

# 搭建未来的“脑联网”

## ——“脑对脑接口”让远隔千里的小鼠做出同样选择

本报记者 常丽君 综合外电

### 新视野

最近,来自美国、巴西和中国的科学家首次在小鼠身上实验了一种“脑对脑接口”(BTBI),用微电极阵列将两只小鼠的大脑接通,让它们直接交流以解决简单的行为难题。通过多组精心设计的实验,研究人员发现感觉运动信息不仅能脑间共享,还能远程传输,两只小鼠即使相隔几千英里,也能做出同样选择。

研究人员指出,实验证明了“脑对脑接口”能在一对脑或多脑网络之间实现信息交流、处理和存储,由此可作为研究新型社会互动、生物计算设备的基础。相关论文发表在2月28日的《科学报告》杂志上。

### 从“脑—机接口”到“脑对脑接口”

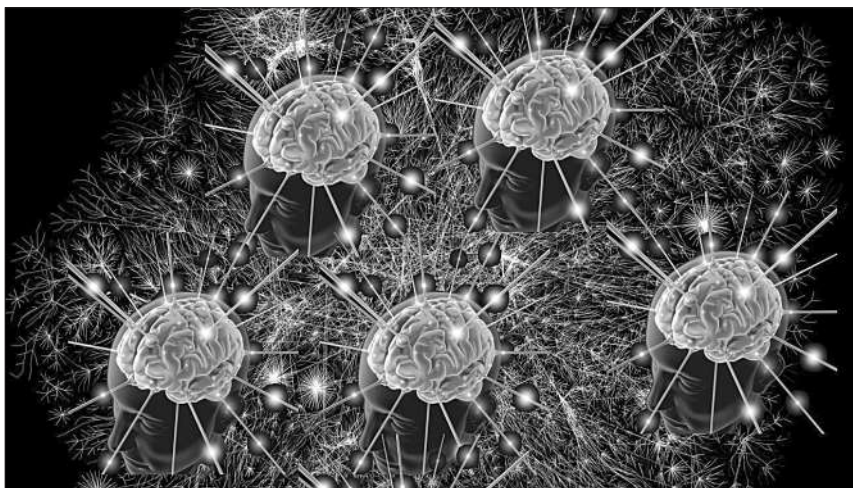
“我们以往研究脑—机接口,在实验中我们发现小鼠大脑比以往认为的更有可塑性。它们的大脑能轻松地适应和接受来自体外设备的输入,并学习着处理那些人工传感器产生的看不见的红外光。”论文作者、杜克大学医学院神经生物学教授米格尔·尼科莱利斯说,“所以,这次我们的问题是‘如果大脑能理解来自人工传感器的信号,那它是否也能理解另一个身体发出的感觉信息?’”

为了检验这一假设,研究人员先训练小鼠完成简单的选择题:根据指示灯按下正确的杠杆。左右两个杠杆上方都有指示灯,哪个灯亮就按下哪个,如果选对了,就给它一口水喝作为奖励。

下一步,他们用微电极阵列植入小鼠脑部处理运动信息的皮层区,并把两只小鼠的电极连接起来。其中一只作为编码器,另一只作为解码器。“编码器”负责接受视觉信息,即根据指示灯决定该按哪个杠杆,按对了才能得到奖励。当它按下了正确的杠杆后,它的大脑会为这次行为决策编码,将其转化为电流刺激模式,直接发送到它的搭档——“解码器”的脑中。

### “编码器”和“解码器”的合作

两只小鼠分别关在不同的“小房间”里。对于该按哪个杠杆,“解码器”并未看到任何指示线索,因此,要想按下正确的杠杆得到奖励,它只能依靠“编码器”发出的信息,而这些信息是经由脑对脑接口传入“解码器”脑中的。



当“编码器”执行二选一任务时,它的脑活动以一种皮层内微电流刺激(ICMS)的方式,传递到“解码器”脑中相符的皮层区,解码器则会按下相同的杠杆。研究人员检验了“解码器”的破译成功率,即根据“编码器”脑电输入按下正确杠杆的成功率。结果发现最大成功率达到了70%,只比理论值略低一点,理论计算的最大成功率为78%。

