

住在大脑里的记忆小编辑

Jie Zheng^{1*}, Gordon Chen², Gabriel Kreiman^{1,3} 和 Ueli Rutishauser^{4,5,6,7}

¹哈佛医学院附属波士顿儿童医院, 眼科 (美国, 马萨诸塞州, 波士顿)

²波士顿大学, 生物化学与分子生物学系 (美国, 马萨诸塞州, 波士顿)

³大脑、思维和机器中心 (美国, 马萨诸塞州, 剑桥)

⁴西达赛奈医学中心, 神经外科 (美国, 加利福尼亚州, 洛杉矶)

⁵西达赛奈医学中心, 神经内科 (美国, 加利福尼亚州, 洛杉矶)

⁶西达赛奈医学中心, 神经学与医学中心, 生物医学部 (美国, 加利福尼亚州, 洛杉矶)

⁷加州理工学院, 生物与生物工程系 (美国, 加利福尼亚州, 帕萨迪纳)

少年审稿人



ANJALI

年龄: 10



ARTHUR

年龄: 8



CHRISTINE

年龄: 8



JULIO

年龄: 9



NEYA

年龄: 14



SONI

年龄: 13

我们不断地与外界产生互动, 但留下的记忆却是以单独的事件存在。比如说, 谈到公路旅行, 我们往往无法记住所有发生的事情, 却能记得旅途中像跳篝火舞这样的一些特殊时刻或事件。同样的, 当我们去体验世界的时候, 大脑会不断提取令人难忘的事件, 然后根据相关性进行整理。这个过程类似于在电脑上将公路旅行的照片分组放入不同的文件夹中, 以便下次能迅速且准确地找到这些记忆。大脑如何使这些活动不被遗忘? 这篇文章将带你了解大脑内成就这一非凡功绩的两类神经元, 以及这些神经元的活动如何影响记忆的形成和检索?

大脑将我们的经历分成彼此独立的不同事件

想象下, 你平常在学校的一天是怎样的度过的呢? 上数学课、科学课和语言课。你能记住每位老师说的每句话吗? 通常很难做到。但想必你还是能记得每堂课的一些内容吧, 比如某个数学公式、某项令人费解的科学观察活动、新学的语法规则, 又或是同学在课上跟你讲的

情景 (Context)

事件发生的场合背景, 包括发生了什么、在哪里发生的以及什么时候发生的。

情景转换 (Context shift)

事件发生的场合产生变化, 包括事件主体、地点和话题的转变。

事件边界 (Event boundary)

从一个事件切换到另一个事件的瞬间。

神经元 (Neuron)

神经元是一种脑细胞, 可以接受通过感官传入的外界信息并与其他神经元和身体进行交流。

电极 (Electrode)

可以记录神经元电活动的一种装置。

图 1

电极 (针状装置) 被植入大脑后, 我们就可以测量电极旁神经元的信号。三角形标记指示了神经元活动导致测量信号“升高”的情况。

笑话。回到家后, 妈妈或者爸爸问起你今天在学校怎么样, 你会怎么描述呢? 你会完全按照这些经历的时间顺序复述所有的细节吗? 大概不会。实际上, 你可能都不记得那个笑话是在科学课之前还是之后听到的。这是因为我们从所经历的事情中提取重要的时刻或事件存储在记忆中 [1]。

要回忆数学课或者科学课上发生的具体事件, 也就是不同场合或情景下发生的事情, 其实会更加困难。这和所谓的“门口效应”有关 [2], “门口效应”是指当人经过一扇门进入另一个房间时, 可能会遗忘在前一个房间里发生的一些事情。从一种场景或情景切换到另一种的过程被称为情景转换。你是否有过这样的经历: 在进入房间之前想着要做什么, 进去之后却忘记了要做什么? 如果你也有过类似经历, 那你也曾体验过什么是“门口效应”。所以说情景转换标志着一个事件结束, 新的事件开始, 也就是所谓的“事件边界”。那我们的大脑是如何检测事件边界呢?

