



# 性反应生理和神经生物学



## 第 1 章

# 男性性欲望和性唤起大脑功能影像学 研究

## 一、功能影像学研究性欲望和性唤起的原因

### 1. 大脑与性欲望和性唤起的关系

几个世纪以来，大脑和思维之间的复杂关系一直是伦理和科学争论的主题。任何精神活动，不论是智力、情感或动机，都包含着两个密不可分的部分：心理与大脑。通常，大脑被理解为心理作用机制和身体生理反应过程中的双向衔接点，就此意义而言，大脑可能在性心理、生理过程中发挥关键作用。任何精神活动都涉及两个重要方面，即心理作用和大脑功能。但是，这并不意味着大脑和心灵之间存在任何双向的因果关系。相反，我们可将所观察到的心理表现和大脑活动看作是统一现实中不可分割的两个方面。这与 Spinoza 伦理学中提出的有关身体和心灵的观点非常一致。

依据最新社会生物学研究 (Rolls, 1999)，生物自然选择导致人类大脑神经系统的形成。在这一复杂过程中，性行为由于可提高人体的适应性而得到奖励。这种适应性，也可理解为将基因代代相传的能力。因此，进化压力选择了具有奖励机制的大脑神经生理功能，这种系统不仅涉及人类交配本身，同时亦与性欲望、性唤起 (SDA) 乃至反映个体适应性的特质产生了密切联系。

中枢神经系统 (central nervous system, CNS) 作用，贯穿于人类性活动的所有连续阶段 (Meisel, 1994)。在接受外在刺激的初始阶段，哺乳动物 (特别是猴子) 激素水平决定了雌性动物的特质，如气味 (Baum, 1977) 和视觉信号 (Bielert, 1982)，可诱导雄性动物性欲望的产生。这些特质，经由动物感官信息中枢进行评估。人类中的性吸引力则受到多种因素影响 (Buss, 1989)。其中，对性有诱惑力的外在刺激的评估，决定了性反应的启动与否。尽管大脑参与了这些因素及其潜在奖励机制的评估过程，但我们对大脑内复杂作用机制，仍缺乏系统的研究。

目前，越来越多的学者报道了认知在性欲望和性唤起 (SDA) 后期的作用。有学者提出，只有充分重视某一性反应过程中认知标签和主观经验的关键作用，才可准确定义人类性欲望和性唤起 (Rosen, 1988)。同样，Bancroft (1989) 提出的中枢性唤起概念，意指性刺激心理过程中的中枢神经系统激活和注意力作用。学者认为，至少对人类而言，性欲望和性唤起 (SDA) 具有情感反应和动机主导的特点，对性欲望的有意识感知在性反应后期发挥作用。最近，有学者对以大脑为基础的各类情感反应和动机产生进行了大量研究，并取得巨大进展。就某种意义而言，大脑内性欲望和性唤起的相关性研究，仅是广泛情感

和动机神经研究领域内某一具体方面 (Phan, 2002)。

## 2. 功能影像学技术研究大脑功能

目前, 功能影像学技术已成为研究人类精神活动中大脑生理作用的有效方法。这种技术出现前, 人类性动机的大脑基础性研究多依赖动物模型。在动物模型中, 学者发现大脑皮质下结构在性行为调节中发挥重要作用, 特别是伏隔核、杏仁核和下丘脑核 (前内侧视前区、下丘脑视旁核和腹内侧核), 文献均有记载 (Meisel, 1994)。动物研究成果有助于更好地理解人类性活动的某些方面。然而, 人类性行为具有与其他物种同源性行为显著不同的特征。相对其他物种而言, 性行为认知作用 (如性意象) 在人类性活动中的意义显得尤为突出。因而, 单纯动物研究对于完全理解人类特异的性行为, 是远远不够的。人类性行为研究, 必须涉及其物种特异的、性活动中大脑内特殊区域的功能。

对人类性欲望和性唤起过程中大脑内神经区域重要功能的传统认识, 多源于神经系统疾病的研究。例如, 癫痫发作或性功能障碍患者异常性行为与大脑局部病变的关系。尽管这些发现很重要, 病理研究仍难以描述健康人群性欲望和性唤起时大脑活动的物质基础。庆幸的是, 对尸体大脑的解剖为研究性欲望和性唤起提供了极其重要的佐证。例如, 已有学者通过尸检得以比较不同性取向男性下丘脑核结构的不同特征。

如今, 大脑功能影像学技术已达到了微创水平, 可在健康志愿者中顺利完成。最常用技术为正电子发射断层显像 (positron emission tomography, PET) 和功能磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 检查。最初, 性行为研究主要通过单光子发射计算机断层显像 (single photon emission tomography, SPECT) 神经影像学技术来完成, 但其分辨率往往较低 (Tiihonen, 1994)。另一种检查方法, 脑磁图 (magnetoencephalography, MEG) 技术, 亦难以达到准确研究性唤起的要求。现在, 性唤起研究更多依赖于 PET 和 fMRI 技术。其空间瞬时分辨率已经达到 1mm 精确度, 可在宏观水平进行相当令人满意的大脑结构分析。但是, 二者的时间分辨率 (temporal resolution) 却有所不同, PET 的时间分辨率为 1min, fMRI 的时间分辨率为 1~2s。简单地说, 通过 PET 技术可测量人体局部大脑血流 (regional cerebral blood flow, rCBF) 速度。借助小剂量放射活性分子 (通常为  $^{15}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ ) 技术 (注射后经由血流抵达大脑), PET 能够进行一种所谓的“活性研究”。这种情况下, 局部放射活性, 其实就是一种与血流相关的大脑内不同区域活性的外在表现。这种放射性示踪剂内正电子可与大脑组织内电子结合, 产生伽马 ( $\gamma$ ) 射线 (与 X 射线相同)。PET 扫描器内的一种特殊晶体, 即光电倍增管-闪烁探测器, 能够检测到这种伽马射线。摄像机记录大脑内发射出的数百万条伽马射线, 然后通过计算机信息处理绘制大脑放射性物质的 3D 图像。

大脑内磁性水分子, 在其氧分子耗尽时与新鲜氧合的血管部位之间存在着细微变化。据此特性, 可采用 fMRI 探测大脑内不同区域神经活动情况。通常, 神经活动放电后局部能量的需求主要通过提高氧代谢方式完成, 而氧释放量增加能满足这种要求, 表现为短暂 (数秒) 的局部血流增加 (血流动力学反应)。因此, 神经活动变化致使大脑局部氧合水平改变时, 便可通过 fMRI 检测到的信号强度的变化幅度, 间接了解神经元的兴奋状态 (通常与细胞放电率密切相关)。大脑内神经活动增加时, fMRI 扫描便可显示信号强度的轻度增加 (Parry, 2002)。

对以神经影像学技术观察健康人群性唤起的研究方式，有学者进行了首次回顾性报告（Sumich，2003）。在此基础上，笔者回顾性分析此领域内前沿、详尽的研究成果，包括性唤起障碍患者的研究。

