

文章编号: 1004-0374(2009)02-0171-06

· 专题: 生物医学工程 ·

使用非侵入的神经影像方法解码人类思维

HAYNES John-Dylan

(德国马普学会人类认识和脑科学研究所)

摘要: 随着神经影像技术的发展,“读脑机器”在不久的将来可能会变成现实。在众多实现“读脑机器”的技术中,使用基于血氧水平依赖的脑功能磁共振技术的神经解码方法则是非常有希望的一种技术。在本报告中,我们结合我们实验室最近开展的两个研究工作,说明了使用功能磁共振技术进行神经解码的一般方法及其应用。本领域的发展很快,所有的这些工作让我们对发明“读脑机器”充满了期待。但是,与此同时,我们也应该看到目前还存在着很多技术的局限和挑战。本报告的最后,我们也对这些局限和挑战进行了一些讨论。

关键词: 神经解码; 功能磁共振; 读脑机器

中图分类号: R318.04 **文献标识码:** A

Decoding human brain activity with non-invasive neuroimaging

HAYNES John-Dylan

(Max Planck Institution for Human Cognitive and Brain Sciences, Germany)

Abstract: As the development of the neuroimaging, the dream of the reading brain machine will come true in the near future. The functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) is among the current most promising technologies for the reading brain machine. In this talk, we introduced some conceptions and idea in this field through some recent studies of using fMRI to decode the human brain activity. At the same time, the talk covered some advance and trends in the future. The advance in this field will bring more exciting result, while, we think, there are some challenge.

Key words: decoding; functional Magnetic Resonance Imaging; reading brain machine

自古以来,人们一直希望能够发明一种能够读取大脑思维活动的机器,使用它去了解别人的所思所想。随着科技的进步,特别是随着现代神经影像技术的发展,这种以前只在科幻小说中出现的“读脑机器”在不久的将来可能会变成现实。目前,我们使用神经影像技术已经可以从多个层次考察脑的结构属性和功能活动,极大地扩展了人类对自身大脑的认识;同时,我们也使用神经影像技术进行了临床诊断和神经系统疾病的治疗干预,神经影像技术正在逐渐深入并改变着我们的生活。在这众多的神经影像技术中,使用基于血氧水平依赖(BOLD)的脑功能磁共振是实现“读脑机器”非常有希望的一种技术。从原理上讲,基于BOLD的功能磁共振是通过检测由血液含氧量变化所引起的磁信号的变化

来间接地测量脑神经元活动的技术^[1]。研究人员正是通过有目的地刺激神经元活动,从而检测BOLD信号的变化来推测神经元的活动,进而了解大脑活动的。目前基于BOLD的功能磁共振技术已经可以实现毫米级的空间分辨率、秒级的时间分辨率以及全脑检测,这为有效检测脑活动提供了可能。

经过多年的研究,科学家们已经发现,当人们看不同种类的物体时,基于BOLD的功能磁共振检测到的脑活动会有不同的空间分布模式。例如,在图1中,人们看四种不同种类的物体(包括人脸、房子、椅子和鞋)时,人脑不同的区域会有不同的

收稿日期: 2008-12-25

通讯作者: haynes@bccn-berlin.de

活动模式，如图 1 中的第二列所显示的不同颜色。从理论上讲，我们可以通过比较和辨别这些不同的活动模式来反推一个新观察到的脑活动模式所对应的被人所看到的物体种类。我们称这个反推的过程为“神经解码(decoding)”^[2]。这个过程有点像通过指纹来识别不同的人。我们知道，每个人都有不

同的指纹。原理上，我们完全可以通过采集不同人的指纹，然后通过指纹来识别不同的人。神经解码的过程和通过指纹识别人的过程非常类似。简单来讲，神经解码就是通过所检测到的脑活动的不同模式来识别人所看到或听到或通过其他方式感知到的不同物体或者事件。

