
研究揭示猕猴额叶皮层对空间序列信息的工作记忆编程

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/29545.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！

9月27日，中国

科学院脑科学与智能技术卓越

创新中心王立平研究组在《科学》（Science

）上，在线发表了题为《猕猴额叶皮层对空间序列信息的工作记忆编程》的研究论文。该研究通过训练猕猴在工作记忆中完成对空间序列的排序任务，发现了猕猴群体额叶神经元对时序记忆操作的表征与运行计算机制。

对于时序信息的编码、存储、操作和使用是众多高级认知功能的基础。人们日常生活中听到的话语以及看见的事物，以不同的颗粒度进行感知，从而进入工作记忆中短暂存储，而后根据当前目的进行加工处理。例如，对言语中句法和语义的下意识理解、对购物金额的加减乘除心算。然而，前期研究探讨了时序记忆的存储原理，但学界对于下游的加工控制神经原理却所知不多。

为剖析时序记忆的加工控制机制，科研人员选取对序列记忆内容的排序作为研究对象。研究人员训练猕猴记忆一段由连

续在不同位置闪现的点组成的空间序列（记忆期1

），并根据随后出现的规则提示去对该序列进行排序（正向排序或逆向排序），最后在一定记忆时间（记忆期2

）后进行汇报。研究人员利用高通量电极阵列对猕猴的额叶皮层神经元活动进行了记录。

研究对规则提示出现前（记忆期1）和规则出现后（记忆期2

）群体神经元对工作记忆信号的表征进行分析。大脑中有数以亿计的神经元在同时发放，且其活动强度有高有低，于是每时每刻的大脑状态可以被一定程度上简化成这个上达亿维空间中的一个点。若只关注某一特定的时刻（如记忆期），则不同的实验条件下的“点”便在这个空间中组成了纷繁复杂、难以捉摸的几何结构。前期研究

发现

，大脑中记忆表征空间序列的几何结构是有规律的——不同次序上的信息被表征在不同的亚平面（或子空间）中，其表征结构反映了外在刺激的结构，且不同次序所在的子空间彼此正交。

研究显示，对空间序列记忆信息进行重新排序时，在记忆期1

里不同次序的子空

间中的位置信息会从原本的子空间中消失，而后在记忆期2

中依据新的顺序将原本的信息放入其对应次序的子空间中。这犹如两个盒子分别装着红球和绿球，当排序发生后红球绿球一起从自己的盒子中消失，而后又神奇地出现在了對方的盒子中。进一步，研究通过跨时间解码分析验证发现，在不同次序所在的子空间中，若不发生排序操作，则各自原

本的空间

记忆信息随时间保

持稳定，而若发生排序，则各自的空

间记忆信息在记忆期1到2

的过程中发生了交换。研究对错误试次的分析发现，若是本不应排序的时候发生了重排，则在对应空间中也能够发现这些错误的交换信号。

进一步，研究发现，在对不同子空间之间的信息进行交换时，每个子空间额外招募了一个临时存储自己信息的新的子空间。每个子空间先把原先内部的记忆信息传递给新的临时子空间，待到自身内部的记忆被清空之后，再将临时子空间中的记忆信号传递给对方。这便完成了子空间之间记忆信息的交换。研究人员通过临时子空间和次序记忆子空间中信号强度与动力学时间特征的关联分析，证明了找到的临时子空间确实用于存储和交换记忆信号。

该研究发现了一个表征规则的子空间。在这个子空间中，不同规则下动力学的轨道存在显著差异。研究通过解码泛化分析与错误试次的分析发现，该空间与排序过程确实存在关联。研究推测，该规则子空间可能是将外界具体的规则信号与内部抽象的动力学轨道进行联系，进而用于交换过程的发起与门控。该空间控制了次序子空间与临时子空间之间的信息流动，使得这些子空间在不同的排序规则下发生不同的动力学过程。

该研究阐释了工作记忆的排序机制。一方面，这种排序机制作为多种智能活动的基本运算之一，不仅能够运用于日常生活中的语言理解、项目规划等，而且可以推广到因果推断、逻辑推理等复杂的认知活动中。这一机理的发现为揭示诸多高级认知功能的神经机制奠定了基础。另一方面，研究发现大脑与计算机运算机制具有相似性，提示了对大脑认知机制的进一步研究或有助于推动未来类脑计算模块更加智能化、高效化发展。研究发现的作为中间步骤的临时子空间尽管在主观上无法被大脑感知，但这些意识下计算的神经基础在物质层面上确实存在，同时相关神经加工过程在神经活动也可以被实际观测，为明确意识的操作定义、揭示意识的生物学基础提供了新见解。

研究工作得到国家自然科学基金委员会、科学技术部、中国科学院和上海市的支持。该成果由脑智卓越中心和临港实验室合作完成。

[论文链接](#)

研究揭示猕猴额叶皮层对空间序列信息的工作记忆编程

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/>

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