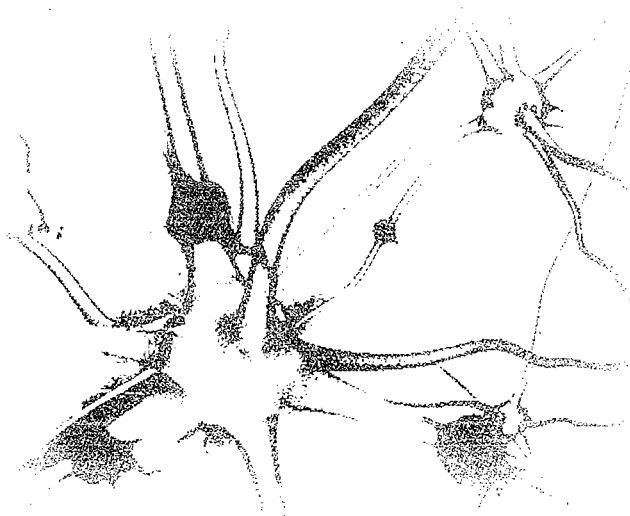


中国神经科学与 社会科学交叉学科 研究进展

马庆国 主编



 科学出版社

第十六章 社会注意中面孔朝向 与眼睛注视线索的表征

毕泰勇 方 方

(北京大学心理学系)



【作者简介】 方方，北京大学心理学系教授，博士生导师，北京大学“百人计划”入选者，国家杰出青年科学基金获得者。主要利用脑成像技术、心理物理学和计算模型研究视知觉、意识、注意及其神经机制。担任北京大学—清华大学生命科学联合中心研究员、国家自然科学基金委员会生命科学部专家评审组成员、*Frontiers in Perception Science* 编委、*Experimental Brain Research* 编委、中国神经科学学会神经科学研究技术分会秘书长、中国心理学会国际学术交流工作委员会副主任、中国科学院心理健康重点实验室客座研究员和杭州师范大学“钱塘学者”讲座教授，是 *PLoS Biology*, *Current Biology*, *PNAS*, *Journal of Neuroscience*, *Journal of Vision*, *Vision Research* 等 20 余种国际学术刊物的审稿人。

Abstract: Social attention is a special attention with strong ecological and social meaning. The cues of social attention include face view, gaze direction and body orientation. They are represented in the human visual system with specialized neurons. With electrophysiological technologies, psychophysical adaptation paradigms and brain imaging technologies, we can deeply investigate the neural encoding and decoding mechanisms of social attention. Converging evidence shows that face views may be represented in FFA and STS while gaze direction may be represented only in STS. These representations are partly independent and partly interacting with each other. fMRI adaption and multi-voxel pattern analysis are two quickly developing technologies in social attention researches.

Key words: Social Attention, Face View, Gaze Direction, Adaptation, MVPA

注意是心理学中最为深入研究的领域之一，且与心理学其他领域甚至其他学科都有着广泛的交叉性。心理学家和神经科学家已经建立了多种模型来解释注意的机制。然而无论注意背后的机制是什么，有一项关键的要素是必不可少的，那就是诱发注意的线索。在众多可以诱发注意的线索中，有一类线索具有独特的生态学和社会学意义，这就是社会注意的线索，例如，面孔朝向、眼睛注视方向和身体朝向等。

我们人类似乎与生俱来就有加工社会注意线索的能力 (Nummenmaa & Calder, 2009)。有研究表明，即使是只有四天大的婴儿，对眼睛注视着自己的面孔和眼睛盯着看其他方向的面孔就有着不同的偏好，婴儿更愿意看那些盯着自己的面孔。更重要的是，只有三个月大的婴儿，就会根据成人眼睛注视的方向，将自己的眼睛转向相同的方向了。这说明在这个时候，人类就已经可以理解眼睛注视线索的含义，并且完成相应的行为。人们会从他人的眼睛注视方向以及身体和头部的朝向中来获取他人注意的信息，推测他人的目的、意向及行动等，并且使自己的注意也转移到相同的方向。这一系列的能力听起来似乎十分自然，然而一旦这种能力缺失，就会引发严重的社会交往能力缺陷。最为明显的心理疾病就是自闭症。患自闭症的典型症状就是社会交流和沟通能力的缺失。人们很早就发现，自闭症的儿童并非没有识别眼睛注视方向等信息的能力，而是在利用这些线索来推测他人的社会意图时产生了问题。有可能是他们在早期的发展中没能学会将眼睛注视线索与社会意图相联系，从而导致在社会交往中重要的眼睛注视线索变得不是那么吸引注意。