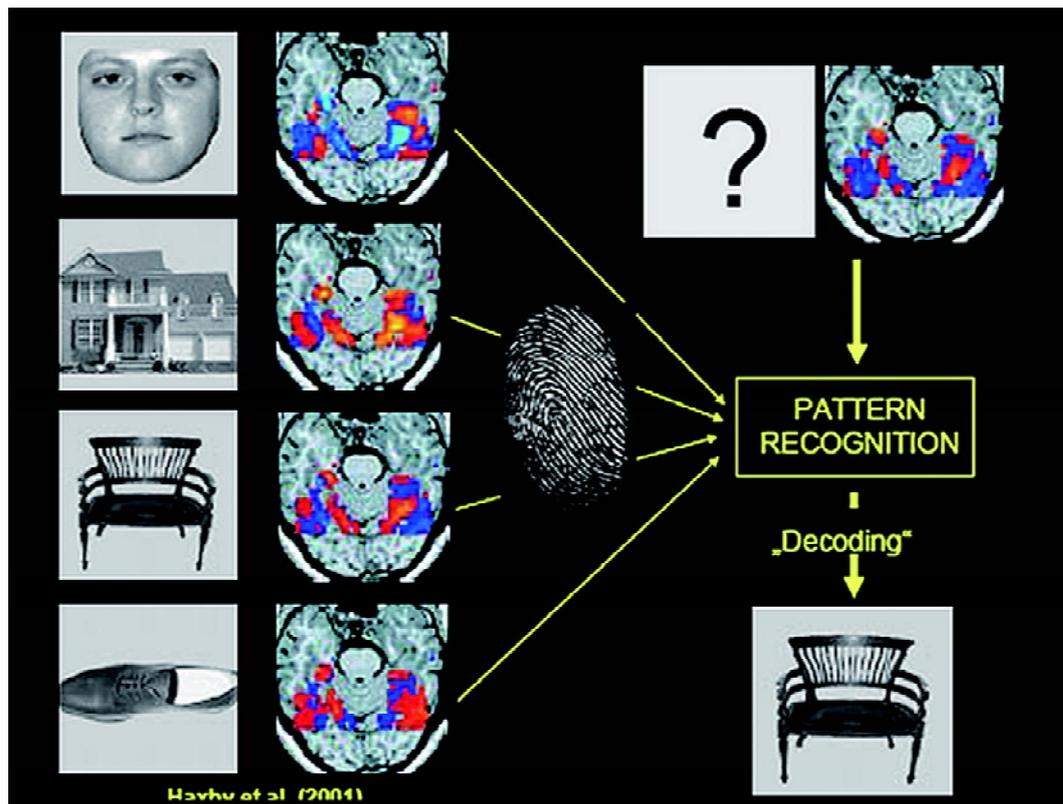


图1 通过大脑活动解码所看到的物体的一般分析过程

在神经解码的研究过程中，模式识别是一项非常重要的基本技术。事实上，正是脑活动方式的复杂性造成了神经解码方法的复杂性。为了阐述方便，我们还是以视觉为例。例如，人们在看到一类物体时，并不是仅仅一个脑区或者脑的部位活动，而是很多个脑区和部位一起活动。因此，仅仅通过检测一个脑区或者脑的部位活动是无法区别人到底是看到什么物体的。我们需要同时检测多个脑区或部位的活动才有可能实现神经解码的过程。模式识别技术正是同时考虑多个变量共变的一种分析方法。所以，仅从分析方法的角度来看，神经解码是一个多学科交叉的研究领域，不但需要神经影像成像和图像分析处理技术，也需要模式识别等数据分析方法。

目前，使用基于 BOLD 的功能磁共振技术进行

神经解码的研究工作还处在初步阶段。因此，下面将结合两个我们最近开展的具体工作来说明神经解码的方法及其在认知神经科学研究中的应用。

1 实验一：预测被试的行为意图^[3]

以前研究已经发现，当人们有目的地进行某项行为时，其前额叶皮层的活动是增加的。但是，对于这种前额叶皮层活动增加的神经机制，科学家们有着很多种猜测；其中，对于其是否包含有人们行为的意图信息并不是很清楚。在我们这项研究中，我们通过设计了一个和行为意图有关的实验，使用神经解码的方法探讨了这一问题。图 2 是我们设计的“意图延迟”任务。在该任务中，被试者在看到屏幕显示“select”时，心中决定在之后看到两个数字是将其进行“相加”，还是进行“相减”操作，被试者被要求记住自己的决定，并且不能改