尼科莱利斯还指出,这种脑对脑接口(BTBI)允许双向交流,这一点很重要。如果“解码器”选错了杠杆,编码器将不能得到全部奖励。由此导致了这对小鼠之间建立起一种“行为合作”关系。

“我们看到,当‘解码器’犯错时,‘编码器’几乎也会同时改变它的脑功能和行为,使之更简单,以便让它的搭档做出正确选择。编码器

会改良代表决策的脑活动的信噪比,使信号更清晰而易于探测。”尼科莱利斯说,“它会做出更快、更清晰的决策,选择正确的杠杆按下去。当‘编码器’调整后,无一例外地‘解码器’做出正确选择的概率也会变高。这样一来,它们两个都会得到更多奖励。”

第二组实验是用胡须辨别洞口的宽窄:如果洞口狭窄,小鼠要用鼻子碰一下房间左侧的

### “千里之外”和“群体之间”的默契

为了测试脑对脑通讯能达到多远,研究人员还将一只“编码器”带到了巴西,放在纳塔尔的埃德蒙·萨弗瑞国际神经科学研究所(ELS-INN),通过互联网把它的脑信号传给远在美国北卡罗来纳州杜克大学的“解码器”。这两只小鼠仍能共同合作,完成这项触觉辨别任务。

“两只小鼠不在同一个大陆时,会产生噪音传输和信号延迟。即使这样,它们仍能保持沟通交流。”论文第一作者、博士后米格尔·派斯-维埃拉说,“这告诉我们,造出一个由身处不同位置的动物的大脑构成、行之有效的脑网络是可能的。”

尼科莱利斯补充说:“这些实验证明,我们能在鼠脑之间建立起复杂的直接通讯连接,即由‘一个中心、两个大脑’组成的神经系统。‘解码器’的大脑就像一种‘模式识别’设备。从本质上说,我们是在创建一种会解决问题的‘有机计算机’。但是在此,输入的不是指令,而是代表‘编码器’决策的脑电信号,‘解码器’则凭借这一信号来解决问题。”

理论上这一系统不受大脑数量的限制,也可以是多个大脑组成的网络,或称“脑网”。尼科莱利斯说,他们正在和ELS-INN的研究人员一起实验,将更多小鼠大脑连在一起,形成一种“有机计算机”,让一群动物共享运动和感觉信息,让它们共同合作,完成更复杂的行为任务。

研究人员指出,“脑对脑接口”能在一对脑或多脑网络之间实现信息交流、处理和存储。以此为基础,还可以进一步研究新型社会互动、生物计算设备等。

尼科莱利斯说:“当多个鼠脑连在一起互相作用时,我们无法预测会出现什么新情况。理论上,多脑结合可能提供单个大脑想不出的解决方案。”此外,这种连接还意味着一只小鼠能把其他鼠的“自我”感觉和自己的“自我”合并在一起。“根据我们对‘解码器’感知皮层的分析,发现它们的触觉皮层区不仅能表征自己的胡须,还能表征‘编码器’的胡须。它的皮质神经元能对两套胡须传来的触觉信息起反应,这表明小鼠对它自体之外的另一个身体产生了另一套表征。”进一步研究这种可调性,还可能带来一个全新的领域——社会互动神经生物学。

# 大脑是唯一的智能基础吗?

## ——无脑黏液菌重新定义智能行为

本报记者 常丽君 综合外电

黏液菌虽然叫做“菌”,却跟真菌、细菌没什么关系,而是一种胶状的变形虫,它们会破坏酵母菌和面包。目前,生物学家把黏液菌归为原生动物门,这类动物保留着“我们尚未真正理解的一切”。澳大利亚悉尼大学克里斯·雷德说:“它们正在重新定义智能的性质。”

黏液菌比它们外表看起来更有智慧。尤其是其中一种被称为“海绵宝宝”的黄色多头绒泡菌(Physarum polycephalum),它们也能记忆、决策、预测变化,能解决迷宫问题,模拟人造运输网络设计,挑选最好的食物。它们能做到所有这些事,但它们却没有大脑,或者说神经系统。这一现象不得不让科学家重新思考,智能的本质究竟是什么?

