现。

“看似只增加了一个模态，其实复杂度大幅提升。”徐圣进表示，“双模态只有一对关系，而三模态是三对关系，彼此之间都要兼容，需要考虑的因素非常多。”

这对科研人员提出了很高要求。王凯和徐圣进都强调，这需要从底层原理出发，在对三个模态都足够了解的基础上改造和优化现有方法，才能真正把路走通。

推进过程中也不容有失。“很像半导体工艺。”王凯说，即便每一步成功率都不低，但所有步骤成功率连续相乘后，最后也会变得很低。

因此，即便业内都认为这件事十分重要，真正推动这些数据整合仍十分困难。美国国立卫生研究院脑研究计划主任John Ngai近期发表的评论文章指出：“这些关键问题的答案无法用单模态数据回答，需要整合分子、细胞、环路和行为的数据。”

“如果没有两个团队的深入合作，这件事很难做成。”王凯表示。在项目推进过程中，他们引入了工程化思维，参与的学生虽然各有分工，但都要从全局考虑，理解不同环节的实验要点。而除了日常点对点的交流，每隔两周到一个月，两个团队的师生也会坐在一起开会，讨论近期遇到的所有问题。

在这样的合作模式下，团队得以一边从一个“坑”中爬出来，一边沿途铺路，让三模态整合从不可能变为可能。徐圣进表示：“我们非常幸运，学生愿意去为这个目标共同努力，建立良好的合作关系，再由导师提供相应的整体环境。”

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.05.041>

美国鲁宾天文台拍摄宇宙10年变迁“大片”

全球最大数码相机将反复扫描天空

本报讯 6月30日，美国的维拉·C·鲁宾天文台(以下简称鲁宾天文台)开始拍摄有史以来最伟大的延时电影——一部记录夜空10年变化的影片。鲁宾天文台将用位于智利一座山顶的迄今最大的数码相机，在10年里一次又一次地扫描从这里看到的整个半球的天空。

第一年，这项巡天调查产生的数据量就将超过以往所有光学望远镜的总和。它将捕捉从移动的小行星、爆发的恒星到成长中的遥远星系的各种天体，并将这些数据源源不断地提供给世界各地的天文学家。

美国国家科学基金会和能源部耗资8亿美元，于2015年开始建设鲁宾天文台。这座天文台在一年多前开启了观测宇宙的“巨眼”，并于2025年6月发布了首批图像。此后，工程师们一直在对天文台进行微调，使其能够稳定、不间断地扫描天空。

鲁宾天文台的主要设计目标是巡视整个天空，而非响应天文学家的要求持续观测某一天体。天文台直径8.4米的镜面能够捕捉到相当于满月面积45倍大小的天空，而其装置的一辆汽车大小的32亿像素摄像头，则可以在数秒内切换到下一个天区，每晚拍摄1000张照片，产生20太字节的数据。

每当有小行星掠过、恒星爆发、遥远的天体变亮或变暗，鲁宾天文台都会在一分钟内发出警报，这样天文学家便可以迅速跟进展开观测。

与此同时，研究人员将通过“叠加”鲁宾天文台多年拍摄的图像，创建一幅包含银河系及其周围两颗恒星和200亿个遥远星系的深邃而精细的宇宙地图。这幅地图将使天文学家能够探测星系周围聚集的不可见的暗物质的分布，并追踪神秘的暗能量是如何加速宇宙膨胀的。

在此次巡天开始之前，鲁宾天文台公布的首批图像就已经让天文学家兴奋不已。美国华盛顿大学的Sarah Greenstreet团队通过分析第一批图像显示的2000颗新发现的小行星，找到了一些迄今自转速度最快的大型小行星，其中一颗每1.9分钟就会自转一周。

