



人和超人的距离，是那条外穿内裤吗？不，可能是脑机接口。脑机接口是开脑洞吗？这个问题有双关意味。我听了“得到”第一门前沿科技课“脑机接口”后，又翻阅了《脑机穿越》和《脑机简史》两本书，感觉到一束神奇的科技之光：脑机接口不是开脑洞的想象，而是一个真实存在的、正在快速发展的科技领域。

通过采访叶哲伟教授，我们又了解到，侵入式脑机接口确实涉及对大脑的物理接入，需要通过外科手术将电极植入大脑组织中，这种方法可以提供更精确的神经信号，但同时也带来了更高的风险，可能随意“开脑洞”。

你我皆凡人，也许认为这种直接连接大脑和外部设备的技

术离我们太遥远，最近看到一个视频：听障宝宝佩戴人工耳蜗，第一次听见妈妈的呼唤，宝宝瞬间哭出声来。这是脑机接口技术的应用之一，就在我们身边。

这是脑科学、材料科学、工程学、心理学等多个学科的超级跨界组合，这一技术可让我们用意识控制机器。2014年巴西世界杯上，瘫痪10年的年轻人平托借助大脑连接“外骨骼”的方式，靠想象踢球的动作开出了第一球。平托当时喊出的话是“我感觉到球了！我碰到球了！”

大脑是世界上最精密最复杂的“仪器”，我们对此还有很多未知。叶哲伟介绍，脑机接口的芯片通量方面中国已实现了技术上的突破，中国，正在加快研究步伐。

王永芳

港乐不负盛名

专栏

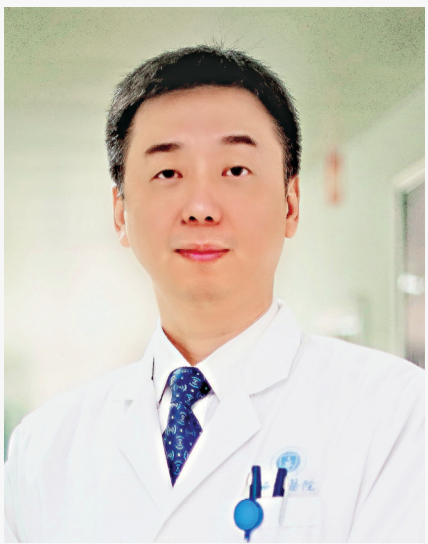
教育如何赢得与技术的“智慧竞逐”？

读书

协和医院智能医学研究室主任、《智能医学》总主编叶哲伟教授：

脑机接口帮助人类实现“不可能”

□长江日报记者马梦娅



叶哲伟教授。

“你们正在引导这个世界！”

扩展现实(XR)是具备高价值属性的新一代数字影像技术，也是实现高维度医学信息交互的重要核心支撑技术。扩展现实(XR)包括虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(MR)。混合现实打破了现实世界和数字世界的界限，可以让这两个世界在三维空间进行三维立体交互。如果这样的技术用在智能医学中，会出现怎样的情景呢？

叶哲伟一直在探索这样的治疗方式，混合现实进入医疗领域，相当于给他和团队带来一双“透视眼”。通过混合现实技术，可以实现三维可视化诊疗、医患沟通、精准手术、个性护理等多个方面的医疗提升。

2017年6月，一个15岁的小女孩遭遇了地这个年纪极其罕见的股骨颈骨折。对于患者来说，手术稍有不慎，不仅会影响其生长发育，还极易发生骨折不愈合、股骨头缺血性坏死等后遗症。必须实施精准度更高的微创手术，减少对局部供血的破坏，而仅凭二维影像资料去完成这样一台高难度系数的手术，对于手术医生也是大的考验。

这个难题给出了叶哲伟团队。那时候，叶哲伟团队的医学混合现实技术刚好成熟，如果运用医学混合现实技术，手术会更加精准安全。

没有先例可以借鉴，这是全世界第一台MR加持下的股骨颈骨折手术，医生通过三维影像的方式把患者的病情讲解得清晰、透彻。通过医学混合现实技术，叶哲伟团队成功实施三枚螺钉精准的微创植入，术后患者快速康复，手术完全达到预期效果。

这台手术，成为医学混合现实技术一个里程碑式的进展。

2017年底，微软全球公共事业部总经理马克·戴(Mark Day)通过新闻看到了这台手术的报道，特地与叶哲伟教授团队进行了远程交流，并称赞团队的工作：“你们正在引导这个世界！”

