
脑智卓越中心在自身运动信息时间同步性对空间航向感知影响的研究中获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/16637.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！

11月16日，Cell

Reports

在线发表了题为《光流和前庭输入对空间航向感知的时间同步性效应》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）、中科院灵长类神经生物学重点实验室、上海脑科学与类脑研究中心研究员顾勇研究组完成。研究发现，相比于同步的视觉与内耳前庭刺激，当视觉刺激提前于前庭刺激约250-500毫秒出现时，猕猴对自身运动方向的辨别更加精确，且额叶眼动区（Frontal Eye Field, FEF）和外侧内顶叶（Lateral Intraparietal area, LIP）中的神经元编码空间航向的信息量更高。实验证据提示，在自然空间导航中，大脑通常采用时间动力学上不匹配，即视觉速度与前庭加速度物理量整合的方式。

基于矢量的空间导航（Vector-based navigation）或路径积分（Path integration）是动物和人在空间导航中常采用的策略，尤其在复杂多变的环境中，当地标信息不明确时，动物使用路径积分策略，可以依靠自身运动信息实时更新机体发生位移的航向和距离变化，从而实现空间定位。视觉光流和内耳前庭为机体实现路径积分运算提供了重要的自身运动信息。已有研究发现，人类和非人灵长类动物可以整合视觉光流和内耳前庭信息，提升对自身运动航向的分辨能力，但是其整合的神经机制尚不清楚。在时间动力学层面上，视觉通道一般处理运动的速度信息，而前庭从外周开始处理加速度信息，但在向中枢传输的过程中会有所累积，导致在大脑中形成从加速度到速度都存在的广泛分布，然而不同时间成分的功能尚不清楚。那么大脑在跨模态信息整合的时候，是整合与视觉速度一致的前庭速度信号，还是不一致的前庭加速度信号？近年来的研究发现这两种情况在大脑中均存在。在纹外视皮层的背侧内上颞区（dorsal medial superior temporal area, MSTd），研究发现无论是视觉光流还是前庭，大部分神经元都编码速度信号，即两种模态的时间动力学匹配，因而MSTd区也被认为是自身运动信息整合的关键脑区。但最近研究发现了相反现象，外侧内顶叶（LIP）主要加工前庭加速度和视觉速度信号，并且错配的时间滞后高达300~400毫秒。在多感觉航向感知中，大脑采用了什么策略，是时间动力学上物理量匹配（视觉速度-前庭速度）的模型，还是不匹配的模型（视觉速度-前庭加速度）？

为了检验上述两种对立的模型，顾勇研究组研究人员训练猕猴在一套虚拟现实的运动平台系统中，根据平台运动所产生的前庭信号，和显示器所产生的视觉光流信号来感知其自身前进的运动方向。研究人员首先模拟了在空间导航中，生命个体在环境中发生运动的情形，即同时激活内耳前庭器官和视网膜。在这种“自然”同步的条件下，研究首先验证了以往的现象，即动物整合了两种刺激，提升了自身运动航向的分辨能力，其提升程度也符合贝叶斯整合理论的最优预测值。进一步地，研究开始人为地改变两种刺激之间的时间差，即人为地把视觉刺激提前，或把前庭刺激

提前，由此设置了一系列非同步的刺激条件。研究显示，在非同步刺激条件下，视觉线索提前于前庭信号250-500毫秒时，猕猴空间航向分辨的能力得到进一步提高，显著优于自然同步刺激的条件。其它非同步条件则无此效果，甚至产生相反作用，说明250-500毫秒的时间同步偏移窗口是特异的。

为何提前视觉刺激250-500毫秒能进一步提升多感觉整合的效率？研究猜测这和位于后顶叶的LIP以及额叶眼动区FEF有关。为此，研究人员在猕猴的这两个脑区植入电极，进行了单细胞在体电生理记录。结果表明，在自然同步的刺激条件下，两个脑区的神经元基本处理一个较慢的视觉速度信号，和一个相对更快的前庭加速度信号，两者的时间差刚好在250-500毫秒之间。当“滞后”的视觉线索被提前于前庭250-500毫秒的情况下，FEF和LIP神经元两种模态信号之间的时间动力学差异（速度峰值 - 加速度峰值）缩小，信号峰值重合叠加，使编码的航向信息容量增加，解释了动物行为的非同步刺激效果。

该研究通过引入人为异步条件的新实验范式，发现了异步条件下的动物空间航向感知增强，以及对额叶和后顶叶皮层的航向信息容量增加的现象。研究结果支持了在自然条件下，大脑使用一个时间动力学物理量不一致的模型来进行多感觉空间航向感知。关于在自然条件下，大脑需要整合视觉速度和前庭加速度信号的原因，研究人员猜想，可能因为前庭加速度是更快的信号，有助于机体利用该信号更快地更新机体空间航向的变化，从而及时做出反应。

研究工作得到国家自然科学基金、中科院、上海市的资助。

(A) 右上：猕猴通过一个虚拟现实平台在环境中运动，分辨机体自身运动方向。平台提供两种模态的刺激，包括屏幕所产生的视觉光流刺激与运动平台的前庭刺激。左图：猕猴发生自身运动时，视网膜接收来自屏幕的光流刺激，内耳前庭接收来自平台的运动刺激后，这些信息被进一步传到大脑皮层进行处理和整合。右下：相比于视觉-前庭同步刺激（0 ms），在异步刺激下，尤其是在视觉光流提前于前庭250或500毫秒时，猕猴对空间航向感知的能力得到提高，反映在对自身运动方向辨别的阈值降低。(B) 从上至下，分别在视觉提前于前庭刺激500 ms、250 ms，和0 ms（同步）时，猕猴额叶眼动区神经元信息量的情况，正好与对应的行为表现一致

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](http://www.iikx.com)转发