大脑中神经元能标记事件边界

大脑由称为神经元的细胞组成, 神经元负责传输和处理来自外界的信息 (如果想进一步了解大脑怎样与身体互相交流, 可以阅读 [Frontiers for Young Minds](#) 中的这篇文章)。神经元通常以活跃或沉默这两种状态之一存在, 并在这两种状态间切换。有 20 位患有耐药性癫痫脑部疾病的患者自愿参与了我们的研究 (可以阅读 [Frontiers for Young Minds](#) 中的这篇文章, 了解癫痫有关的知识)。这些患者大脑中不同区域植入了电极测量装置, 用来诊断癫痫发作由大脑的哪些部位引起。我们在实验中利用这些电极来“聆听”大脑, 并了解我们的大脑如何检测事件边界。如果电极附近的神经元处于活动状态, 我们就会在采集的大脑神经元信号中看到一些短暂却长长的突起 (图 1 中三角形标记的地方)。

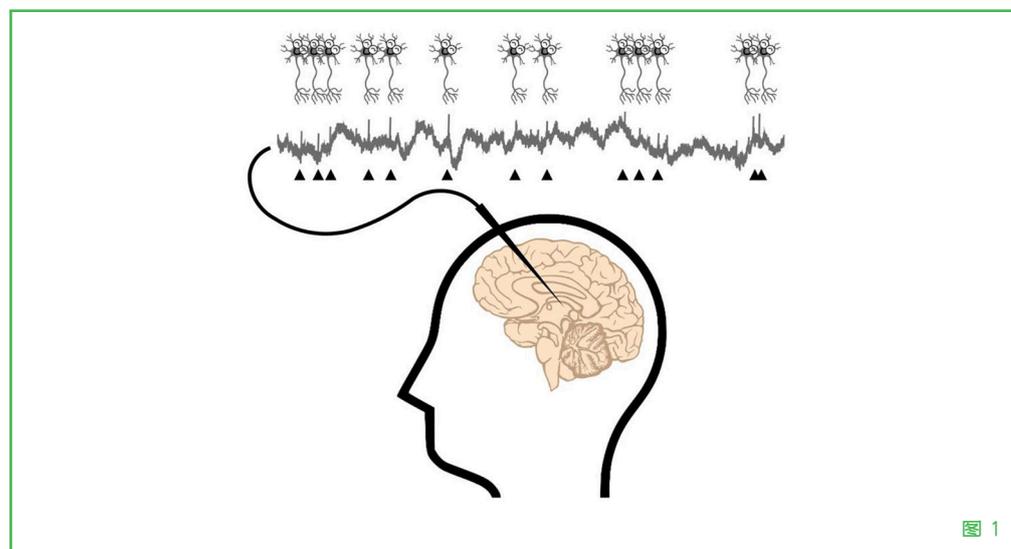


图 1

我们在监测参与者的神经信号时，让他们做了一个记忆实验（图 2）。他们需要观看包含不同边界的 90 个无声视频片段。在不含边界的视频片段中，视频的内容是连续的，没有经过任何编辑。具有软边界和硬边界的视频片段都包含场景转换，就像你可能在电影中看过的场景转换一样。软边界切入的是相关场景，而硬边界切入的是完全不相关的场景。例如，烧烤场景中从侧景切换到后景代表软边界，而从做咖啡的场景切换到收雨伞的新场景则代表硬边界（图 2A）。

图 2

(A) 参与记忆实验的人员观看了一系列无声视频片段，视频被分为三类：不含边界、仅含软边界和仅含硬边界。我们共准备了 90 段视频，每个类别各 30 条。(B) 休息 5 分钟后，参与者进行场景识别任务。我们向参与者展示了一些视频画面，要求他们判断哪个画面为“旧画面”（曾在视频中看到过），哪个画面为“新画面”（未在视频中看到过）。(C) 最后，参与者进行了时间辨别任务。参与者会看到成对出现的画面，并需要选出先出现在视频中的是哪个画面。