## 二、各类相关研究

为更好地阐释性欲望和性唤起的激活和失活方式，通过 Medline 期刊检索，搜寻了 1985 年 1 月至 2003 年 6 月期间有关性欲望和性唤起的 PET 和 fMRI 研究。除个案专题研究论文外，搜寻到 10 项健康男性的相关研究，按字母顺序依次排列为 Arnow，2002；Beauregard，2001；Bocher，2001；Holstege，2003；Karama，2002；Mouras，2003；Park，2001；Rauch，1999；Redoute，2000；Stoléru，1999。此外，以下学者的研究主要探讨疾病对性欲望和性唤起的影响：Cohen，2002；Hagemann，2003；Hendricks，1988；Montorsi，2003；Stoléru，2003。

### 1. 健康男性研究

既往各种研究方法学特征详见表 1-1。

表 1-1 回顾性研究方法学特征

研究	数量	性取向	年龄 / 岁	精神 / 心理检查	生物学评估	影像学技术	性刺激类型 / 持续时间	对照刺激	模式	性唤起检测
Stoléru，1999	8 例男性	异性恋	23 (23~25)	完成	未完成	PET	性爱影片 6min 刺激，PET 扫描 90s 刺激	中性+幽默	观看	自我报告
Redouté，2000	9 例男性	异性恋	31 (21~39)	完成	完成	PET	性爱影片和图片 1min 刺激，PET 扫描 60s 刺激	中性+幽默	观看	自我报告、阴茎测量、心率、呼吸和血浆睾酮
Mouras，2003	8 例男性	异性恋	26 (24~29)	完成	未完成	fMRI	图片 21s 刺激	中性	观看	自我报告、阴茎测量、心率和血浆睾酮
Park，2001	12 例男性	未报道	23 (21~25)	完成	未报道	fMRI	性爱影片 2min 刺激	纪录片	观看	自我报告
Bocher，2001	10 例男性	异性恋	27 (24~32)	未完成	未完成	PET	性爱影片 30min 刺激，PET 扫描 10、20、30min 刺激	中性+交谈	观看	自我报告

续表

研究	数量	性取向	年龄 / 岁	精神 / 心理检查	生物学评估	影像学技术	性刺激类型 / 持续时间	对照刺激	模式	性唤起检测
Rauch, 1999	8 例男性	未报道	25 (21~32)	未报道	未报道	PET	个人事件脚本 30~40s 刺激	运动	心理意象	自我报告、心率、皮肤电导和侧额肌肌电图
Karama, 2002	20 例男性	异性恋	23 (21~29)	未完成	未完成	fMRI	性爱影片 179s 刺激	中性	观看	自我报告
Arnow, 2002	14 例男性	异性恋	25 (18~30)	完成	未完成	fMRI	性爱影片 108~543s 刺激	放松+运动	观看	阴茎测量、心率、呼吸
Beauregard, 2001	10 例男性	未报道	23.5 (20~42)	未完成	未完成	fMRI	性爱影片 39s 刺激	中性	观看与情感反应抑制	自我报告
Holstege, 2003	11 例男性	异性恋	33 (19~45)	未完成	未完成	PET	伴侣手动刺激	阴茎刺激, 伴侣手动刺激	感知射精 / 刺激	实验人员射精视觉控制

### 1) 样本

通常, 样本量大小为 8~20。某些研究要求受试者为异性恋、另一些研究则无性取向特殊要求。目前, 尚无男同性恋的相关研究。受试者多为年轻志愿者, 平均年龄 23~33 岁。大多数研究未检查受试者身体健康状况, 可能存在某些不足。例如曾检查发现并剔除 1 例泌乳素水平升高的受试者。当然, 志愿者也可根据自己的性健康状况选择是否参加这类研究。否则, 有可能对研究结果产生一定程度的影响。例如, 很大部分志愿者报告有包茎史, 儿童时期时可能存在心理障碍。其中一些成年人, 不论有意或无意, 均拒绝参加这种研究。

### 2) 技术

其中, 5 项研究基于 fMRI 和 PET 影像学检查结果。

### 3) 设计模式

通常, 大多数研究选择观看一系列性刺激影片的方式进行研究。此外, 一项研究为观察神经系统对性欲望和性唤起的抑制作用 (Beauregard, 2001), 要求受试者通过某种方式抑制自己的情感反应而达到研究目的。一项研究采用脚本诱导性幻想研究方式 (Rauch, 1999)。最后一项研究通过受试者伴侣手动刺激阴茎方式, 诱导性唤起和射精 (Holstege, 2003)。

### 4) 刺激

有六项研究均选择了具体的性刺激方式。其中, 一项研究采用视频+图片刺激 (Redouté, 2000), 一项研究仅采用图片刺激 (Mouras, 2003), 一项研究通过心理意象刺激 (mental imagery) (Rauch, 1999), 一项研究通过伴侣手动刺激阴茎 (Holstege, 2003)。功能影像学研究中, 学者检测与基准条件对比下局部大脑对性刺激反应水平增加或降低。所谓基准条件, 即无性刺激状态时性反应水平。目前, 几乎所有研究都选择一种“情感中立 (emotionally neutral)”刺激。此外, 还包括与性无关的、情感情景的视觉刺

激方式和（或）社交互动场景，如幽默（Redouté, 2000）和运动（Arnou, 2002）集锦等。Holstege 等在研究过程中（2003），详细比较射精与射精前（性刺激时）大脑内活动的特点。

显然，“情感中立”刺激这一表达方式有些用词不妥。因为，这些刺激只是相对性刺激而言缺乏情感，并非完全没有情感。而且，这些刺激还必须能吸引受试者注意力以至于不太乏味。否则这种乏味刺激会诱导受试者产生某种非预期的情感状态。当然，研究人员为控制性欲望和性唤起的情感部分，有时选择一种与性无关的基准状态。尽管如此，他们仍未尝试控制其动机成分。目前，学者仍不断探索，试图寻找一种诱导时与性无关、“情感中立”的动机状态。

视觉性刺激（visual sexual stimuli, VSS）持续时间长短，可能是决定受试者性欲望和性唤起强度的主要因素，可进一步影响记录到的神经活性水平。为此，必须区别两种变量：数据获取阶段时间长短和数据获取前视觉性刺激持续时间长短。后者可理解为一种“预热时间（warm-up period）”，研究中很少运用这类方法。例如，在一项研究中（Hagemann, 2003），学者采用视觉性刺激停止后立即收集数据的方法。在另一项研究中（Mouras, 2003），学者又采用短时间段的刺激方式，即 21s 性刺激。在几乎无任何“预热时间”条件下收集数据，以便更好地显示性欲望和性唤起早期阶段的神经关联性。相对而言，另一项研究中（Stoléru, 1999），数据收集在视觉性刺激 6min 后开始并持续 90s，这种研究方式可更好地显示完整的性欲望和性唤起神经关联性。

### 5) 结果

性唤起条件下大脑激活和失活情况，详见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 性唤起时大脑内“激活”情况