预计鲁宾天文台还将发现数百万颗小行星，包括9万颗可能对地球构成威胁的新的近地天体。

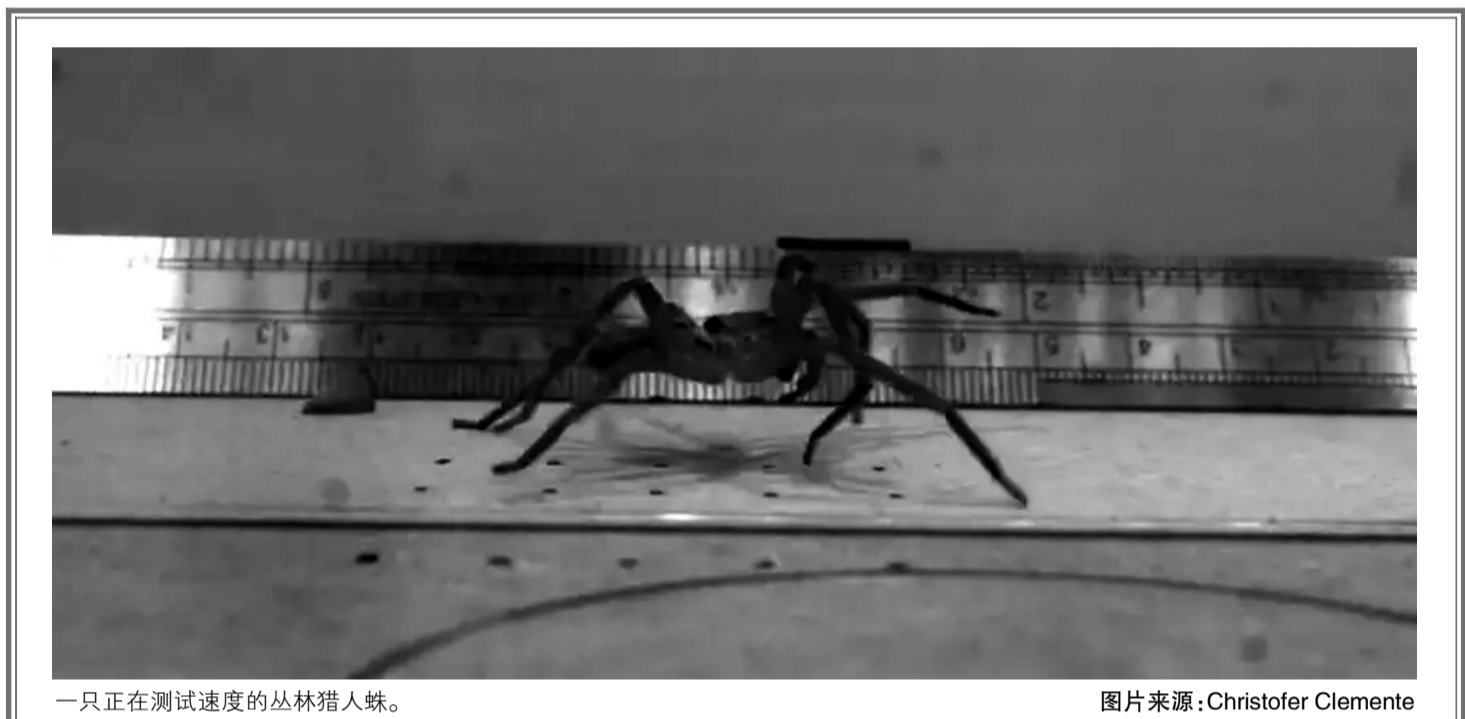
此外，鲁宾天文台还有望一窥一颗假想存在于太阳系边缘、尚未被直接观测到的大行星——第九行星。同时，早期数据还暗示了鲁宾天文台具有发现更遥远瞬变天体以及探测更遥远、更微弱天体的能力。

科学家表示，随着10年巡天的开始，数据的不断积累会带来更多发现。鲁宾天文台开展的深度观测将揭示更多星系，帮助天文



鲁宾天文台拍摄的豺狼座及其恒星、星系和星际气体。图片来源：鲁宾天文台

学家梳理它们在宇宙时间尺度上是如何形成的。这些观测横跨宇宙历史的大部分时期，也有助于揭示宇宙成长过程中暗物质和暗能量之间的“拉锯战”。(徐锐)



一只正在测试速度的丛林猎人蛛。

图片来源：Christofer Clemente

■ 科学此刻 ■

全球蜘蛛谁最快

一项关于蛛形纲动物奔跑能力的全球研究显示，一种发现于澳大利亚昆士兰州的丛林猎人蛛以近3.6米/秒的最高速度荣膺“全球最快蜘蛛”称号。6月15日，相关研究成果公布于预印本平台Biorxiv。

此前，“最快蜘蛛”的官方世界纪录由摩洛哥后翻蜘蛛保持。当受到惊吓时，这种蜘蛛会通过翻滚动作实现每秒1.7米的运动速度。但一些专家认为这一记录并不准确。

“摩洛哥后翻蜘蛛的运动方式属于特殊类型。”德国格赖夫斯瓦尔德大学的Jonas Wolff表示，“这不是跑，而且只在沙丘上向下坡方向行进时才有。”

为全面了解蜘蛛的奔跑速度，英国伦敦帝国理工学院的Shreyas Kuchibhotla和同事在英国、北美、南欧和澳大利亚的野外考察中采集了162种活体蜘蛛，并从宠物店获取了数十种标本。

研究人员仔细称量了每种蜘蛛的体重，然后在A4或A3网格纸上测试了它们的运动速度，以期尽可能多地了解不同物种的生物力学特征。Kuchibhotla表示，对于大多数蜘蛛，用画笔轻轻触碰它们就能诱使其奔跑，但有些物种则不太配合。比如，狼蛛的体形并不适合奔跑，因此不得不向它们喷射压缩空气。