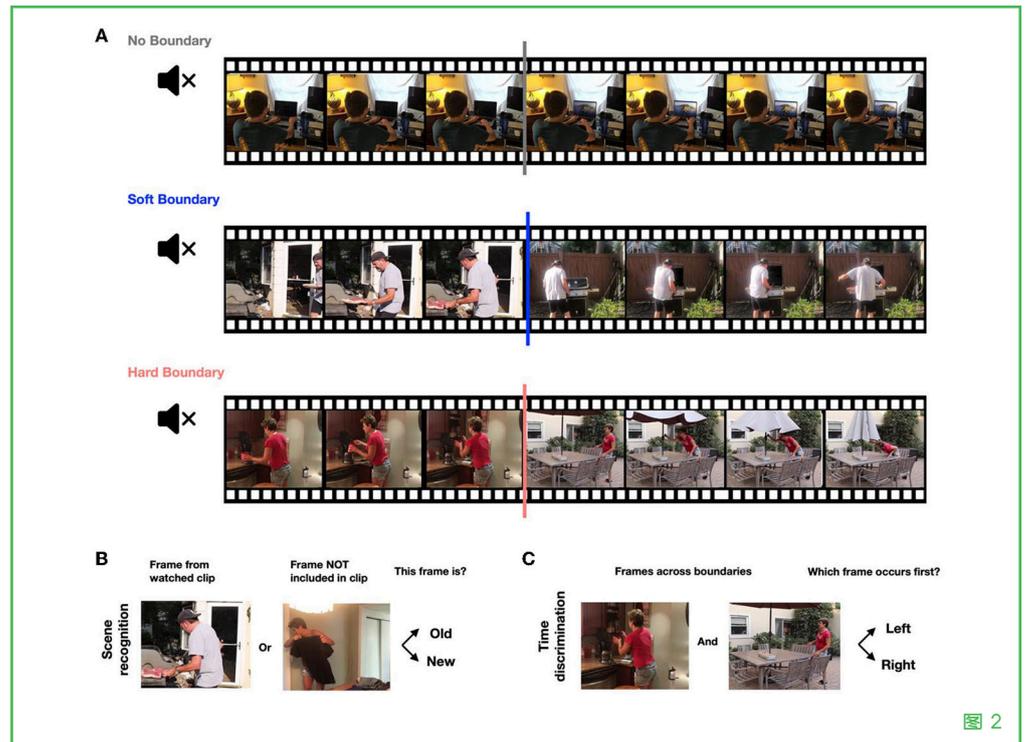


图 2

边界神经元 (Hippocampus)

视频片段的软边界和硬边界出现时都非常活跃的神经元。

事件神经元 (Boundary neurons)

视频片段的硬边界出现时非常活跃的神经元。

海马体 (Event neurons)

大脑深处的海马形区域，在承担记忆功能方面发挥着至关重要的作用。它的名字源于希腊语“hippos”，意思是“马”，“kampos”的意思是“海怪”。

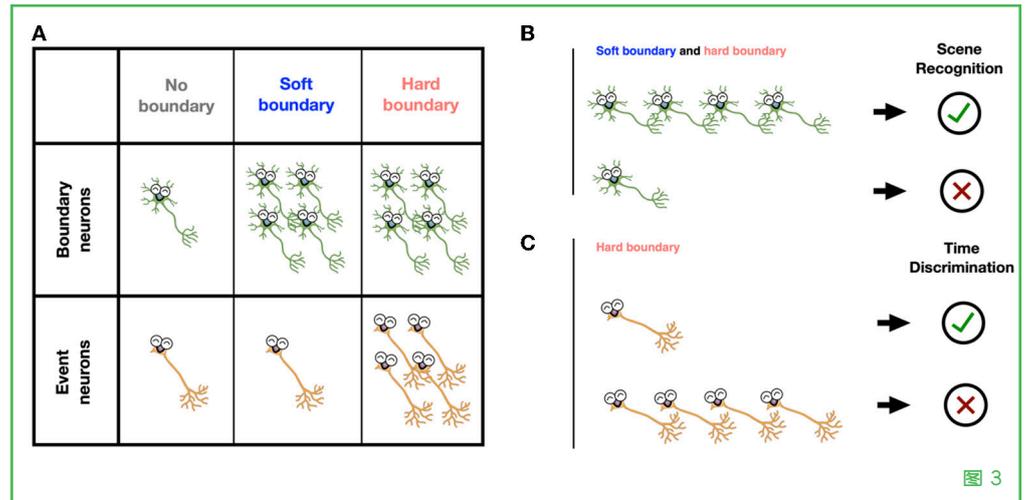
观看一段视频时，大脑能够认出不同的边界吗？答案是肯定的！我们发现有两组神经元能够帮助我们识别不同类型的事件边界（图 3A）。参与者在观看带有软边界和硬边界的片段时，边界神经元会处于非常活跃的状态，而事件神经元仅在观看含硬边界的片段时才非常活跃。这两种神经元主要位于海马体，海马体是大脑中负责产生新记忆的区域。