既然这些社会注意的线索对人类而言如此重要，弄清楚它们在人类大脑皮层中的表征及产生注意的神经机制就尤为重要了。为了探究这些问题，研究者采用了各种传统的和先进的实验手段，包括行为实验中适应的范式等间接手段，以及单细胞记录和脑成像等直接手段。可以说，对社会注意线索的神经机制的研究正逐渐在注意研究领域变成一个越来越热门的研究方向。我们有必要熟悉现有的各种研究手段以及这些研究目前已经得出的令人兴奋的结果。

一、用电生理及心理物理学的方法来研究 社会注意线索的表征

关于眼睛注视线索的神经相关物的研究很早就出现了。Perrett 等早在 1985 年就试图在猴子的皮层中找到对面孔朝向和眼睛注视方向敏感的神元 (Perrett et al., 1985)。前人研究已经发现在猴子颞上沟 (STS) 及下颞叶皮层 (ITC) 处有对面孔起反应的神元，如果存在对眼睛注视或面孔朝向起反应的神元，那么这些神元有很大可能是包含在这些对面孔有反应的神元群体

之中的。于是他们给猴子看一系列不同面孔和眼睛朝向的图片，同时记录 STS 和 ITC 皮层神经元的神经元发放。果然在这些对面孔起反应的神经元中，发现了编码面孔朝向或眼睛注视方向的神经元，而且还为数不少。有趣的一点是，Perrett 等还发现，编码眼睛注视的神经元既有受到面孔朝向影响的，也有不受面孔朝向影响的。这一结果说明对眼睛注视的编码和对面孔朝向的编码既有各自独立的部分，也有相互交叉的部分。这一点在 De Souza 等（2005）接下来的研究中得到了验证。在颞上沟的前部，存在着两个解剖结构和联结有差异的区域，即前部颞上沟可进一步细分为前后两部分。结构决定功能，解剖结构上的不同必定预示着这两个区域功能上的差异。但是在 De Souza 等之前，人们并没有对这两个区域作功能上的进一步细分，从而不知道这两部分到底各自处理的信息有什么不同。De Souza 等设计了系统的面孔朝向和眼睛注视方向的组合，来探究前部 STS 神经元功能上的分离。正如他们所预期的，两个区域的神经元对刺激出现了不同的反应。在前部 STS 中靠后的神经元绝大多数对某一个面孔朝向及其镜像有对称的反应，而靠前的神经元则大多是只对一个单一的面孔朝向有反应。更重要的是，在靠前的部分，研究者发现，面孔神经元的反应更多地受到眼睛注视方向的调节。这个区域中一部分神经元只对特定方向的面孔和眼睛注视的结合起反应，而其他神经元则似乎编码了面孔朝向和眼睛注视方向的相对关系。种种证据表明，大脑皮层中既存在着独立编码面孔朝向和眼睛注视方向的神经元，同时又存在着编码两者相对关系的神经元。

来自电生理的证据为我们指明了进一步研究的方向。但是毕竟电生理数据完全来自非人类生物，主要是猴子等灵长类生物，物种间的差异一直是试图将电生理研究的结果推广到人类身上的不可逾越的障碍。如何知道人类大脑中也存在着和我们的灵长类近亲相似的神经元呢？心理物理学实验可以为我们提供一条间接通往大脑皮层的道路。心理物理学是专门研究人类对特定刺激的行为反应的科学，通过系统地变化外界的物理刺激，可以观察到人类行为与之相对的变化，从而可以建立人类对于某种物理刺激反应的模型，甚至可以将其与神经解剖的知识联系起来，由此推测大脑的神经活动。在研究物体表征的领域，最常使用也是最为成熟的范式之一就是视觉适应范式。

怎么知道我们大脑中存在对某个物体特征敏感的神经元呢？如果不使用将电极插入大脑内部的方法，单从人类的行为表现上来说，这似乎是不可能的任务。但是，这一看起来不可能办到的事情，只要利用心理学中一个普遍存在的现象即可间接地进行推测。这就是适应现象。我们知道，如果盯着飞流直下的瀑布看一会之后，再看边上的静物，我们就会觉得这些静物是在向上运动的，这被称为运动后效。另一个被更为广泛研究的现象是，我们盯着一个倾斜的光栅（如朝左偏 15° ）刺激数十秒之后，再看一个完全竖直的光栅，这时候大多数人会报告自己