研究	顶下小叶	顶上小叶	前扣带回	前运动区	脑岛	屏状核	下丘脑	眼窝前额皮质	尾状核	豆状核	丘脑	颞枕区	下颞区
Stoléru, 1999	否	否	是	否	是	是	否	是	是	否	否	是	否
Redouté, 2000	是	是	是	是	否	是	是	是	是	是	是	否	否
Mouras, 2003	是	是	否	是	否	否	否	否	否	否	否	是	是
Park, 2001	否	否	是	不确定	是	否	否	不确定	是	否	是	否	是
Bocher, 2001	是	是	否	否	否	否	否	否	否	否	否	是	是
Rauch, 1999	否	否	是	否	否	是	否	否	否	否	否	否	否
Karama, 2002	否	否	是	否	是	否	是	是	否	否	是	是	否
Arnou, 2002	否	否	是	是	是	是	是	否	是	是	否	是	否
Beauregard, 2001	否	是	是	否	否	否	是	否	否	否	否	是	是
Holstege, 2003	是	否	否	否	是	是	否	是	否	是	是	否	是



表 1-3 性唤起条件下大脑“失活”记录

研究	后扣带回	内侧眼窝前额皮质	颞枕区	下颞区
Stoléru, 1999	是	否	否	否
Redouté, 2000	是	是	是	是
Mouras, 2003	是	否	是	是
Park, 2001	否	否	否	否
Bocher, 2001	是	是	是	是
Rauch, 1991	否	否	否	否
Karama, 2002	否	否	否	否
Arnou, 2002	否	否	否	否
Beauregard, 2001	否	否	否	否
Holstege, 2003	否	否	否	否

(1) 颞枕皮质：目前，8 项研究报道了大脑内与“腹侧通路”视觉处理相关视觉区域的激活情况（图 1-1）。通常，腹侧通路处理与视觉刺激强度相关的信息；部分顶叶区域在内的背侧通路则处理与视觉刺激来源相关的信息。但是，颞枕视觉区域的激活可能与性刺激特质并无特异性关系。一项回顾性研究（Phan, 2002）表明，大多数研究（60%）报道视觉诱导的情感（与性无关）状态可激活纹状体外枕叶皮质，这种视觉刺激内容多种多样，包括各种愉悦和厌恶图像。这一结果表明，枕中下回区域激活并非性刺激的特异表现。其实，视觉性刺激本身就是一种兼具情感因素的刺激方式。Reiman 等（1997）推测：这些视觉相关区域可能参与情感有关、复杂视觉性刺激的评估过程。同时，这些视觉相关区域还可能受到一种由上至下调控方式的影响，以至于人体在对视觉性刺激关注度更高条件下，视觉相关区域的激活更明显（Corbetta, 1993）。

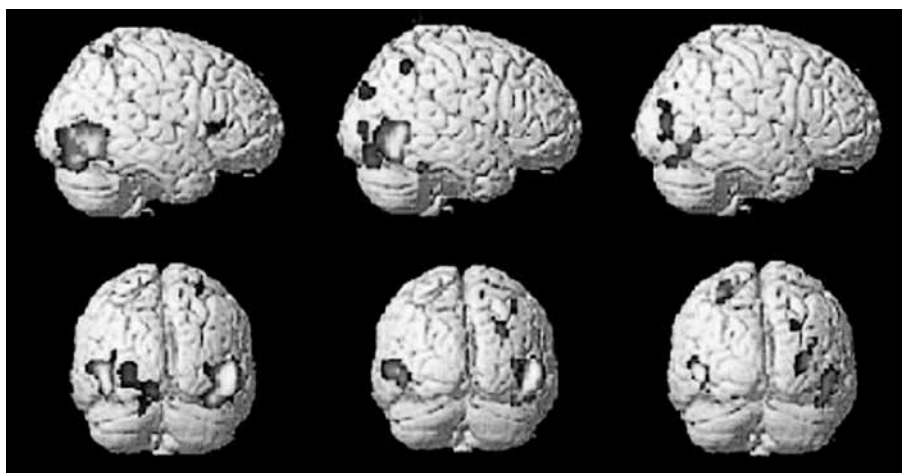


图 1-1 颞枕皮质局部大脑血流图

性刺激时局部大脑血流量的体素簇高于基础（白十字）、中性（纪录片）  
和脱口秀状态（第 1 例、第 2 例和第 3 例）（Bocher et al. 2001）



(2) 眼窝前额皮质: 眼窝前额皮质 (OFC, 图 1-2), 位于眼眶上方, 分为内侧和外侧两部分。灵长类动物和人类研究结果表明, OFC 在性刺激动机评估过程中发挥了重要作用 (Rolls, 1999)。最初, 学者发现视觉性刺激可激活右侧 OFC, 更准确地说是右侧 OFC 外侧部分 (Stoléru, 1999)。随后, Karama 等 (2002) 发现右侧和左侧 OFC 外侧部分亦可被激活。另一项研究 (Redouté, 2000) 报道, 每当性爱电影及性感图片刺激时受试者右侧 OFC 也被激活。最后, 研究结果显示右侧 OFC 的激活部位位于其稍外侧而非内侧 (与之前研究比较)。其中, 一次研究结果显示距离矢状面 52mm, 另一次研究结果显示距离矢状面 20mm。更重要的是, 学者发现了右侧 OFC 局部大脑血流 (rCBF) 变化的独特表现方式: 轻度性感图片即可达到最大局部大脑血流状态, 高度性感图片条件下激活作用反而降低。这意味着此大脑区域激活与 SDA 的自身水平并无明显关系。而且, 此区域内局部大脑血流变化对女性相关刺激最敏感, 超过其他类型刺激, 如无女性对象的纪实电影、幽默电影。也就是说, 只要涉及女性图片的刺激, 便可诱导不同程度性唤起。观看情感中立类型电影时, 即使受试者无性唤起, 亦可导致其右侧 OFC 明显激活。那么, 究竟哪种刺激因素导致 OFC 激活? 通过 PET 扫描检测方式, 学者发现轻度性唤起图片 (即能够诱导右侧 OFC 最高反应) 刺激时, 男性受试者对图片中女性颜值感兴趣的现象, 反映了人类性刺激的评估方式。这一信息处理后大脑内 OFC 激活, 与性唤起本身无明显关系。为进一步解释这种现象, Aharon 等采用 fMRI 检测方式证实, 大脑内确实存在着感知颜值的区域, 与右侧 OFC 的激活密切相关 (Aharon, 2001)。而且, O'Doherty 等 (2003) 完成了另一项与颜值相关、神经激活的 fMRI 研究, 再次证明 OFC 的激活确实与颜值感知相关。实验中, 学者采用造影剂增强方式检测 OFC 内区域激活状态与女性颜值水平高、低的关系, 最后确定, 靠近右侧 OFC 的腹外侧前额皮质 (vLPFC) 的反应最明显 ( $P < 0.05$ )。

某些类型精神错乱是否影响 OFC 在性行为中的作用, 也成为学者高度关注的问题。最近, Burns 等 (2003) 报道一例获得性恋童癖病例。尽管存在普遍的道德意识约束, 患者仍难以抑制其性冲动而表现出性欲倒错性行为。最后, 检查发现此人患有右眶肿瘤。因此, 作者认为, 右侧 OFC 在抑制性冲动和性取向选择中发挥了一定作用。但是, 由于肿瘤体积巨大, 肿瘤并非单独压迫患者右侧 OFC。因此, 我们尚不能确定右侧 OFC 中各个部分的作用。此外, Dressing 等 (2001) 报道一例恋童癖患者 fMRI 的研究, 与健康对照不同, 这位恋童癖患者对穿内衣的儿童产生异常性兴趣, 检测到性兴趣对象出现时其右侧 OFC 激活。