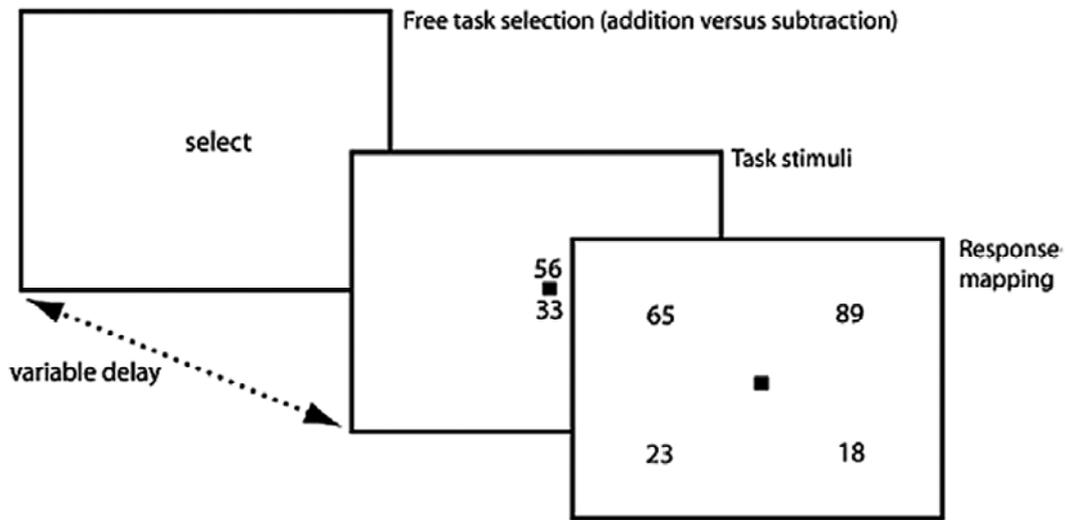


图2 “预测行为意图”研究的实验范式

变；在经过一段时间延迟之后(延迟阶段)，被试者将看到两个数字，按照之前所做的“相加”或“相减”的操作，将这两个数字进行心算，并得到结果；最后，被试者将被呈现四个数字，其中有两个是之前所显示过的两个数字进行相加和相减的操作所得到的结果，另外两个则是毫不相关的数字。此时，被试者需要根据之前自己运算得到的结果，点击合适的按钮(执行阶段)。从直观上讲，我们只能根据被试者点击的按钮所对应的数字来推测被试者之前所做的是“相加”，还是“相减”的决定。在本研究中，我们就是要使用在延迟时间段中的功能磁共振所记录到的脑信号来推测被试者所做的决

定，也就是说，在被试者心中有这个意图的时候就通过脑信号来预测他(她)之后的行为。

具体的，我们先使用统计参数图(SPM)的广义线性模型得到进行加减两个操作时各自在延迟阶段和执行阶段的参数估计图，然后再借鉴Searchlight的思想^[4]使用局部区域内多个像素的参数估计作为特征，利用支持向量机来寻找能显著预测被试者意图(这里就是加减两类问题)的脑区。结果，我们发现，前额叶不同的脑区或者部位在不同阶段有着截然不同的预测力，主要结果如图3所示。在图3中，绿色柱状条所对应的脑区，主要包括额叶内侧区域的前部(MPFCa)等，在延迟时间段能够显著地预测