智能医学让“不可能”成为现实

混合现实技术越来越多地应用到叶哲伟的工作之中。

2018年，一名新疆博州的维吾尔族患者遭遇骨折，当地医院提出请求叶哲伟团队远程指导这台手术。

用低维度的信息指导高维度的操作，存在一定的风险和隐患。叶哲伟团队决定进行三维立体的远程会诊，开展全球首例基于混合现实技术的多地点远程会诊手术。

同时，横跨太平洋、相隔15000公里的美国弗吉尼亚理工大学学者也“亲临”手术室，参与细节讨论。医生佩戴炫酷的MR眼镜远程指导千里之外的手术现场。患者病灶部位的全息投影成像，精准地“悬浮”在医生眼前，还能用标记笔在“病灶”上圈点点点，呈现出科幻大片一样的视觉效果。

智能医学给人们带来更多可能。叶哲伟表示，以VR、AR、MR为代表的沉浸式技术产品也是连接脑机接口的理想设备。扩展现实设备与非侵入式脑机接口的嫁接，将可能成为脑机接口技术的重要场景之一——脑机接口技术将帮助我们实现那些曾被认为“不可能”的愿望。例如，脑机接口的肌电假肢可以让截肢者拥有更自然的运动能力；脑机接口也有望用于治疗神经系统疾病，如帕金森病、脑卒中后遗症等。教育方面，通过脑机接口技术，可以更好地理解学生的学习需求和反馈，提供个性化的教育方案，提高学习效果和兴趣。

医工融合对医务人员和科研人员提出了更多的要求，如何将各学科的前沿科技与医学融会贯通，共同为智能医学赋能，是叶哲伟团队一直在思考和推进的事。

2018年5月25日，叶哲伟主编完成了《医学混合现实》学术专著，微软确认该书为全球混合现实领域的第一本医学专著后，邀请叶哲伟教授在微软中国总部举办新书全球首发式，该书也成为微软总部的礼品用书。

叶哲伟说，研究得越深入，科学家越是对人类的大脑充满敬畏。“人类大脑中的神经元大约有860亿个，每个神经元平均拥有1163—11628个神经突触，它们之间的网络联系极其复杂。人体是世界上最精妙的构成，以我们现阶段的认知和技术能力，完全弄明白它，还需要很长时间的探索。”

在智能医学时代，大量前沿科技进入医学领域，为医生全方位赋能。叶哲伟教授创建并主编了我国第一部《智能医学》国家教材，中国科学院陈孝平院士对此作出评价：“开辟了我国医学教材领域的先河。在智能医学方面，起到了开创、引领、示范的作用，意义深远。”

脑机接口的研究与应用是智能医学的重要领域之一。近日，华中科技大学附属协和医院智能医学研究室主任、武汉智能医学研究院院长、“十四五”高等教育《智能医学》系列规划教材总主编叶哲伟教授接受《读+》记者专访，阐述了智能医学科技前沿及未来。他表示，人类的大脑还有很多潜力没有开发出来，而脑机接口可以帮我们实现许多曾经认为“不可能”的场景。

访谈

读+：前不久，您在中国光谷脑科学发展创新大会上深入阐述脑机接口技术最新研究成果及其在医疗领域的应用前景。请您介绍一下，这项进展建立在大脑研究的什么原理上？这些原理对脑科学有什么关键突破？

叶哲伟：1924年，德国精神病学家汉斯·贝格尔(Hans Berger)发现了神经电生理活动并记录成了脑电图。脑机接口技术的理论基础源自神经细胞的电生理机制，即1963年诺贝尔生理学或医学奖得主艾伦·霍奇金(Alan Hodgkin)和安德鲁·赫胥黎(Andrew Huxley)关于动作电位发生机制的研究。

20世纪70年代，美国国防高级研究计划局(DARPA)开始发力探索大脑潜力。1973年，美国加州大学洛杉矶分校教授雅克·维达尔(Jacques Vidal)首次提出了脑机接口概念(Brain-Computer Interface, BCI)。脑(brain)，是指有机生命形式的脑或者神经系统，而非非抽象的心智(mind)；机(computer或者machine)，是指任何处理或计算的设备，其形式可以从简单电路到硅芯片到外部的计算或运动设备。它可以是外控的机械臂，可以是外骨骼机器人，也可以是外部的一些操作设备；接口(interface)是用于信息交换的中介——脑机接口的实质是一个闭环的神经信息通信和控制系统。

我们人类的平均寿命在持续增长，但我们的大脑功能在50岁以后会出现不同程度的下降，比如出现记忆力下降、阿尔兹海默症或是脑萎缩等一系列的问题。脑机

读+：脑机接口的应用场景如此广泛，可以实现许多我们曾经以为的“不可能”。

叶哲伟：确实如此。脊髓受损的瘫痪病人，大脑的信号无法通过脊髓传到四肢的神经肌肉上；通过脑机接口，首先是解码，分析出大脑里想要做的动作；接着在肌肉端做一个编码，将整个动作解码成每一块肌肉应该做的动作和时序；马斯克的团队在一头猪上做了这样的实验，给这头猪下了动作命令，这头猪按照他们的要求完成了动作。