看到的光栅是一个朝右偏的光栅。为什么会发生适应这种现象呢？心理学家给出的解释是，我们人类视觉皮层中有许多编码视觉特征的神经元。例如，在我们的初级视皮层中，存在着许多编码线条朝向的神经元。当给这些神经元呈现它们所喜欢角度的光栅时，它们就会猛烈地放电，而其他不喜欢这个角度刺激的神经元则较少进行放电活动。这个时候，我们的大脑就会根据所有朝向神经元放电反应的综合情况，来决定我们看到的光栅在我们的知觉中是什么角度的。举个简单的例子来说，因为我们大脑中喜欢偏左某个角度的神经元和喜欢偏右某个角度的神经元大致是均等的，所以我们在看一个竖直的光栅刺激时，大脑会探测到喜欢竖直角度的神经元强烈发放，而喜欢偏左和偏右相同角度的神经元在均等强度发放，从而最终使我们感受到一个刚好垂直的光栅。而在视觉适应的情况下，我们先呈现一个特定角度的光栅（如朝左偏 15° ）数十秒，这个时候喜欢朝左 15° 及附近角度方向的神经元强烈放电，而喜欢朝右方向的神经元发放则几乎不受影响。由于神经元有一个特性，即在一次强烈发放之后，短时间之内再呈现同样的刺激时，神经元的放电会比第一次显著降低。这样，在呈现完偏左朝向的光栅之后，短时间内再呈现一个垂直的光栅，这个时候，喜欢垂直朝向附近偏左方向的神经元发放就明显小于喜欢偏右方向的神经元。于是，我们的大脑就会得出这样一个结论，当前的刺激诱发了喜欢朝右方向神经元相对于喜欢朝左方向神经元来说更为强烈的放电，我们看到的应该是一个朝右的光栅。我们的知觉从而被错误地诱导了，反映在行为反应上，就会表现为我们更有可能报告看到的垂直光栅是朝右偏的。这种呈现现象就叫做视觉适应，适应产生的效果（如将垂直光栅视为朝右偏的光栅）叫做适应后效。反过来说，如果我们让被试适应某种刺激特征，然后观察到了适应的后效，那么我们可以由此推测，在人类的视觉皮层中，应该存在着编码这一特征的神经元。这是由于有了视觉适应这一有力的工具，人们得以更加方便和可靠地研究各种视觉特征的神经表征。社会注意线索的神经机制也在各种适应研究的范式下得到深入探讨。

Fang 等于 2005 年在 *Neuron* 上发表的研究论文，正是使用了适应的范式探讨面孔朝向的神经编码机制 (Fang & He, 2005)。在让被试持续地看偏向某一方向的面孔（如朝左 30° 的面孔）数秒后，被试有很大概率会将接下来看到的一张正面附近的面孔报告为偏向右边。这一视觉后效被称为视点后效。面孔视点后效的存在强烈地支持了人类视觉皮层中存在编码面孔朝向的神经元。在接下来的一项研究中，Fang 等又证明了，当适应刺激和跟在后面的测试刺激是不同的身份或性别时，这种面孔视点后效仍然得到了很好的保持，然而一旦将适应的面孔倒立过来，这种后效马上就被强烈地削弱了。这进一步支持了产生这种适应效果的神经元位于人类视觉皮层比较高级的区域，而且这一区域是对面孔构型信息敏感的区域。这与在猴子电生理研究中得出的对面孔朝向编码的神经元位于颞上沟和