(3) 顶上小叶: 回顾性研究发现, 在注意力信息处理过程中, 大脑内顶上小叶 (SPLs)

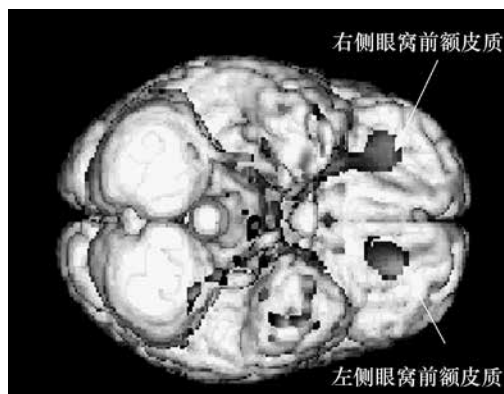


图 1-2 眼窝前额皮质

性刺激时 (右侧眼窝前额皮质) 局部大脑血流水平, 高于幽默情况下 (左侧眼窝前额皮质) 局部大脑血流水平。  
(法国布龙 / 法国国家健康与医学研究所供图)

被激活。因此,学者推测它可能参与人类注意力的形成过程(启动-控制-警惕-多模式竞争)。最近,研究(Mouras, 2003)发现,在性感与中性刺激的对照实验中,受试者双侧 SPL 被激活(图 1-3)。性感与非性感图片呈现后,受试者大脑反应水平不同。性感图片呈现时,大脑血氧水平依赖(blood oxygenation level dependent, BOLD)信号在初始 500ms 内即出现改变,持续时间不超过 5s。除了这种 BOLD 信号增强的变化外,学者还发现在第一张性感图片呈现后大脑活动短暂升高,提示 SPL 参与早期性刺激的信息处理过程。更准确地说,早期 SPL 激活意味着人类注意力水平的提高,成为视觉性刺激评估过程中不可分割的一部分,即人类性唤起过程中的认知作用。SPL 早期神经反应与性行为反应的时间,也十分吻合。在涉及性感和中性图片的分类实验中,发现人类对性感图片的平均反应时间为 526~738ms (Spiering, 2002),提示 SPL 可能参与早期视觉性刺激的评估过程。在另一项情感相关研究中, Pizzagalli 等(2002)发现,顶叶区域参与情感相关信息的早期(112~164ms)处理过程,如对喜好与厌恶脸谱的反应及其差异性。但是, Adolphs (2002)报道,刺激出现 100ms 后大脑内枕部和颞叶皮质仅能对脸部表情进行粗略分类,或者由于时间短暂难以对情感反应进行调节。

(4) 调节运动想象(motor imagery)和运动准备(motor preparation)的神经网络:从认知神经学角度而言, Decety (1999)认为,运动想象可定义为一种动态状态,此期间尽管无明显的运动输出,但在工作记忆中已对给定运动行为的表象进行了内在演练。这一模拟过程与我们日常生活中经历的许多有意识活动相似,如以模仿愿望观看他人行动、对预测行动的结果、准备或打算移动与否,以及对行动的记忆等。所有都与运动表象(motor representation)有关,通过动员与行动计划相关的神经机制来完成。由于行动计划、移动准备及模拟和观察行动等运动想象与运动表象的神经化学底物(neurochemistry substrates)相同,因而学者认为二者的功能对等。运动表象主要包括两部分:一种将身体作为动力发生器的表象和一种以语用代码编码行动目标的表象。研究发现,视觉性刺激时大脑内许多区域的激活归属调节运动想象的神经网络,如顶下小叶、左腹侧运动前区、前扣带回和尾状核区域的神经活动。

在 4/10 项回顾性研究中,学者均报道顶下小叶(图 1-3 和图 1-4)被激活的现象。运动想象任务(受试者想象移动右手)执行时,左顶下小叶(Decety, 1994)或双侧顶下小叶被激活(Stephan, 1995)。

3/10 项回顾性研究中,学者报道左腹侧运动前区(图 1-4)被激活的现象。但是,性欲低下性功能障碍(hypoactive sexual desire disorder, HSDD)患者,视觉性刺激时左腹侧运动前区无反应。与健康对照组相比,发现二者大脑内相关区域反应水平呈现显著性差异(Stoléru, 2003)。因此认为,健康人群视觉区域调节运动想象功能与腹侧运动前区的激活相关,表现出高反应性的特点(Decety, 1994)。研究表明,周围环境中视觉性刺激一旦出现,健康人群便可做好运动行为准备。但是,性欲低下性功能障碍患者却难以达到这种要求。

7/10 项回顾性研究中,学者报道一侧或双侧前扣带回(ACG)(图 1-5)被激活现象。前扣带回是大脑内一个延伸的复杂区域,具有多种调节功能,包括认知、情感、动机和信息自动处理等(Bush, 2000)。前扣带回尾部区域,由于在运动功能中作用与前运动区和