马斯克曾在发布会上领了三头小猪上场，确切地说是三只植入脑机芯片的小猪。这三只实验猪之前接受过外科手术，由手术机器人将最新版的Neuralink(神经链接)设备植入大脑。马斯克介绍，其中一只小猪被植入设备已有2个月，但生活质量并未受影响。直播现场展示了猪脑活动的实时无线传输，当工作人员摸摸猪鼻子时，可以看到猪的神经元开始兴奋。

有些脑机接口系统内呼外应，不但能读取和翻译神经信号，还能反向刺激大脑的神经活动，实现脑机接口的双向控制。美国脑机接口公司Precision Neuroscience(精密神经科学)研发的“第7层大脑皮层”本质上是一个柔性电极阵列。这一设备主要是贴合于大脑表面，且其厚度仅有头发丝的1/5。它仅需在头骨上开一个极窄的缝隙——你可以想象大脑是一个巨大的存钱罐，医学工作

读+：您的工作一直以来是围绕着外科、骨科等与生物学等，近年来，您编撰《智能医学》国家教材、推行智能医学的原因是什么？

叶哲伟：近年来，随着前沿科技在医学领域得到越来越多的应用，其在疾病诊断与治疗过程中的巨大优势，越来越受到人们关注。新兴技术及其应用为医学带来了新的发展机遇和挑战。我们团队在扩展现实、人工智能、数字孪生、5G等前沿科技的医学应用方面开展了一系列的推进工作。

在这个过程中，涉及大量的医工融合，工程技术人员也需要进入医学领域，就像以前的脑科学可能是由医学的科研人员在做研究，但现在，许多从事计算机领域，包括人工智能领域、光电领域等的科学家也进入了医学领域。

医学发展到今天面临着一些瓶颈，仅靠单一的学科已经没有办法去支撑它的推进，必须多学科交叉和融合进行研发推进。



叶哲伟教授在手术室运用混合现实技术与患者交流。

三种脑机接口，应用于不同场景

接口的底层驱动逻辑，就是希望解决这两者之间的矛盾。

读+：脑机接口的工作原理是怎样的呢？

叶哲伟：神经元主要用电信号作为语言进行交流，它们以特定模式发射电脉冲，有点像摩尔斯电码。兴奋细胞与未兴奋细胞间的电位差导致了电荷移动，因此产生了局部电流。脑机接口系统采集这些信号，经过放大、过滤和处理，最终在机器学习的帮助下进行特征提取获得信号—行为间的对应关系。

脑机接口的工作原理比较复杂，为了方便大家理解，可简述为如下四个步骤：1. 电极采集到神经元发出的电信号；2. 将该信号解析成操控运动的指令；3. 用指令控制机械臂系统移动；4. 肉眼观察到机械臂移动(获得视觉反馈)，然后开始进行下一次移动。

读+：请为我们介绍一下脑机接口有哪几种形式？这一突破性的创新会带来人生和社会怎样的新图景？

叶哲伟：脑机接口根据侵入程度可分为：非侵入式、侵入式、半侵入式三类，三者有其不同的应用场景与特征。非侵入式具有最高的安全性，信号质量低，但应用场景极其广泛，例如健康、情绪监测与睡眠监测等；侵入式需要将电极植入脑组织，能获取最高质量的脑电信号，因此使用场景也更多偏向于严肃医疗；半侵入式脑机接口贴在皮层表面而无需刺入组织，是对侵入式的技术改进，但将设计理念的优势转化为实际应用优势还需要更多的

设备“滑入”大脑，带来无限可能

者像投硬币一般，将设备“滑入”大脑，而这—缝隙不到1毫米。这种半侵入式的植入方式介于深度脑植入与直接连接外部脑刺激设备之间，这一植入方式的较低风险，也意味着更高的采用率，即有望治疗更多患者。

大脑的信号传递不仅有神经电信号，还有化学信号，也就是说大脑的运算既有电子计算也有化学计算，更利于将大脑的算力充分地开发利用。目前科学家已经可以使用多巴胺无缝连接人工神经元和生物神经元，人工—生物混合计算，将人造计算机芯片和生物神经元无缝结合到活体电路中。

通过无线脑机接口，可以操控小白鼠、蟑螂这些在恶劣环境下生存能力强的动物，让它们帮助人类完成一些特别的任务，如环境监测以及灾后救助等；我们人类也可以通过脑机接口，让多巴胺和神经细胞受到正向的刺激，抑郁症、癫痫等神经系统疾病将有可能获得更有效的救治。