下颞叶皮层等面孔敏感区域的结论相吻合。

与之相仿,在眼睛注视研究中,研究者使用适应的范式同样得到了令人兴奋的结果。Jenkins等(2006)研究发现,适应某个朝向的眼睛注视之后,被试会有同方向(但是偏离正中的角度较小)眼睛注视的测试面孔判断为盯着正中,即成功地产生了适应的后效,从而说明人类视皮层中存在编码眼睛注视方向的神经元。为了更好地说明这一适应现象产生于人类高级视皮层,同样地,Jekins等也采用了变换适应刺激的方法。他们发现,当适应刺激的大小变为测试刺激的两倍时,后效仍然存在,说明对眼睛注视的适应不受局部特征的影响。接下来研究者们又用实验证明了,即使适应刺激和测试刺激的面孔朝向不一致时,后效仍然能产生,这就说明眼睛注视的后效也不受面孔朝向的影响,进一步说明眼睛注视和面孔朝向的编码可能是相对独立的过程。为了更好地弄清楚眼睛注视的编码方式,Calder等(2008)又继续使用适应的范式,来研究眼睛注视的编码到底是**对立编码**还是**多通道编码**的方式。所谓的**对立编码**方式即是说皮层中只有两类神经元,它们编码的是一种特征的两个对立的方面。简单来说,就是当某种视觉特征强度越高时,这类神经元的反应就越高(或越低)。人类的知觉就由这两类神经元的发放水平相对高低来决定,例如,颜色视觉和面孔身份等的编码就是采用**对立编码**的方式。而**多通道编码**则是说,某个神经元只喜欢视觉特征的某个强度,低于或高于这个强度,神经元的发放就会显著降低。猴子的单细胞记录实验已经证明,大脑皮层中有编码各种朝向眼睛注视的神经元,即采用的是**多通道**的编码方式。但是如何说明在人类皮层中采用的是和猴子一样的编码方式呢?Calder等采用让被试适应正中朝向的眼睛注视的方法,成功地辨别出了眼睛注视的编码方式。由于**对立编码理论**预期适应正中注视对被试接下来的行为没有影响,而**多通道**的编码理论则会预期适应正中注视后,被试对接下来的稍微偏离正中注视的眼睛会更少地判断它是正中朝向的。实验的结果与第二种预期相符合,从而也很好地吻合了猴子电生理研究的结果。

从前面的证据来看,面孔朝向和眼睛注视之间似乎有着相互独立的过程,但是电生理的研究同时也显示,既有眼睛注视对面孔朝向编码的调节,也有面孔朝向对眼睛注视编码的调节(Nummenmaa & Calder, 2009)。这就不能不让我们怀疑,人类视皮层中,对面孔朝向敏感的神经元和对眼睛注视朝向敏感的神经元之间,也有着相互之间的影响作用。如果有这样的影响,那么这种效应会怎么表现出来呢?解决问题的方法还是视觉适应。Bi等(2009)研究发现,当适应一个偏左(或偏右)的面孔时,如果适应面孔的眼睛不是与面孔朝向一致的方向,而是盯住被试方向时,会显著地削弱面孔朝向后效。如果将面孔倒立过来,眼睛注视的方向就对朝向后效大小没有影响了。令人吃惊的是,这种对面孔朝向后效强度的削弱程度与Fang等2007年发现的适应刺激和测试刺激,采用不同面孔

身份时对面孔朝向后效的削弱程度差不多。也就是说,眼睛注视方向的变化对面孔朝向知觉的影响相当于换一张新面孔的影响,而眼睛大小占整张面孔大小甚至还不足 0.7%。这个实验充分说明了眼睛注视与面孔朝向编码之间存在着共同编码的机制。这一结果与电生理的发现相一致。

通过各种电生理和心理物理学的手段,我们发现,灵长类(包括人类)视皮层中存在着对面孔朝向和眼睛注视方向等社会注意线索进行编码的神经元群体。它们的编码机制既有相互独立的成分,也有相互之间的影响。接下来的问题是,怎么观察人类的神经活动,从而更加直接地探索人类对这些线索编码的神经机制。脑成像的手段再加上最近发展起来的 fMRI 适应(fMRI-adaptation)技术及多体素模式分析(Multi-Voxel Pattern Analysis, MVPA)技术为解决这一问题提供了可能。

二、用脑成像的方法研究社会注意线索的神经编码机制

脑成像的方法主要包括 ERP(事件相关电位)和 fMRI(功能磁共振成像)两种使用较为广泛的技术,以及 MEG(脑磁图)、PET(正电子断层扫描)、TMS(穿颅磁刺激)和光学成像等一系列的可以观察大脑功能活动的技术。

ERP 技术的基础是对 EEG(脑电图)信号进行刺激相关的叠加,从而发现刺激所诱发的特定的波形,然后对这个波形进行分析。由于 EEG 的采样频率很高,所以 ERP 技术形成的波形具有很高的时间分辨率,通常可以达到 ms 级别。因此用 ERP 技术来研究刺激在大脑中加工的时间进程可以取得很好的效果。但是相对而言,其空间定位能力比较弱,通常我们不知道诱发某个波形的脑电活动来源于哪个脑区。因此在大脑功能定位的研究中 ERP 技术受到了一定程度的限制。但是,用 ERP 的技术仍然可以部分推测眼睛注视的编码机制。我们知道,人类 ERP 波形中,有一个对面孔信息敏感的成分——N170,即在面孔呈现后 170ms 左右,人类的脑电信号中会出现一个沿着电压值负轴的波峰。这个成分波被普遍认为是面孔特异性的脑电成分,而且眼睛刺激诱发的 N170 比面孔诱发的峰值还要大。但是,当重复呈现同一偏转方向的眼睛注视刺激时,幅值降低的成分却不是 N170,而是更后面成分波(Schweinberger, 2007)。这就表明,编码眼睛注视信息的神经活动迟于对面孔身份的编码。虽然有研究表明, N170 来源于人类梭状回的神经电活动(Allison et al., 1994),然而更加精确的定位则不能依靠 ERP 数据得出,必须采用空间分辨率更高的成像手段——如 fMRI 来实现。