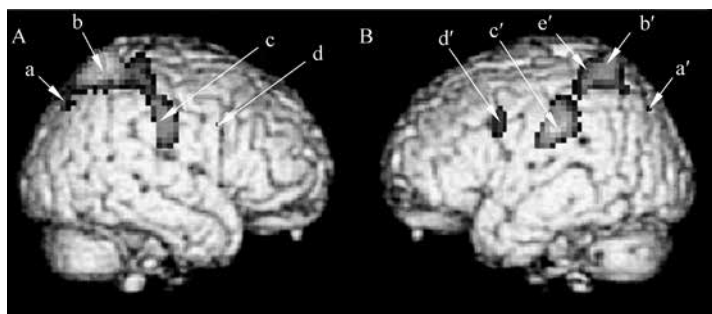


图 1-3 大脑区域功能磁共振图像

相对中性图片刺激而言，性刺激时大脑功能磁共振信号更高，

A 和 B 的高度阈值： $P < 0.05$ 。

A. 大脑右侧观：a- 顶叶枕骨沟，b- 顶上小叶，c- 中央后回，

d- 中央前回；B. 大脑左侧观：a'- 上枕骨回，b'- 顶上小叶，

c'- 顶下小叶，d'- 中央前回，e'- 顶内沟。

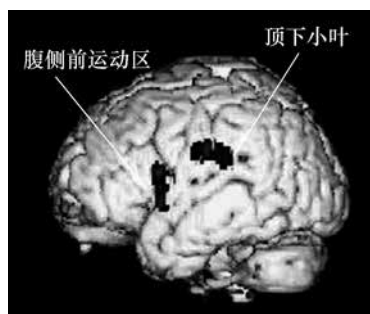


图 1-4 腹侧前运动区和顶下小叶

性刺激时大脑内左腹侧前运动区和顶下小叶激活情况。

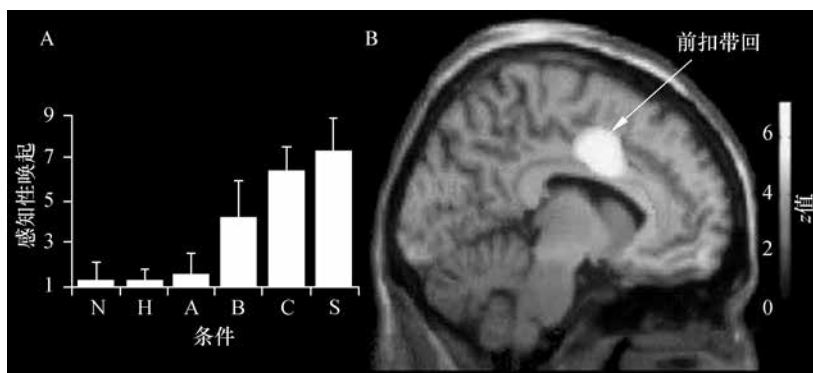


图 1-5 前扣带回

A. 感知性唤起 (PSA) 时左侧前扣带回内局部大脑血流 (rCBF)

PSA 平均值和标准差；B. 旁矢状切面 (4mm)，显示 rCBF 与 PSA 之间正相关关系。

高度阈值： $z = 3.71$ ， $P < 0.0001$ ，未校正。

辅助运动区皮质作用非常相似，其功能已引起学者的极大兴趣 (Dum, 1993)。学者推测，视觉性刺激时前扣带回尾部区域的激活反应，可能是性唤起运动行为准备过程中的一种神经调节作用 (Redouté, 2000)。

4/10 项回顾性研究中，有学者报道尾状核被激活 (图 1-6) 的现象。为更好理解尾状核的激活作用，研究方案设计时需防止明显行为反应出现，以确保研究对象是运动前区以及 withholding behavior 相关区域的性反应。最近，Rolls (1999) 建立了一个动机行为 (motivated behavior) 的基底节功能模型，有助于更好地诠释右侧尾状核头部在性唤起与局部大脑血流关联性中的作用 (Redouté, 2000)。根据模型原理，一旦 OFC 内神经元解码刺激的动机意义，奖励相关信号便不必直接与“动机行为”对接，而是通过一种裁决机制考虑获取奖励的代价。Rolls 认为，基底节参与了这一调节过程，即接受包括 ACG 在内大脑皮质许多区域的输入信息，并与尾状核和豆状核去掉的功能密切相关。

在大脑皮质内各种输入信息的竞争性作用下,尾状核内行为信息输出。尾状核规划每种特殊输入信息合适的输出路径,通过基底节和运动前区/前额皮质回路,发挥功能调节作用。目前,这种模型与神经影像学研究成果十分吻合,具体表现:

(i) 豆状核和(或)尾状核的激活,是运动反应需求与扣留行为需求相互冲突的过程(Pardo, 1990);

(ii) 尾状核头部的激活,经由 Tourette 综合征中意识抑制进行调控(Peterson, 1998)。

此外,临床中发现性欲亢进患者尾状核头部存在病变表现(Richfield, 1987)。

以上结果强有力地说明在性唤起相关神经学模型中,必须纳入性唤起运动表达的调控部分,与性行为调控的双元模型理论一致(Bancroft, 1999, 2000)。

(5) 豆状核: 4/10 项回顾性研究中,学者发现双侧豆状核(图 1-6)被激活现象。与尾状核一样,豆状核属于基底节,或更准确地属于纹状体。研究发现,它具有扣留运动输出信息的作用,与尾状核功能相同。但是,亦有研究指出豆状核腹侧与预期奖励信号的享乐属性有关(Schultz, 1992)。电刺激猕猴豆状核时,可诱导勃起和(或)生殖器反应(Robinson, 1968)。在其他两项有关阴茎充血肿胀与局部大脑反应关系的研究中,学者发现豆状核内局部大脑血流(rCBF)或 BOLD 信号与阴茎充血肿胀程度呈线性相关性(Arnou, 2002; Redouté, 2000)。

(6) 脑岛: 脑岛激活,是性唤起神经影像学研究中结果最为一致的部位。研究表明,这部分区域的激活与各种情感状态密切相关,如悲伤、快乐、愤怒、恐惧和厌倦等(Damasio, 2000; Phillips, 1997)。因此,脑岛激活的原因之一,可能是参与性唤起情感成分的调控。

此外,脑岛激活可能还存在另一种可能性。最近,在一项有关性欲低下的研究中,学者发现视觉性刺激时患者右侧脑岛并未出现与对照组相同的激活(Redouté, 2005)。激素替代治疗后,患者右侧脑岛的反应基本达到对照组水平。有趣的是,神经形态学研究结果(Gerendai, 2000; Lee, 2002)显示,中枢神经系统与睾丸之间可能存在神经通路,大脑内相关神经元由此参与睾丸神经支配并调控睾丸分泌功能。研究人员将嗜神经病毒注射睾丸内,随后采用免疫细胞化学方法检测发现病毒感染的神经元。病毒标记的神经元出现在大脑各种部位,包括导水管周围灰质、下丘脑室旁核、外侧下丘脑,以及端脑结构内视前区、终纹床核、杏仁核的中央核、脑岛和额叶皮质。脑岛皮质内病毒标记显示,病毒感染主要局限在锥体细胞。

(7) 屏状核: 屏状核(图 1-6)是脑岛下方被白质分开的一层灰质结构,乃人类大脑内最神秘结构之一。其胚胎来源问题一直存在争议。4/10 项回顾性研究中,学者报道视觉性刺激时屏状核被激活现象。目前,屏状核在性唤起中作用尚不清楚,学者推测屏状核可能以交叉传输模式,将视觉输入信息转变为想象中的触觉刺激(Arnou, 2002)。

(8) 杏仁核: 令人惊讶的是,尽管狗研究表明性兴奋时杏仁核明显激活,但仅有极少数研究(Beauregard, 2001; Karama, 2002; Redouté, 2000)显示性唤起时人类杏仁核激活表现(图 1-7A、图 1-7B)。

(9) 下丘脑: 4/10 项回顾性研究中,学者报道性唤起过程中下丘脑被激活(图 1-7C)