Kuchibhotla和同事还收集了其他研究团队记录的另外96种蜘蛛的速度数据。澳大利亚阳光海岸大学的Christofer Clemente和同事测得，仅3克重的丛林猎人蛛的奔跑速度达到了3.59米/秒。Clemente解释道，这些蜘蛛之所以能有如此快的速度，是因为“就蜘蛛而言，它们体形相对较大，但又不会大到让腿部不堪重负”。

总体而言，体形较大的蜘蛛往往速度更快，但有些蜘蛛的速度远超其体形应有的水平。最令人惊讶的是橙色蜘蛛，它仅0.1毫克重，移动速度却超过20厘米/秒。“它几乎是瞬间横穿整个测试场，这完全出乎我的意料。”Kuchibhotla说。

研究团队成员、帝国理工学院的David Labonte表示，原则上，速度完全由物理定律决定，但狩猎策略等生活方式驱动了极端解剖结构和生理适应能力的进化。“比如，猎豹能轻松跑赢大多数体形相近的大类，这是因为这种速度有益其生存，但它仍然受物理定律的制约。”Labonte说。

在考虑了体形和共同祖先这两个因素后，研究团队得出的结论是，快速奔跑与相对较长的腿有关，但与腿的粗细无关，与蜘蛛是否倒挂生活也无关。

澳大利亚埃迪斯科文大学的Leanda Mason说，长腿似乎是蜘蛛的“加速档”。“丛林猎人蛛提供了创纪录的例证，但更深层次的发现是，蜘蛛的速度是由腿部结构和进化历史决定的，而不仅仅取决于大小或是织网。”Mason说。(文乐乐)

相关论文信息：<https://doi.org/10.64898/2026.06.11.7131532>

依赖 AI 让青少年疏于真实人际交往

本报讯 如今，越来越多的青少年开始向人工智能(AI)聊天机器人倾诉，寻求关于人际交往、家庭矛盾与恋爱情感的建议。研究人员对此表示担忧，认为这类技术或许会扰乱青少年学习处理人际关系的成长过程。一项6月29日发表于《柳叶刀-儿童与青少年健康》的研究显示，AI能即时提出非评判性的建议，对青少年情感发展存在潜在益处。但若AI缺少防护机制与人性化设计，青少年过度依赖它，会错失在真实人际互动中培养关键社交能力的机会。

论文第一兼通讯作者、美国亚利桑那州立大学的Thao Ha表示：“相关技术发展速度极快，无论是科研还是政策都难以跟上其迭代节奏。”多名学生向研究团队表示，自己和身边同龄人经常向AI咨询私密且敏感的人际关系难题。

论文作者之一、美国图森市17岁的高中生Susana Ortega说：“最令人担心的是，AI正在取代人与人之间的真实联结。人类许多情感需求是与AI永远无法替代的，而AI正在不断压缩我们体验真实情感的机会。”Ha表示，青春期的学习调节情绪、化解冲突、换位思考、建立边界感等能力的关键阶段。这些社交能力，通常需要在与同龄人、家人、恋人充满情绪互动的真实相处中逐步习得。

“很多人没有意识到，青少年阶段是学习人际交往的黄金时期，每一次真实社交都是

一块基石，日积月累，最终会让人一生受益。”Ha说，“这些成长经历必不可少。只有亲身经历，才能习得维系健康人际关系所需的各项能力。”

数据显示，青少年使用AI的现象十分普遍。美国皮尤研究中心的一项调查显示，美国64%的青少年使用交互式AI。另一项研究则发现，42%的青少年用聊天机器人处理交友相关问题，19%的青少年咨询恋爱相关问题。

青少年表示，目前针对AI的管控手段(如年龄验证)收效甚微，完全没有贴合青少年的真实需求。还有人称，如今几乎无法避开AI，导致自己很难自主、有节制地使用这类工具。

研究团队指出了两大核心风险。首先是人际替代效应。青少年用和AI对话取代与真人的沟通。在遇到矛盾时回避和朋友、家人、恋人深度交流，就会失去锻炼社交能力的机会，而这些能力恰恰能帮助他们抵御抑郁、焦虑与孤独感。

其次是扭曲的社交认知习得。青少年会对现实人际关系产生不切实际的期待。AI永远秒回信息、一味迎合、不断给予正向肯定，会固化青少年不健康的交往观念。久而久之，他们会要求现实中的人也像AI一样无条件包容、顺从。这会催生畸形的相处模式，使青少年更容易遭受情感拒绝、恋爱暴力，增加各类心理问题的发生风险。