fMRI 全称叫功能磁共振成像。其测量的指标是血液中含氧血红蛋白与脱氧血红蛋白的比值。神经科学家们通过对脑损伤病人发生特殊认知功能障碍的研究

发现,人类大脑具有功能分区的特性。例如,枕叶部分是加工视觉信息的,颞叶上部是加工听觉信息的,而中央后回部分则加工躯体感觉信息等。如果某一个大脑区域受损,那么相关的信息加工过程就会中断,表现为某一项认知功能受损甚至丧失。根据这种功能定位的思想,我们可以推知,大脑中神经元的组织并不是杂乱无章的,而是按照功能的划分来安排其位置。功能相同或相似的神经元在大脑中所处的位置也是相邻的位置。加工同一类信息的神经元聚集成团,就形成了各个功能区,例如,枕叶就被称为初级视觉区。既然人类大脑中神经元按照功能聚集成团,那么人类在进行某项认知活动的时候,就会有某个皮层的神经元集群异常活跃。在这一区域的神经元大量地发放动作电位。因为动作电位的发放及信息传递伴随的一系列电化学反应需要大量能量,所以这一区域的耗能也大增。在人类的代谢活动中,能量的来源主要是葡萄糖的氧化,这一过程会消耗掉血液中血红蛋白携带的氧分子。所以最终的结果是,人类的某项认知活动会急剧消耗掉该认知活动对应脑区周围血管中的氧分子。为了保证充足的氧供应,血液系统就会向这一区域输送大量的富氧血液,从而导致该区域含氧血红蛋白相对于脱氧血红蛋白含量大量增加。应该注意到,认知活动耗氧是一个短暂的过程,而随后而来的含氧血液的补充则是一个相对较长的过程,而且往往是一个过度补偿的过程。因此,我们观察到的往往是认知活动发生后,血液中含氧血红蛋白比例迅速开始上升,但是直到5秒后才达到顶峰。由于血液活动局限在一个很小的范围之内,使用fMRI的手段就可以得到比较精细的功能定位图像,通常分辨率可以达到毫米量级。大量的实验已经证实,fMRI进行功能定位的结果与电生理直接记录神经元活动的定位结果基本一致,例如,与没有视觉刺激相比,视觉上的刺激使人类枕叶皮层活动增强,类似的结果也可以在颞叶的听觉皮层和顶叶的躯体感觉皮层得到,从而为fMRI的实际应用奠定了坚实的经验基础。于是,各种皮层功能区被定位出来,除了基本的感觉皮层之外,还发现了加工完整物体的外侧枕叶皮层、加工面孔信息的颞叶梭状回皮层,等等。

当fMRI在人脑功能定位领域取得巨大成功的同时,人们发现,进一步研究神经元对视觉特征更精细的编码机制似乎变得不太可能。举例来说,神经生理学家发现,初级视觉皮层中神经元可以编码线条的朝向信息,即单个神经元对特定的朝向刺激反应最强。但是人类皮层中对各种朝向反应的神经元数目大致均衡且混杂在一起,如果直接观察初级视觉皮层对不同朝向的视觉刺激的反应,我们会发现这些反应的强度并没有差别,这就与生理学实验的结果不一致。但是这并不是说fMRI的结果是错的,而是我们无法进一步将fMRI的精度提高到与神经元可比的水平。为了解决fMRI精度仍然不足的问题,神经科学家们又发展了新的fMRI技术——fMRI适应技术。