读+：未来有一天，我们可以研究清楚意识和大脑的关系吗？我们可以实现“储存记忆、下载意识”吗？

叶哲伟：一些报道声称，脑机接口技术，包括神经刺激和神经反馈技术，可以显著改善个人的记忆、认知或行为表现。这些报道中的脑机接口疗效可能仅限于某些中枢神经疾病患者的特定病例。此外，改善程度也存在较

学科交叉融合，探索大脑奥秘

医务人员和工程技术人员，以前都是在各自的体系里完成培训，思维有一定程度的固化，再进行交叉融合的时候实际上是有痛点的——这些深度的交叉融合确实比较困难。

我们创建《智能医学》国家教材体系的初衷，希望在源头上进行医工交叉融合的培养，让学生提前拥有跨学科、跨平台进行交叉创新的视野和能力。

读+：目前来看，我国在这方面的发展情况是怎样的？

叶哲伟：在各大科研院校及相关企业的共同努力下，我国脑机接口行业正在加快追赶步伐。

2020年，国家“十四五”规划中指出，强化国家战略科技力量，加强原创性引领性科技攻关，明确把“脑科学与类脑研究——类脑计算与脑机融合技术研发”纳入其中，脑科学与类脑科学研究又简称为“中国脑计划”。

脑机接口的芯片通量方面中国已实现了技术上的突破，武汉衷华脑机融合科技发展有限公司成功研发6.5万

技术积累。

目前，脑机接口应用的层面大致可分为三个，第一个是用于状态的识别和监测，当你戴上头显，大脑中的想法可以被识别、监测和干预。

举个例子，“剁手党”们容易产生非理性购物冲动，可以通过脑机接口识别他大脑中的一些变化——大脑在产生非理性购物冲动时的脑电变化，进一步通过脑机接口，抑制购物的冲动。

第二个层面是用于信息的交流和控制。2012年，美国布朗大学的研究团队，让中风了15年的患者通过脑机接口，用意念控制机械臂完成了独立抓取和进食的动作。

第三个层面就是感知和运动能力的康复和重建。2014年的巴西世界杯，一位截瘫青年在数十亿观众的见证下，通过脑机接口操控外骨骼开出了那届世界杯的第一球。

今年3月，马斯克在社交平台上表示，旗下脑机接口公司Neuralink(神经链接)的“Blindsight(盲视)”植入技术已经在猴子身上起作用了。这是什么原理呢？人眼看到的东西实际上在大脑都有对应的兴奋点，通过训练一只猴子，让猴子看到屏幕上的点，再测量它在脑子里的兴奋点，建立一对一的关系。将苹果手机看到的图像，通过特殊的装置，映射到大脑里不同的兴奋点，对这些点进行刺激后，在大脑里形成图像。目前已经可以形成32000多个点的图像，这样盲人就可以看到世界了。

大的个体差异，某些实验对象只得到了轻微的改善或根本没有改善。

至少目前在全球的研究里面，还没有发现可以实现意识上传或者下载的方式。这可能是人们看太多科幻片所引发的联想，上传意识在科幻小说中更为常见。人类的想象力是无限的，但由于人类认知和技术能力的固有局限性和有限性，目前并非每个富有想象力的概念在现实中都可行。

人类意识的神经基础被认为是神经科学和哲学中未解决的主要挑战之一。哲学家提出了诸多关于意识的理论，比如身心二元论等。神经科学家通常更支持唯物主义的观点，即意识是神经生理过程的结果。

内侧颞叶上存在一种高度抽象的神经元，一种被称为“概念细胞”的独特神经元。这些细胞以恒定的模式对特定物体做出反应，而不管特定的感官属性如何。概念细胞的活性可能会因内部过程而改变。例如，人类可以调节内侧颞叶中特定概念细胞的放电速率，这表明人类可以对大脑中的意识表征进行自主控制。

未来的研究将利用脑机接口技术，进一步探索已知的参与区域(例如，内侧颞叶和内侧颞叶和后顶叶皮层)与其他皮层下和皮层结构在创造人类意识体验中的耦合。对意识和记忆在外部设备上再现，可能并非通过现今大众观点中的“存储与下载”。

读+：您在探索智能医学、脑科学的过程中，最大的感受是什么？

叶哲伟：大脑是世界上最精密最复杂的“仪器”。我们对大脑结构和功能的理解仍然非常浅显，信息如何在中枢神经系统内存储和传输？思想产生背后的机制是什么？如何准确测量存储在中枢神经元和神经网络中的信息，并将其转换为计算机可以接收的数字信号？哪些技术可以实现这种转换？这些复杂而困难的问题仍未得到解答。使用脑机接口“下载”思想和记忆，涉及大脑内错综复杂的认知过程和记忆机制，它需要彻底了解大脑如何编码、存储和检索信息，目前看还有很长一段路要走。