“AI的底层程序设定就是迎合，它总能

说出让你满意的话。如果所有情绪需求都能被轻易满足，那就永远学不会如何应对挫折与矛盾。”Ortega说。

为深入探究数字技术对青少年心智的塑造作用，Ha主持了一项由美国国家精神卫生研究所资助的大型研究。团队招募300名青少年及其恋爱伴侣，开展为期18个月的追踪调研，厘清数字互动在何种场景、何种情况下会对人际关系、心理健康与学业产生正面或负面影响。研究人员提取了青少年手机中的真实交互数据，进行实时分析，厘清AI在青少年情感与心理成长中扮演的角色。

研究人员提出，若产品设计符合青少年成长规律，AI可以引导青少年自我反思，推动他们主动走向真实人际交流，而非完全替代真人沟通。

团队并不主张全面禁止青少年使用AI，而是呼吁开展更多长期研究，追踪人机交互对青少年成长的影响；同时建议学校、社区、政策制定者加大投入力度，普及人际关系教育、完善心理咨询服务，为青少年创造公开探讨情感、人际问题的机会。

研究人员在论文中写道：“守护青少年心理健康，一方面要规范AI的使用方式，使其助力青少年学习人际交往；另一方面要保护他们真实的线下成长体验，让青少年在现实相处中学会关怀他人。”(王方)

相关论文信息：[https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(26\)00166-5](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(26)00166-5)

中年胰岛素抵抗可能增加老年记忆力下降风险

据新华社电 芬兰图尔库大学等机构开展的一项20年随访研究显示，中年出现胰岛素抵抗与老年情景记忆力下降有关，还可能与阿尔茨海默病等脑部疾病有潜在关联。这一发现为老年脑部疾病的早期检测和预防提供了新思路。相关研究论文已在线发表于《衰老神经生物学》。

共有43名志愿者参与了这项研究。他们在中年时接受了胰岛素抵抗情况以及空腹血糖、胰岛素水平等指标测试；分别在约70岁和75岁时接受了包括情景记忆力在内的认知能力测试。此外，有42名参与者在约70岁时，通过正电子发射断层成像(PET)检查了脑内β淀粉样蛋白沉积情况。β淀粉样蛋白在大脑中的异常沉积被认为是阿尔茨海默病的病理特征之一。

研究结果显示，与中年未出现胰岛素抵抗的人相比，中年出现胰岛素抵抗的人在老年时更容易出现情景记忆力下降，这种影响作用可能是通过老年大脑中的β淀粉样蛋白沉积发生的。

研究人员表示，此前已有研究将胰岛素抵抗与认知功能下降、痴呆症联系起来。此次长期随访研究进一步提示，中年出现胰岛素抵抗可能与老年脑健康和记忆功能、阿尔茨海默病等有关。研究表明，预防和降低老年记忆力下降和相关脑部疾病风险。(朱晨晨 徐谦)

“韦布”揭示白矮星行星大气状况

本报讯 美国国家航空航天局的詹姆斯·韦布空间望远镜(JWST)对环绕一颗白矮星运转的行星进行了观测，揭示了这颗行星大气的特征，可能有助于理解未来太阳系在太阳终结后的命运。相关研究成果7月1日发表于《自然》。

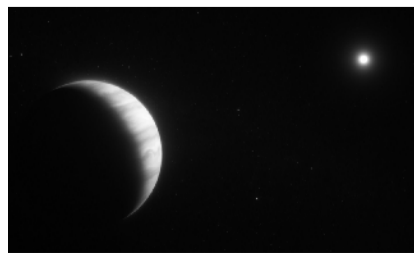
包括太阳在内的绝大多数恒星都会死亡，形成白矮星，但人们尚未充分理解这一恒星演化过程可能如何影响环绕其运行的行星。目前已发现若干围绕白矮星运行的候选行星，表明在恒星演变为红巨星并最终成为白矮星的过程中，可能会有行星幸存。但人们对这些行星的大气组成所知甚少。

在这项研究中，英国圣安德鲁斯大学的Ryan MacDonald和同事利用JWST上的光谱仪，报告了对行星WD 1856 b大气的观测结果，这颗行星环绕一颗白矮星运行，位于一个约有100亿年历史的星系，距地球约25个秒差距。

研究人员发现这颗行星大气富含甲烷和气溶胶。WD 1856 b约为4.3~10.9倍木星质量。在向当前仅距恒星0.02个天文单位的近轨道(离恒星约300万公里)迁移的过程中，其大气经历了再加热。作者还计算出行星大气温度约为390~412K，超出了巨行星的预期温度(160K)。这些发现表明，行星再加热会在红巨星阶段结束数十亿年后发生。

研究人员提出，WD 1856 b是首颗围绕白矮星运行且特征被详细表征的凌星行星。观察这颗行星迁移和大气组成及温度的演化，可能有助于科学家确定恒星消亡后行星系统的命运。(赵熙熙)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10514-7>



围绕白矮星运行的气态巨星WD 1856 b。图片来源：NASA