三、使用 fMRI 适应技术研究社会注意线索的编码

前面已经提到过,在神经元水平,如果在短时间内给神经元呈现两个相同的刺激,神经元对第二个刺激的放电会显著地降低。这一现象已经在电生理的实验中得到证实(Li et al., 1993)。研究者们将其命名为重复抑制或者适应现象。那么,是否只有当刺激完全相同的时候才能产生适应的效果呢?答案是否定的。这取决于神经元对刺激的敏感性。单个神经元往往只对刺激的某个特征敏感。例如,初级视觉皮层中有对刺激朝向敏感的神经元,意思就是说该神经元只对某个朝向的线条刺激有最大的反应,一旦刺激朝向偏离这个偏好朝向,神经元的发放就会显著降低。但是,由于一个视觉刺激有很多特征,如何说明适应的发生是因为神经元对某一特征的敏感造成的呢?在一般的实验中,都会设置两种条件:一种是适应条件,即两个相同的刺激相继呈现;另一种是控制条件,即控制其他特征不变,先后呈现的两个刺激仅在某一目标维度上变化。如果适应条件下神经元的反应显著低于控制条件,则说明该神经元是对控制条件中变化的特征敏感的。反之,如果适应条件和控制条件的反应没有差别,则说明神经元对该特征不敏感。另一种新的指标——适应的恢复,也可以说明同样的问题。在适应的恢复范式中,首先相继呈现两个完全一样的刺激,这个时候神经元会发生显著的适应,即第二个刺激诱发的反应显著降低。然后再变化刺激某一维度的特征,紧接着进行呈现。可以预测,如果神经元对这一特征不敏感,适应仍然有效,该刺激诱发的反应仍然保持着低水平。而如果神经元对这一特征敏感,那么就会将这两个刺激视为完全不同的刺激,适应的效果就会解除,这时呈现的刺激诱发的反应就会回到第一次呈现的刺激诱发反应的相同水平。也就是说,如果变化了刺激的某一特征能使其从适应中恢复过来,就能说明神经元是对这一特征敏感的。

我们知道, fMRI 和神经活动有着紧密的关联。神经元群体活动的增强或减弱会使 fMRI 信号同样的增强或减弱。这也就使得 fMRI 的测量上也会出现适应的现象(Grill-Spector et al., 2006)。其基本思想和上面描述的神经元适应的思想完全一样。研究者们将 fMRI 和适应技术的结合称为 fMRI 适应。有了 fMRI 适应技术,就可以将 fMRI 的分辨率提高到神经元的水平,从而使人们通过 fMRI 研究视觉特征精细的编码机制成为可能。因此,这一技术在认知神经科学中得到了广泛的应用,囊括了从低级的朝向、颜色和运动等特征直至高级的物体、词语和面孔等特征的编码机制的研究。同样地,人类皮层中社会注意线索的编码机制也可以通过 fMRI 适应的手段得以研究。

在 2004 年发表的一项研究中, Andrew 和 Ewbank (2004) 报告了下颞叶梭状回和颞上沟处面孔特异性的 fMRI 适应现象。与预期相一致,他们在梭状回处

发现了对面孔身份的适应效应，而且这一效应不会受到面孔刺激大小和面孔朝向的影响。与之相对，在颞上沟处并没有发现面孔身份的适应效应，但是却发现了对面孔朝向的显著的适应。这样结果似乎十分明显，梭状回处的神经元编码的是面孔身份的信息，而颞上沟处编码的则是面孔朝向的信息。但是就这样下结论还为时过早。因为在这个实验中，作者采用了组块的实验设计，即将相同的条件放在同一个组块中连续重复呈现。这样导致的问题就是无法排除注意有可能在各个组块之间不一致。另外，适应时间的长短也似乎是一个值得考虑的因素。这些问题都在 Fang 等（2007）的研究中得到解决。Fang 等采用事件相关的设计，各个适应条件随机出现，避免了注意的影响，另外还专门设计了长时程的适应和短时程的适应两种实验条件，来研究适应时间长度对 fMRI 结果的影响。与 Andrew 等的结果不一致的是，在长时程适应条件下，右侧梭状回和右侧颞上沟都出现了显著的面孔朝向适应效应。而在短时程适应条件下，只有右侧梭状回仍有适应的效应。而且，长时程和短时程条件下适应的性质也有所不同。在长时程适应条件下，适应强度的大小与面孔朝向变化的量有关，面孔朝向变化越大，适应的效应就越小。而在短时程适应的条件下，fMRI 信号只对面孔朝向是否有变化有关，和变化的量没有关系。这样，长时程和短时程适应在机制上可能就存在着差别。因此，如果我们想要通过 fMRI 适应的手段来研究注意线索的神经编码问题，最好采用长时程的适应范式。而在长时程的适应情况下，就可以明显看出，梭状回和颞上沟处都存在着编码面孔朝向信息的神经元，从而揭示了人类对面孔朝向存在着分布式的编码方式。与面孔朝向的研究相类似，使用 fMRI 适应的范式同样也可以研究眼睛注视的编码机制。Calder 等（2007）的研究发现，适应刺激和测试刺激的眼睛注视方向相同时，在颞上沟后部以及下顶叶皮层出现了显著的适应效应。在以前的研究中，顶叶皮层一般与注意的定向相关，说明眼睛注视显著地引起了被试的注意定向和转移。而更重要的是，该研究表明人类有神经元对眼睛注视方向进行编码，这些神经元集中于颞上沟皮层，这一结果与电生理直接观察到的结果相一致。