通过神经元对事件边界的反应能够预测记忆程度

神经元对事件边界的反应如何塑造记忆？要回答这个问题，我们可以了解下这个记忆游戏的第二部分（图 2B、2C）。当参与者观看完所有 90 个片段后，我们用两种方式测试了他们对每个片段的记忆。我们通过场景识别任务来评估参与者是否记得相关的视频内容。对于每一个视频片段，我们截取了其中的一帧画面，向参与者展示，并要求他们用按按钮的方式表明是否看过这个画面（看过则代表这是“旧画面”，未看过则代表这是“新画面”）。第二个测试是通过时间辨别任务来完成的，我们从每个视频片段中分别截取了两个画面，测试参与者能否准确记得

图 3

(A) 在观看视频片段时, 边界神经元在软边界和硬边界出现之后非常活跃。事件神经元仅在硬边界出现后非常活跃 (图中所示的神经元越多, 则表示神经元状态越活跃)。(B) 事件边界出现后, 边界神经元更加活跃, 场景识别记忆更强。(C) 硬边界出现时, 若事件神经元活跃度不高, 时序记忆更强。



这两副画面出现的先后顺序。参与者的屏幕上出现并排的两幅画面, 分别取自事件边界前后。他们被要求选出在原始视频片段中较早看到的画面。

在场景识别任务中, 我们发现参与者更善于识别紧接着事件边界出现的画面。相比之下, 对于离事件边界较远的画面记忆并不深刻。这表明在碰到事件边界后, 大脑很快就会拍下记忆“快照”。在时间辨别任务中, 如果这些画面是在硬边界前后发生的, 那么参与者会感觉更难判断哪个画面先发生, 这就类似于之前所讲的“门口效应”。

综合我们的研究结果就会发现, 神经对事件边界的反应活动有助于预测参与者对视频片段的记忆程度。对于给定的片段, 如果在看到软边界和硬边界时边界神经元非常活跃, 参与者更容易记住是否看到过视频片段中的某帧画面 (图 3B)。同时, 如果在看到硬边界时事件神经元活跃度不是很高, 参与者就更有可能记住所观看片段中画面出现的顺序 (图 3C)。硬边界在帮助我们记忆事件内容的同时, 也增加了记忆事件发生顺序的难度。

为什么这项研究非常重要?

在这项研究中, 我们使用视频片段来模拟现实生活中经历的场景, 从而研究人类大脑如何形成并检索记忆。我们发现, 事件边界影响了记忆的形成和组织。对于紧随事件边界发生的事情, 我们会有更强的再认记忆, 而硬边界会降低我们对事件时序的记忆。我们发现了两组神经元可以标记事件边界。边界神经元在对软边界和硬边界反应时更加活跃, 而事件神经元仅对硬边界做出反应。

这些研究结果阐释了大脑神经元如何将连续的经历分解为单个事件——这是人类记忆非常基础而又神秘的一面。我们观察到的现象可以在未来起到更多作用。例如, 对于在感知事件边界或记住事件时序有困

难的记忆障碍患者，促进边界神经元和事件神经元的活动或许能给他们带来帮助。我们的发现也引出了许多有趣的问题。例如，边界神经元和事件神经元能否标记音频信号（如播客）中的事件边界？大脑中怎样激活边界神经元和事件神经元？为什么大脑对事件边界如此上心？我们希望像你一样的年轻科学家将来能帮助我们解答这些问题。

致谢

感谢西达赛奈医学中心和多伦多西部医院的医疗团队在神经记录方面提供的支持。感谢所有参与者及其家人付出的所有努力。这项研究得到了美国国立卫生研究院（项目编号 U01NS103792、U01NS117839 和 K99NS126233）及美国国家科学基金会（项目编号 1231216）的支持。感谢译者明空对本文中中文翻译的贡献。

原文

Zheng, J., Schjetnan, A. G., Yebra, M., Gomes, B. A., Mosher, C. P., Kalia, S. K., et al. 2022. Neurons detect cognitive boundaries to structure episodic memories in humans. *Nat. Neurosci.* 25:358–68. doi: 10.1038/s41593-022-01020-w