### 变形“海绵宝宝”

园丁们经常会在后院里发现黏液菌,这是一种像海绵似的黄色物质,它们附着在垃圾上或腐烂木头上。在野生状态下,多头绒泡菌沿着树叶垃圾寻找食物,并在走过的地方留下黏液。一旦发现细菌、真菌孢子及其他微生物,它们就像1958年那部著名恐怖电影《变形怪物》(The Blob)中的外星怪物那样,包围住猎物并把它消化掉。

在一般情况下,多头绒泡菌是由许多个体组成的一个大集体,它们互相合作、寻找食物,但

事实上,它们都是作为一个单细胞独自生活的。这个细胞中包含了数百万的核酸、DNA小液囊、酶和蛋白质,一个细胞就是一个变形专家。

多头绒泡菌会呈现不同的形状,这取决于它生长的位置和方式:如果在森林里,它可能长得很胖,变成一个巨大的黄色的球,也可能很不起眼,在树叶下面留下一片芥末似的黄斑;而在实验室培养皿中,它们会沿着琼脂变成薄薄一层,并长出像珊瑚似的漂亮分枝。

早在30多年前,生物学家就把黏液菌带进了实验室,研究它们的运动方式,发现它们的肌肉是在分子水平上运作。一开始,人们根本想不到它们会发出声音,而且还表现得好像很有智慧。

### 穿越迷宫能手

2000年,日本北海道大学的中垣俊之(音译)和三枝哲(音译)等人把一个多头绒泡菌切碎撒在一个塑料迷宫中,结果发现每一点都开始生长,去寻找其他同伴,迅速充满了整个迷宫。他们又在迷宫入口和出口处分别放了几块琼脂,4小时后,黏液菌就从那些没有口的死路上撤回了分枝,只沿着两块食物之间的最短路径生长。

去年10月,雷德小组也发表了论文,揭示黏液菌在环境中是如何辨别方向的,它们所用

的方式比人们所想的更高级。当多头绒泡菌沿着迷宫或森林的地面爬行时,会在身后留下半透明的黏液。雷德和同事注意到,寻找黏液菌会避开它已经通过的黏液区域。雷德推测,这种胞外黏液是黏液菌外部化的空间记忆,对它们起着提示作用,以便开拓新的地方。

为了验证这一点,雷德和同事把多头绒泡菌放在培养皿中,并在其前面放一个干燥的醋酸纤维做的U型障碍物,挡在它们和食物之间。黏液菌无法黏在上面,或在上面爬行,只能沿着U型轮廓走才能到达食物。最后,实验中的24个黏液菌有23个都到达了目标。而在第二次实验中,雷德先用黏液菌的胞外黏液把培养皿涂了一层,然后才把黏液菌放进来,结果只有8个找到了食物。

事先涂好的黏液迷惑了它们,让黏液菌无法做标记来区分走过的和没走过的路。雷德认为,多头绒泡菌在迷宫里所依靠的也是黏液,先用黏液标出迷宫入口,然后再记得哪条路是死胡同。

### 模拟交通网络

这种在迷宫里辨认方向的本事固然令人赞叹,但黏液菌还能解决更复杂的问题:它们能有效地再现东京地铁网以及加拿大、英国和西班牙的高速路网!

研究人员按照地图,在大城市的位置放了燕麦片等食物,黏液菌先是包围了整个可吃的地方,但几天之内它们就缩小变细,只留下与食物连在一起的黏液分枝,而这些黏液分枝相互连接的方式,几乎与人工的公路、铁路线完全一致,将东京、欧洲和加拿大的大型中心城市连在一起。

这表明这种单细胞的无脑变形虫不会随意地长出枝条,它们就是个工程师团队,以效率最高的方式在食物之间分布枝条,就像工程师设计铁路那样,让它们能尽可能快地从一个城市到达另一个城市。黏液菌能考虑地形的因素——这正是铺设建筑材料所要考虑的——找到两块食物之间的最经济路线,以节省精力。