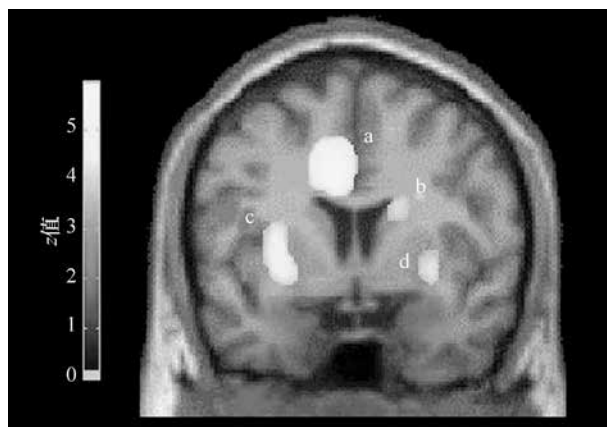


图 1-6 性唤起时大脑内血流变化

冠状面显示局部大脑血流 (rCBF) 与感知性唤起 (PSA) 呈线性相关性

a- 前扣带回; b- 尾状核头部; c- 屏状核; d- 豆状核

截面位于距前联合线喙部 4mm。高度阈值:  $z=4.40$ ,  $P<0.0001$ , 未校正。

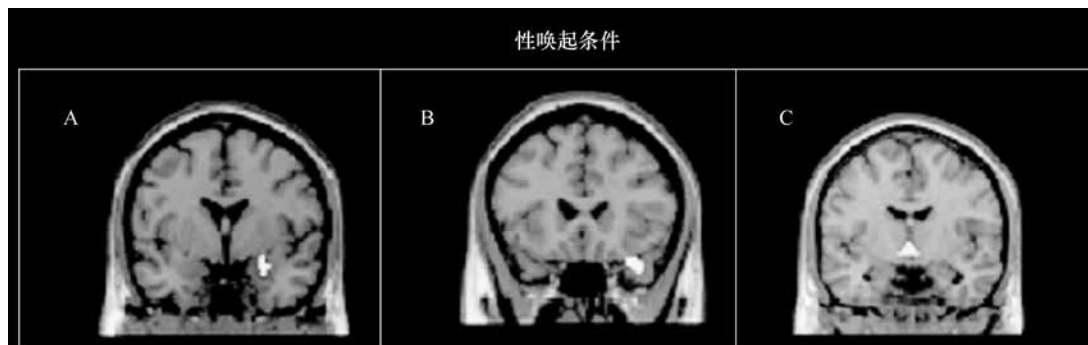


图 1-7 性唤起时大脑内结构变化

右杏仁核冠状面

A. 右前颞区; B. 下丘脑; C. 与图像右侧相关大脑右半球。

现象。有趣的是, 两项研究显示阴茎充血肿胀程度 (体积测量方法) 与下丘脑反应强度 (PET 或 MRI 测量方法) 呈线性相关性 (Arnow, 2002; Redouté, 2000)。

(10) 失活颞区: 4/10 项回顾性研究中, 学者报道性唤起过程中颞叶皮质外侧或下方数个部位失活 (图 1-8), 与之前提及的视觉性刺激时颞枕叶皮质的激活表现不同。在猴模型中, Kluver (1939) 发现颞叶切除后动物表现出性欲亢进现象。在另一项研究中, 当要求受试者主动抑制视觉性刺激的性唤起感觉时, 某些颞叶区域呈现激活表现 (Beauregard, 2001)。这些结果提示, 大脑颞叶区域抑制作用降低条件下, 性唤起得以出现。换言之, 大脑内颞叶区域处于正常功能状态时, 能以一种张力形式持续抑制性唤起。相对而言, 基底节则表现为扣留当前性唤起过程中的行为表达。

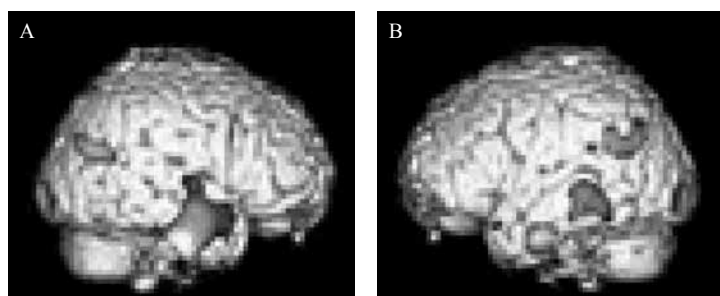


图 1-8 大脑结构左、右侧观

A. 失活颞区左侧观；B. 失活内侧眼窝前额皮质右侧观。

(11) 大脑与射精之间关联性：采用功能影像学技术（如单光子发射 CT 技术）研究性高潮时大脑神经变化，学者发现除右侧前额皮质血流显著增加外，所有皮质区域血流减少。最近，Holstege 等（2003）采用 PET 技术研究健康男性射精（女性伴侣刺激阴茎方式）时大脑反应，并与射精前性唤起阶段大脑神经系统的活性比较，发现间脑移行区（包括腹侧被盖区）激活并参与各种类型奖励行为的调节。亦有学者报道其他间脑结构被激活，具体包括中脑中外侧被盖部分、未定带（ZI）、子束旁核及丘脑板内核群。同时，在豆状核外侧和邻近屏状核附近亦出现活性升高现象。在顶叶（BA7/40）、枕叶（BA18）、颞叶（BA21）、后扣带（BA23）和眼眶外侧区（BA47），特别是大脑右侧部分，学者还发现一种新皮质活动。犬模型研究显示，视前区内侧、终纹床核和杏仁核可能参与射精调节，但却未发现该区域局部大脑血流增加。相反，在杏仁核和邻近内嗅皮质区域观察到活性降低表现。最后，射精时小脑亦出现明显和广泛的局部大脑血流增加现象。

#### 6) 研究结果差异性

并非所有研究报道顶下小叶（IPLs）性唤起时被激活现象。例如，在一项采用“脚本驱动想象（script-driven imagery）”达到实验条件下“正价高性唤起”状态研究中，性唤起和中性情感竞争下的性唤起均未导致顶下小叶激活（Rauch, 1999）。由于这类研究重点在性唤起效价，各种实验条件性唤起（包括中性情感）均采用这种“脚本驱动想象”刺激方式。因此，即使顶下小叶未被激活，也不能否定它在运动想象调节中的作用。更令人惊讶的是，与中性条件相比，性唤起条件下右侧顶下小叶（布罗德曼分区 40）局部血流明显降低。

尽管 Redouté 等（2000）报道，顶下小叶局部大脑血流与阴茎肿胀之间存在明显关联，Arnow 等（2002）研究时却未发现这种关联性。

此外，调控持续注意力的顶上小叶（SPLs），亦出现实验结果不一致现象。在 Stoléru 等（1999）研究中，并未发现顶上小叶被激活现象。分析原因，可能是由于 PET 扫描时轴向视野（7.2cm）的限制使得观察目标体积缩小：从塔莱拉什（Talairach）大脑图谱中前后联合线（穿过大脑的前联合与后联合的连线）上坐标  $z$  轴 = -28mm 的范围，减少至联合线上坐标  $z$  轴 = +40mm 的范围（Talairach, 1988）。同样，与“中性”意象相比，“性”意象条件下顶上小叶活性降低，也让人感到惊讶（Rauch, 1999）。

关于前扣带回的激活情况，研究结果似乎较为一致。正如 Mouras 等（2003）研究结果一样，通过视觉性刺激初始阶段反应，发现前扣带回的激活取决于性唤起的阶段与程

度。然而 Bocher 等并未报道相同研究结果。相反,与基础条件相比,性唤起条件下前扣带回局部大脑血流相对降低。与其他对照相比,如自然剪辑和脱口秀影片,则未观察到前扣带回神经失活的表现。实验中,持续放映性爱影片 30min,然后分别在第 10 分钟、第 20 分钟和第 30 分钟进行 PET 检查。Bocher 等发现,视觉性刺激时间延长后前扣带回的局部大脑血流反而出现降低这一有趣现象。如果情况确实如同 Bocher 等实验结果一样,初始局部大脑血流升高可能被后期局部大脑血流降低所抵消;另一种可能性,学者推测左、右两侧前扣带回的作用相反。因为,发现当要求受试者在性爱影片中主动抑制性唤起反应水平时,仅右侧前扣带回被激活(Beauregard, 2001)。