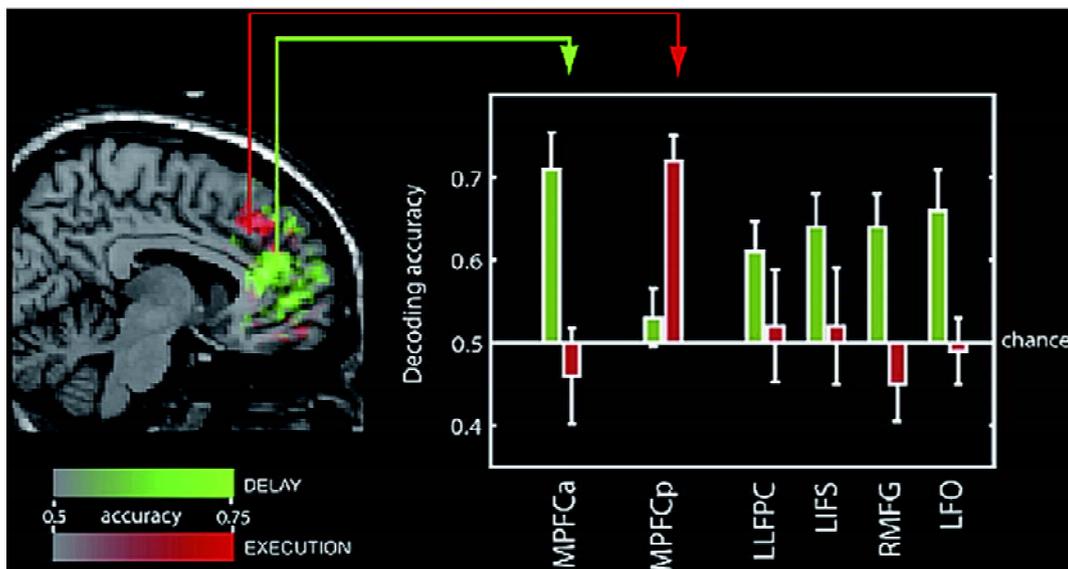


图3 “预测行为意图”研究的主要结果

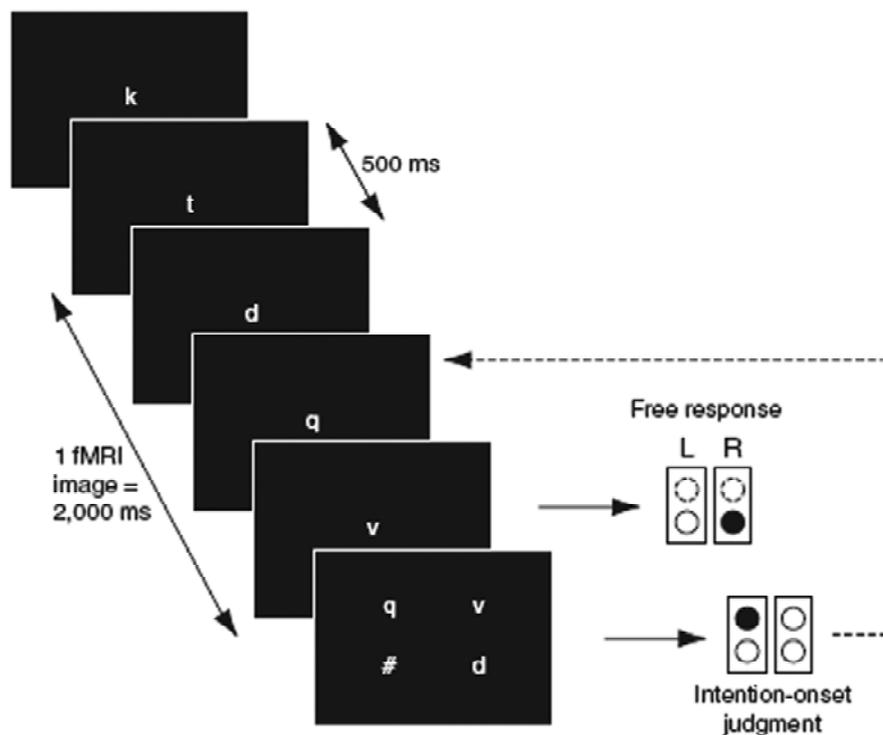


图 4 “大脑无意识活动对自由决策的影响”研究的实验范式

被试的行为意图；而红色柱状条所对应的脑区，包括额叶内侧区域的后部，(MPFC_p) 在任务执行的时间段能够显著地预测被试者的行为。依据这些结果，我们认为，在本实验中，使用额叶内外侧脑区的活动提前预测被试的行为意图是可能的。另外，一个有趣的发现是，MPFC_a 和 MPFC_p 虽然都位于额叶内侧，但是它们在预测被试意图的作用时间段上有着截然不同的表现，一个在延迟阶段；一个在执行阶段。这也提示了这两个脑区在本实验中具有不同的神经功能。

目前，我们也正在和其他研究人员合作，希望能够通过功能磁共振去引导微电极的植入共同进行研究，从而更为全面的认识和挖掘神经解码的潜力。

2 实验二：探索大脑无意识活动对自由决策的影响^[5]