英格兰布里斯托尔西部大学的安德鲁·爱德马斯等人也提出,黏液菌可以帮人们设计未来的铁路建筑!其实,不管是有生命的原生动物还是计算机程序,都是借鉴其决策过程。

### 适应环境变化

另一项实验表明,黏液菌还能用一种基本的内部时钟来分辨时间和空间,预测未来生存环境可能发生的变化,并做好准备。在三枝哲的实验中,他们将琼脂盘放在温暖潮湿的环境里(黏液菌喜欢潮湿环境),并在琼脂上刻下一些沟槽,然后把多头绒泡菌放在沟槽里,它们便会沿着沟槽爬行。

但每隔30分钟,研究人员会突然降低温度和湿度,让它们处在干冷环境中。黏液菌不喜欢这种环境,它们会本能地减慢爬行以节约能量。几次训练之后,即使不再改变环境,黏液菌的爬行速度还是每隔30分钟就慢下来一次,要过好久这种自发的减速才停止。把时间间隔改为60分钟和90分钟,效果同样。

虽然平均下来,只有半数的黏液菌在环境不变时显示了自发减速,但在这一游戏里,它们无法再依靠黏液。三枝哲推测说,它们只能依靠某种内部的机制,这也许和它细胞质的类似于脉搏的跳动有关。

黏液菌的膜会有节奏地收缩舒张,使细胞质在膜内不断流动。当它们的膜遇到食物时,脉动会变得更快而且会膨胀,使更多细胞质流向那个区域;当被某种障碍挡住时,比如亮光,脉动就会变慢,而细胞质会移向其他地方。出于某种原因,黏液菌会一直保持这种有节律的脉动,形成一种简单的“钟表”,让它能预测可能发生的事件。

### 健康美食家

多头绒泡菌不仅是不起眼的领航员、优秀的预测员,而且还很会挑选最有利健康的美食。对黏液菌生长最有利的食物,由2/3蛋白质和1/3碳水化合物构成。法国保尔·萨巴蒂大学的奥德里·达苏特把黏液菌放在11种不同食物的中心,每种食物的蛋白质和碳水化合物比例都不同。当用这11道菜把它们围起来时,它们只是固执地盯紧营养配比最佳的那块食物。

和大部分生物相比,黏液菌进化得很早,它们6亿年或者10亿年前就出现在了地球上。那时候,还没有进化出大脑或简单神经系统的生物。黏液菌绝非盲目地从一个地方跑到另一个地方,它们小心翼翼地探索着生存环境,在各种资源之间寻找着最佳路线。它们并不是对各种环境都不加选择地接收,而是倾向于那些最有利于生存的环境条件。它们记忆、预测并加以决策,它们能用最少的工具完成这么多任务,对于建立在复杂的大脑基础上的智能而言,黏液菌提供了一种成功的、令人羡慕的替代方案,它们打破了固定模式。



# 错位的眼也能传达视觉数据

## 第三只眼

本报讯 据物理学家组织网近日报道,美国塔夫斯大学的生物学家第一次展示了脊椎动物移植后的眼睛,即使位于远离头部的位,也能在与大脑不具有直接神经连接的情况下传达视觉信息。相关研究报告发表在2月27日出版的《实验生物学》杂志上。

科学家所面临的一大挑战就是了解受试动物的大脑和身体如何适应组织的巨大变化。通过实验他们揭示了大脑卓越的可视能力,即处理从错位的眼晴传来的视觉数据,即使它们处于距离头部较远的位置。

研究人员指出,医学上的一个主要目标就是利用生物或人工部件,来恢复受损或是丧失的感应结构的功能。但他们从没想过不与大脑相连的错位眼晴也能具备视觉功能。大脑能从与脊髓神经密切相连的眼晴处获取视觉数据,这显示了大脑的可塑能力,即其可从身体的多个区域吸取信号,并将它们转化为行为程序。这将为治疗失明等感觉障碍提供有力帮助。

下一步,科学家仍需确定脊椎动物大脑的可塑性是否能够延伸至其他异位的器官,或者是其他类别动物的器官。他们还谈到,这一研究未来最吸引人的领域在于,大脑如何能识别出从五脏六腑周边组织发出的电信号,并将其理解为可视数据。在计算机工程领域,这一问题通常会由依附于信息包的元数据包所解决,根据这些片段就可追溯出它的来源和类型。

而紧连着眼睛的眼晴所发出的电信号是否携带了有关它们自身起源的标识,仍是需要测试所检验的假设。

(张巍巍)