不论采用何种影像学技术,几项研究均报道屏状核被激活。为什么另一些研究未发现,原因尚不十分清楚。同样,性唤起时下丘脑激活表现亦不完全一致。大多数下丘脑激活的范例,依赖于下丘脑反应与阴茎肿胀之间的关联性进行验证(Arnou, 2002; Redouté, 2000)。相对而言,仅分析不同实验条件下造影剂原因似乎难以揭示下丘脑反应(Bocher, 2001; Mouras, 2003; Park, 2001; Rauch, 1999; Stoléru, 1999)。当然,也有 2 例情况例外(Beauregard, 2001; Karama, 2002)。

犬模型研究结果显示性唤起过程中杏仁核活性增加,但研究结果并非完全一致,仅有 3 项研究报道杏仁核激活(Beauregard, 2001; Karama, 2002; Redouté, 2000),不一致的原因,可能是杏仁核的快速适应性以及现有影像学技术空间分辨率较低的缘故。另一种原因,则可能是犬模型中杏仁核功能已部分被人类其他区域的作用所取代。最近,学者研究发现屏状核和杏仁核的基底外侧复合体具有相同的胚胎起源(Swanson, 1998)。而且,杏仁核的基底外侧复合体可能参与信号奖励的调节过程(Everitt, 1991)。确切地说,杏仁核基底外侧复合体可能与腹侧纹状体中多巴胺依赖的神经活动相互作用,共同参与条件刺激对工具性行为(instrumental behavior)的调控作用。只不过在初级刺激线索诱导的非条件完成反应(unconditioned consummatory responses)调控中,它相对不重要而已(Everitt, 1990)。因此,人类屏状核可能完成了低等哺乳类动物基底外侧杏仁核的功能。

### 7) 性唤起神经关联特异性

综上所述,性唤起是与大脑内多个功能区域激活和失活状态密切相关的一种复合心理、生理状态。同时,大多数功能区域也与人类情感或动机的形成密切相关。例如,前扣带回和屏状核可在数种情感状态下被激活,包括消极情感状态(Benkelfat, 1995; Dougherty, 1999)。性唤起的神经解剖特异性表现:

(i) 是大脑内区域激活/失活的特征性表现方式。

(ii) 可显示大脑内广泛区域中某一具体的激活/失活部位。例如,ACG 喙部可能参与动物阴茎勃起的调控,躯体感觉皮质(somatosensory cortex)可能与阴茎充血肿胀的感知有关。

(iii) 现有神经影像学技术,仍难以记录大脑内微小区域的活性变化。

## 2. 性功能障碍患者性欲望或性唤起研究

目前,用于性唤起障碍研究的大脑功能影像学技术仍处于早期阶段。在一项恋童癖研



究中 (Hendricks, 1988), 通过与对照组相比, 学者发现恋童癖患者不仅大脑灰质总体脑血流量降低, 而且大脑内相关功能区域的局部血流量亦降低。此外, Cohen 等 (2002) 采用氟脱氧葡萄糖 (FDG) 示踪剂技术, 对 7 位恋童癖患者进行正电子发射断层扫描代谢显像 (PDG-PET) 检查, 了解其大脑局部代谢活动。与 7 位健康男性对比, 即使中性刺激条件下, 这些男性恋童癖患者右侧眼窝前额皮质 (OFC) 的代谢活性也升高。但是, 女性恋童癖性线索或成年女性非恋童癖性线索存在时, 其代谢活性并未升高。

最近, 在一项心因性勃起功能障碍研究中, 通过受试者舌下含服阿扑吗啡 (apomorphine) 的方法了解大脑对性爱刺激的反应性。阿扑吗啡是一种用于治疗勃起功能障碍的多巴胺激动剂。在一项对比研究中, 10 位心因性勃起功能障碍患者与 6 位健康受试者, 通过 fMRI 检查观察受试者服用阿扑吗啡的疗效 (Montorsi, 2003a)。研究结果显示, 性爱刺激时 (与中性刺激对比) 阿扑吗啡可诱导健康对照组枕顶区和颞下区、前运动额叶皮质、颞叶皮质边缘以及下丘脑等这些神经网络中的双侧激活, 而性爱刺激时勃起功能障碍患者服用安慰剂仅出现扣带回、额叶内侧和 OFC 区域神经的激活, 与健康对照组有明显差异。服用阿扑吗啡后, 勃起功能障碍患者基本达到健康对照组的水平。由此说明, 阿扑吗啡能够诱导前额皮质顶叶和运动前区的双侧激活, 以及皮质下深部结构, 如伏隔核、下丘脑和中脑的单侧激活, 激活效果与安慰剂明显不同。同时, 额基底部和颞叶皮质边缘的 fMRI 信号降低, 提示这些区域神经结构未被激活。目前, 由于缺乏大脑内具体激活和失活区域的坐标簇数据, 精确评估这些影像学检查结果显得较为困难。

Montorsi 等 (2003b) 对 8 位性功能障碍患者和 4 位健康受试者进行一项对照研究, 为大脑内激活部位的坐标点定位提供了重要信息。而且, 发现仅性功能障碍患者内侧 OFC 表现为激活状态, 与其他学者报道健康对照组的失活状态形成明显对比 (见表 1-2), 表明阿扑吗啡可有效逆转性功能障碍患者内侧 OFC 激活并诱导失活状态。其他可被阿扑吗啡诱导失活的部位包括左侧额极区、右侧额内侧皮质、脑岛、尾状核、海马和下丘脑等。

此外, Hagemann 等 (2003) 也进行一项 PET 研究, 将 12 位性功能障碍患者随机分成阿扑吗啡组 ( $n=6$ ) 与安慰剂组 ( $n=6$ ), 未设置健康对照组。设计方案: 视觉性刺激后立即进行 PET 检查; 服用药物前进行 2 次 PET 检查 (一次中性视频刺激后、一次性刺激后); 服用药物+性刺激后, 再行另外 2 次 PET 检查。通过阴茎硬度测量仪检查阴茎勃起硬度。研究结果显示, 与中性刺激相比, 性刺激导致额叶下皮质布洛德曼区 (BA 47、10、11) 和 ACG 喙部 (BA 32) 的大脑活性明显升高, 而颞下皮质 (BA 20) 的活性降低。与安慰剂相比, 4/6 位患者服用阿扑吗啡后阴茎勃起硬度明显增强, PET 检查发现服用阿扑吗啡后患者右侧额上区 (BA 6) 大脑活性升高, 安慰剂组则无反应。而且, 服用阿扑吗啡后均未出现大脑局部血流明显降低的现象。因此, 认为阴茎勃起硬度与右侧 ACG 和右前额皮质的大脑活性增加以及颞叶皮质的大脑活性降低相关。