日常生活的经验告诉我们，人类的决策活动一般都是有意识的活动。可另一方面，大脑无意识活动和决策行为究竟是否有关系呢？日常生活可能让我们忽视了这个问题本身。事实上，也很少有人来研究这个问题。在我们的这项实验中，我们使用了如图 4 的实验范式。在这个实验中，屏幕呈现给被试者一系列的字母，每个字母间隔 0.5s。当被试者自己觉得有点击按钮的冲动或者想法时，他(她)可

以(也被要求)立即按下按钮。需要注意的是，尽管是立即按下按钮，并不能保证产生想按按钮的时刻和按下按钮的时刻完全一致。因此，产生想按按钮的时刻和按下按钮的时刻是有一段延迟的。实验中，被试者左右手都备有按钮，点击任一个都可以。在被试者按下按钮之后，屏幕会出现之前呈现的最近三个字母。此时，被试者需要选择再次点击按钮来选择他(她)是在出现哪一个字母时产生想按按钮的冲动的。以上就是实验的基本过程。

在这项研究中，我们也使用了实验一的分析方法以及Searchlight的思想和支持向量机等工具。不过，我们分析的目的却是，探寻在产生按按钮的想法之前以及之后，哪些脑区能够预测是左手还是右手按按钮。从直觉来讲，我们可能会认为，在产生想按按钮之前的脑活动都是无意识的活动，因此其活动与无论哪只手按按钮都是无关的。可是，经过分析，我们发现，结果并非像想象的那样。我们的主要结果如图 5 所示。在图 5 中，每个曲线图的 x 轴表示时间，0 表示产生想按按钮的想法的时刻。从图 5 中可以看出，红色所标出的大脑左右运动区和辅助运动区的活动在产生按按钮的想法之后可以较高地预测按按钮的是左手还是右手；而一部分额极内外侧脑区和楔前叶以及扣带回后部的一部分区域却在产生想按按钮的想法之前(之前长达 7s)