虽然 fMRI 适应技术解决了 fMRI 技术分辨率不足的问题，甚至可以研究神经元的编码，但是这一技术并不能排除没有发生适应的神经元也存在着编码信息的可能。换句话说，如果我们要解码大脑编码的信息，是否一定要集中在那些在编码中表现最好的脑区呢？要更进一步地挖掘大脑皮层信息加工的能力，一种更加强有力的方法就是多体素模式分析的技术。

四、使用 MVPA 技术来研究社会注意线索的信息编码和解码

人类一直想通过各种方法知道他人的想法，即拥有“读心术”。在 fMRI 技

术出现之前,这一梦想只能停留在空想阶段。当 fMRI 出现后,人们可以从大脑活动中对两种或多种基本刺激类别进行区分。例如,某个刺激相对于另一个刺激激活了梭状回,那么可以推测前者可能是面孔刺激。但是,这样粗略的区分远远不能满足“读心”的要求。要从复杂的大脑活动中解读出人类的认知状态,必须使用更加敏感的分析方法, MVPA 方法就应运而生了。

传统的 fMRI 分析方法是基于单个成像体素 (voxel) 的,即将人类大脑分成数以万计的小长方体,每个长方体内的信号强度是一样的。形象地说,一幅大脑三维成像图就是由一个个这样的“砖头”(体素)搭建起来的。因此, fMRI 的分辨率受到体素大小的限制,对体素内的神经活动差异就无法区分了。虽然我们可以使用 fMRI 适应的技术揭示出体素内神经元对某一特征的编码特性,但是这种方法仍然无法用于神经解码。也就是说即使我们知道两个刺激是不同的,仅仅凭大脑的活动我们仍然不知道这两个刺激分别是什么刺激。

MVPA 技术并不关心单个体素的活动规律,而是关注大量体素的共同活动。即使有些体素对刺激的出现反应很弱,它们仍然可能会携带一定量的编码刺激的信息。如果把大量的体素所包含的信息综合起来,就可以大大增强 fMRI 技术的敏感性,甚至可以直接通过当前的大脑激活模式判断人类的认知状态。MVPA 实现的基础是机器学习的技术,比较广泛应用的是简单的线性分类器。这一算法首先通过一定量的训练样本形成一个分类标准,然后根据这个分类标准对需要进行分类的测试样本分类。以一个体素的数据为例,在训练样本中,我们已知该体素信号强度与各强度下呈现刺激的类别(两种刺激)。我们可以定下一个信号强度,高于这个强度就判断为刺激 1,低于这个强度就判断为刺激 2。当取得一个合适的强度时,分类的正确率最高,这个强度就被用作测试样本的分类标准。这样,即使我们不知道测试样本中某个信号强度对应的呈现刺激,也可以通过这个分类器推测出当前呈现的刺激。这个过程就是解码大脑活动的过程,即我们只要知道大脑的活动就可以推测被试当前的视觉体验。当然,只靠一个体素的数据,分类正确率一般不会很高,因为单个体素携带的信息量有限。但是如果将大量的体素联合起来,形成一个多维度的判断标准,就可以使得信息利用率大幅度提高,解码算法的稳定性也会随着大幅提高。

除了使用分类器算法进行 MVPA 之外,一种简化的分析方法就是相关分析。如果我们将某种条件出现时多个体素的信号强度分布看成一张激活图,在两种实验条件下,就会有两张激活图。当这两种条件属于同一类别时,这两张激活图之间就会有较高的相关;反之,如果这两种实验条件属于不同的类别,激活图之间的相关就会较低。换句话说,如果我们在某个脑区发现对这两种条件的类别有区分力,则可以说明该脑区携带了可用于解码神经活动的信息。一个典型的例子是 Haxby 等(2001)对面孔特异性编码的相关分析。以前的研究发现,下颞

叶梭状回处有一个区域对面孔的反应比对物体的反应要强,因此被命名为梭状回面孔区,并被作为面孔特异性编码的特定脑区。Haxby 等通过相关分析的方法发现,即使将对面孔反应最强的那些脑区刨除,仅仅通过剩下脑区的激活模式也可以成功的区分面孔和物体两类刺激,从而说明面孔的表征是分布式的而非特异化的。