参考文献

1. Radvansky, G. A., and Zacks, J. M. 2014. *Event Cognition*. Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199898138.001.0001
2. Radvansky, G. A., and Copeland, D. E. 2006. Walking through doorways causes forgetting: situation models and experienced space. *Mem. Cogn.* 34:1150–6. doi: 10.3758/BF03193261

线上发布: 2024 年 2 月 08 日

编辑: Sara Busatto

科学导师: Ajay Rajaram

引用: Zheng J, Chen G, Kreiman G 和 Rutishauser U (2024) 住在大脑里的记忆小编辑. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2023.968856-zh

英文原文: Zheng J, Chen G, Kreiman G and Rutishauser U (2023) Little Memory Editors Living Inside Your Brain. *Front. Young Minds* 11:968856. doi: 10.3389/frym.2023.968856

利益冲突声明: 作者声明, 该研究是在没有任何可能被解释为潜在利益冲突的商业或财务关系的情况下进行的。

版权 © 2023 © 2024 Zheng, Chen, Kreiman 和 Rutishauser. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

少年审稿人



ANJALI. 年龄: 10

Anjali 刚升入五年级, 最喜欢的科目是科学和阅读。她特别喜欢动手做实验, 阅读精彩的推理小说。业余时间, 她喜欢骑马, 引导她养的两只非常可爱的小狗 Max 和 Roo 学习新技巧。



ARTHUR. 年龄: 8

Arthur 喜欢阅读和听播客, 尤其喜欢听与元素周期表和动物相关的科学播客。Arthur 热爱学习和分享新事物。他最喜欢的动物是游隼、蜜獾和猎豹。



CHRISTINE. 年龄: 8

我叫 Christine, 今年 8 岁。我喜欢科学, 尤其是化学, 很喜欢做实验。长大后, 我想成为科学家。我也喜欢读书, 正在二刷《哈利波特》系列书。我也喜欢艺术, 爱好烹饪和给节日饼干做装饰。我热爱运动, 尤其是滑冰和滑雪。



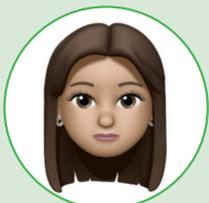
JULIO. 年龄: 9

Julio 超级喜欢芝士、神奇宝贝和希腊神话。他不喜欢吃鱼, 也不喜欢睡觉。长大后想成为发明家。



NEYA. 年龄: 14

Neya 是一名新生, 喜欢打排球, 和朋友一起出去玩, 但不喜欢打扫房间和写作业。她有一个妹妹, 她经常睡懒觉, 按掉闹钟。



SONI. 年龄: 13

Soni 今年 13 岁, 喜欢八年级的一切! 她最喜欢的学科一向是语言文学, 特别喜欢与自己的小狗依偎着看书。她喜欢打排球、玩轮滑和上杂技课! 最喜欢在夏天与朋友和家人在海滩上玩, 也会经常在冬天滑雪。

作者



JIE ZHENG

郑博士是波士顿儿童医院的研究员, 现作为助理教授就职于加州大学戴维斯分校。在此之前, 她获得了南京大学的电子科学与工程学院学士学位, 之后获得了加州大学欧文分校的生物医学工程博士学位。她对人类记忆系统非常感兴趣, 希望将自己的科学发现用于帮助记忆相关疾病的患者。 *jz Zheng@ucdavis.edu



GORDON CHEN

目前我是波士顿大学生物化学和分子生物学专业的本科生。我有很好的记忆天赋, 喜欢与他人分享技能。比如, 我很擅长记住人名和长相, 见过一面就不会忘记。我也对城市及其公共交通系统非常感兴趣。



GABRIEL KREIMAN

Kreiman 教授就职于波士顿儿童医院眼科和哈佛医学院。Kreiman 的实验室研究融合了计算建模、神经记录和行为测量, 帮助我们进一步了解感知和认知背后的神经元回路和机制。



UELI RUTISHAUSER

Rutishauser 教授是西达赛奈医学中心神经科学理事会教授, 也是加州理工学院生物学和生物工程系的客座教授。曾获得美国国家科学院特罗兰奖、美国自然科学基金 (NSF) 职业奖和艾伦研究所下一代领袖奖等奖项。他的实验室使用计算机和实验方法研究记忆、决策、认知灵活性和信心判断的神经机制, 注重发展人脑单神经元记录技术。