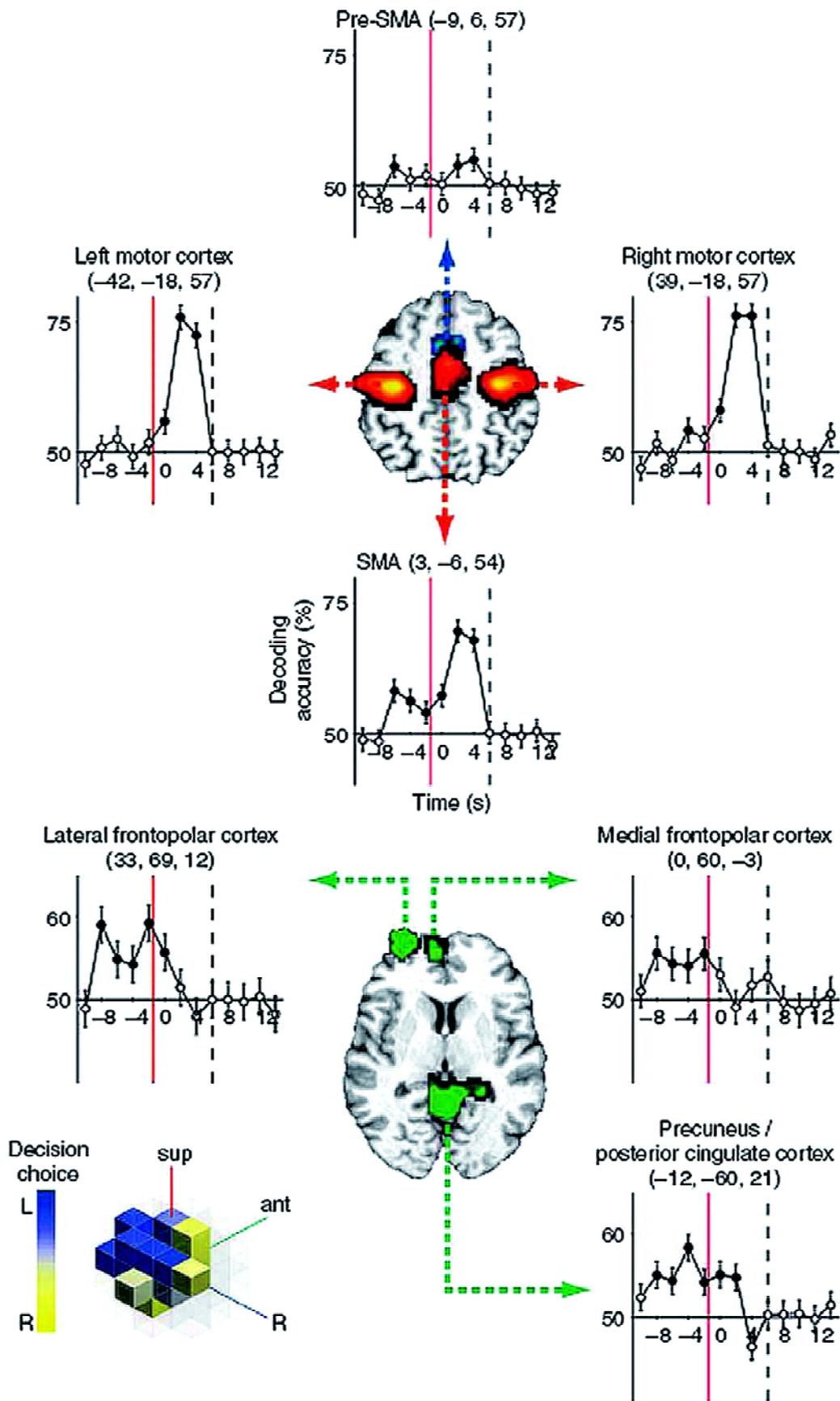


图 5 “大脑无意识活动对自由决策的影响” 研究的主要结果

就可以显著高于随机地预测按按钮的是左手还是右手。这提示我们,人们感知到的意识(awareness)和行为之间的关系并没有我们想象的那么简单和直观;在人们没有意识到即将产生的行为之前,无意识的脑活动早已经参与了行为的准备和处理。并且,负责高级执行控制行为的脑区活动也不一定被意识感知到,本研究的结果即是一个例子。

以上只是最近我们所进行的利用功能磁共振进行无创神经解码研究的比较典型的两个工作。类似的,我们还进行了很多其他方面的工作,其中涉及到了注意、词语的概念以及视觉感知^[6]等等。这些工作以及本领域的发展让我们对不久的将来发明“读脑机器”充满期待。但是,与此同时,我们也看到目前还存在着很多技术的局限以及相当大的困难和挑战。例如,当前虽然我们可以使用功能磁共振进行全脑的秒级扫描,但是,空间分辨率仍然只能在毫米级,并且磁共振机本身也不易搬动,便携性较差,基本上还只能停留在实验室进行科研的阶段。因此,我们可以结合脑电以及近红外检测技术等一起进行神经解码的工作来克服磁共振机便携性差的缺点。除此以外,目前神经解码的方法也非常基本,其泛化性能较差,尤其是所得到的结果不

能直接有效地应用于新的被试者以及研究一个新的应用场合。研究和开发新的有效的神经解码方法是未来神经解码研究领域的一个重要方向。此外,我们也不应该忽视与神经解码应用相关的科研道德和科研伦理等问题:因为思想的私有和独特是人类自身最核心的特性,人与人的不同也正根源于人类思想的不同。

[参 考 文 献]

- [1] Ogawa S, Lee TM, Kay AR, et al. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1990, 87(24): 9868-72
- [2] Haynes JD, Rees G. . Decoding mental states from brain activity in humans. *Nat Rev Neurosci*, 2006, 7(7): 523-34
- [3] Haynes JD, Sakai K, Rees G, et al. Reading hidden intentions in the human brain. *Curr Biol*, 2007, 17(4): 323-8
- [4] Kriegeskorte N, Goebel R, Bandettini P. Information-based functional brain mapping. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2006, 103(10): 3863-8
- [5] Soon CS, Brass M, Heinze HJ, et al. Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nat Neurosci*, 2008, 11(5): 543-5
- [6] Haynes JD, Driver J, Rees G. Visibility reflects dynamic changes of effective connectivity between V1 and fusiform cortex. *Neuron*, 2005, 46(5): 811-21

ËÏÄ÷ÕùÁí