使用相关分析的技术,同样可以研究面孔朝向线索的表征。Fang 实验室正在进行的一项研究表明,虽然在梭状回面孔区,相同朝向的面孔刺激的激活图之间的相关与不同朝向的面孔刺激之间的相关没有区别,但是经过 8 天的对某一个朝向面孔辨别能力的训练之后,该朝向的面孔刺激激活图之间的相关就会显著地高于该朝向与其他朝向面孔刺激激活图之间的相关。这说明经过训练之后,梭状回面孔区具有了区分面孔朝向的能力,反映了该区域对面孔朝向信息编码的可塑性变化。

虽然目前还没有研究者使用 MVPA 来研究眼睛注视线索的神经解码,但是这也反映了该领域的发展潜力巨大。相信不久的将来,将对社会注意线索神经编码和解码机制的研究会逐渐发展起来,使我们对社会注意线索的加工机制有一个更加全面的理解。

五、总 结

社会注意线索是人类注意系统中十分重要的线索提示,具有显著的生态学意义。人类大脑中对社会注意线索有着专门的编码机制。电生理、行为的适应技术以及脑成像的技术得出了相对一致的结果,人类对面孔朝向编码的神经元分布于下颞叶皮层和颞上沟等区域,而对眼睛注视编码的神经元也分布在颞上沟区域,两种表征之间既有相互独立的成分,同时也有共同编码的成分。使用 fMRI 的新方法来研究社会注意线索的表征正逐渐成为当前该领域研究的发展趋势。

本章参考文献

- Allison, T., McCarthy, G., Nobre, A. C., Puce, A., Belger, A., 1994, Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers, and colors. *Cerebral Cortex*, 5: 544-554.
- Andrews, T. J., Ewbank, M. P., 2004, Distinct representations for facial identity and changeable aspects of faces in the human temporal lobe. *NeuroImage*, 23: 905-913.
- Bi, T., Su, J., Chen, J., Fang, F., 2009, The role of gaze direction in face viewpoint aftereffect. *Vision Research*, 49: 2322-2327.
- Calder, A. J., Beaver, J. D., Winston, J. S., Dolan, R. J., Jenkins, R., Eger, E., Henson, R. N. A., 2007, Separate coding of different gaze directions in the superior temporal sulcus and inferior parietal lobule. *Current Biology*, 17: 20-25.

- Calder, A. J., Jenkins, R., Cassel, A., Clifford, C. W. G., 2008, Visual representation of eye gaze is coded by a nonopponent multichannel system. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137: 244-261.
- De Souza, W. C., Eifuku, S., Tamura, R., Nishijo, H., Ono, T., 2005, Differential characteristics of face neuron responses within the anterior superior temporal sulcus of macaques. *Journal of Neurophysiology*, 94: 1252-1266.
- Fang, F., He, S., 2005, Viewer-centered object representation in the human visual system revealed by viewpoint aftereffect. *Neuron*, 45: 793-800.
- Fang, F., Murray, S. O., He, S., 2007, Duration-dependent fMRI adaptation and distributed viewer-centered face representation in human visual cortex. *Cerebral Cortex*, 17: 1402-1411.
- Grill-Spector, K., Henson, R., Martin, A., 2006, Repetition and the brain: neural models of stimulus-specific effects. *Trends in Neural Science*, 10: 14-23.
- Haxby, J. V., Gobbini, M. I., Furey, M. L., Ishai, A., Schouten, J. L., 2001, Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex. *Science*, 239: 2425-2430.
- Jenkins, R., Beaver, J. D., Calder, A. J., 2006, I thought you were looking at me: direction-specific aftereffects in gaze perception. *Psychological Science*, 17: 506-513.
- Li, L., Miller, E. K., Desimone, R., 1993, The representation of stimulus familiarity in anterior inferior temporal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 69: 1918-1929.
- Nummenmaa, L., Calder, A. J., 2009, Neural mechanisms of social attention. *Trends in Neural Science*, 13: 135-143.
- Perrett, D. I., Smith, P. A., Potter, D. D., Mistlin, A. J., Head, A. S., Milner, A. D., Jeeves, M. A., 1985, Visual cells in the temporal cortex sensitive to face view and gaze direction. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 293-317.
- Schweinberger, S. R., Kloth, N., Jenkins, R., 2007, Are you looking at me? Neural correlates of gaze adaptation. *Neuroreport*, 18: 693-696.