尽管上述有关额叶基底和颞叶皮质边缘大脑活性的两项研究结果并不一致, 但阿扑吗啡可提高视觉性刺激时前额皮质 (BA 6) 运动前区反应的结论却基本相同。性唤起模

型中,运动前区激活属于性唤起的动机部分。阿扑吗啡之所以能够激活这些大脑功能区域,可能通过阴茎勃起感知效应提高患者性欲望,并与运动前区的激活相关。

此外,亦有学者采用大脑功能影像学技术,对性欲低下下的性功能障碍(HSDD)患者进行相关研究。通过PET方式,比较7位男性患者和8位健康对照者在分级强度视觉性刺激下大脑内局部血流的变化(Stoléru, 2003)。学者发现,作为动机行为的抑制区域(如内侧OFC),视觉性刺激时对照组表现为失活,而性欲低下患者则处于异常活性状态(图1-9),说明性欲低下下的性功能障碍患者内侧OFC参与动机行为的抑制调控;相比之下,作为调节情感和运动想象的二级躯体感觉皮质(secondary somatosensory cortex)和顶下小叶,以及参与前运动调节的ACG和额叶皮质,则表现为一种对立的方式,健康对照组激活,性欲低下下的性功能障碍患者失活或活性不变。

更重要的是,大脑内侧OFC还参与某种特定情况下奖励“缺失”的编码,如同灭活程序一样,即奖励被扣留时可记录到内侧OFC神经元的放电(Rosenkilde, 1981)。因此,动物内侧OFC结构损伤时,将表现出灭活模式中一种持续反应的明显倾向(Butter, 1969)。同样,腹内侧前额皮质神经元也在灭活程序的记忆中发挥作用(Quirk, 2000)。尽管灭活程序结果和性欲低下是两种明显不同状态,但二者具有重要的共同特征,即两种情况下刺激的动机意义降低和运动反应不再得到保证。性欲低下患者内侧OFC神经元的持续活性状态,表明内侧OFC可能编码性刺激时奖励的习得性抑制和(或)对下游动机过程的更高抑制。

性欲低下障碍和心因性勃起障碍患者的病理生理表现十分相似,即均缺乏内侧OFC的失活。或者说,这种共同特征与这些功能障碍患者的常见并发症直接相关。一组113例男性性欲低下障碍患者中,53例(47%)合并勃起障碍(Segraves K., 1991)。同样,我们研究的7例性欲低下下的性功能障碍患者中,4例合并勃起障碍(Stoléru, 2003)。Montorsi等也报道了性欲低下患者合并勃起障碍的现象,具体比例不十分清楚。尽管如此,根据现有研究数据尚不能得出内侧OFC异常与性欲低下或勃起障碍相关的结论。相信不久的将来,随着性唤起病理生理学研究成果的不断涌现,将极大推动与性唤起有关的性功能障碍的治疗。

### 3. 健康男性性唤起拟议模型

Redouté等(2000)提出一种由认知、动机、情感和自主神经成分构成的四要素神经行为研究模型。而且,每一因素均受到抑制作用的调控。其中,认知因素包括:

- (i) 一种将刺激归类为性刺激并进行定量评价的评估过程;
- (ii) 对评估为性刺激的注意力增加;
- (iii) 与性行为相关的运动想象。



图1-9 大脑的前视图

视觉性刺激时,性欲低下的性功能障碍患者左侧脑血回活性维持,与对照组的失活相反。

笔者认为右外侧 OFC、双侧颞下皮质、SPLs 以及调控运动想象区域（顶下叶、左腹侧运动前区）的激活，属于调控运动想象的神经网络，与模型认知成分具有神经关联性（Stoléru, 2003）。其中，评估过程出现最早，是其他下游调节作用的基础。因此，性刺激认知评估并非早于性唤起，仅是性唤起激活整个过程的第一步。

情感成分，包括性唤起中特异的享乐特质，如性唤起以及身体特殊变化（阴茎充血肿胀）所带来的愉悦感。其中，右侧脑岛激活是情感成分，神经关联性的表现之一。

动机成分，即将行为向某一性目标引导的过程，包括感知到的表达外显性行为的冲动。我们认为，通常左侧 ACG 尾部以及双侧屏状核是这种动机成分的神经学基础。

自主神经和内分泌成分，包括为性活动做好生理准备的各种生理反应（如心血管、呼吸和生殖器反应）。通常，ACG 喙部、右侧脑岛前部和下丘脑后部参与性唤起时自主神经反应的调控。

以上模型四要素之间紧密关联、相互协调。例如，情感成分一定程度上依赖自主神经成分对身体生理变化的感知。

最后，各种抑制作用主要体现：

（i）性唤起之间抑制反应的激活，起到预防性唤起反复出现的作用。笔者认为，颞叶区域行使这种类型抑制调控功能，导致视觉性刺激时性反应水平降低。

（ii）至少在性欲低下患者中，认知过程可起到降低视觉性刺激性意义的作用。笔者认为，内侧 OFC 负责这项调控功能（Stoléru, 2003）。

（iii）一旦性唤起出现，一种控制性唤起行为外显表达的机制产生。笔者认为，右尾状核的头部和双侧壳核负责这项调控。

图 1-10 和图 1-11 图解式地初步解析了模型中行为和神经的关联性。

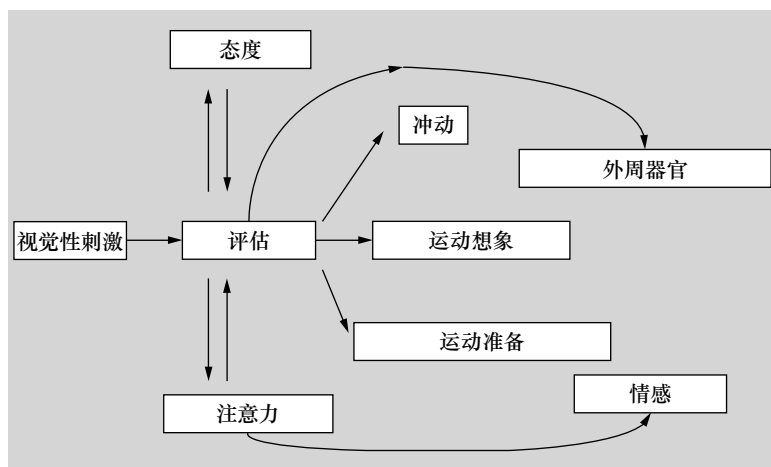


图 1-10 性唤起神经行为模型中行为作用示意图

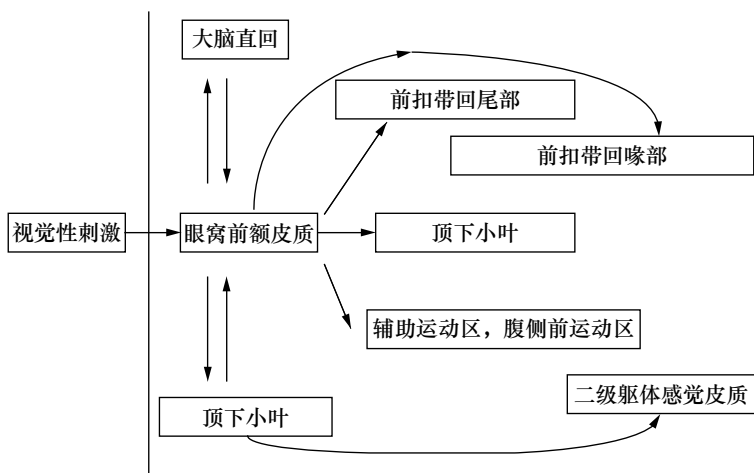


图 1-11 性唤起神经行为模型中神经关联示意图

### 三、方法学问题、注意事项和局限性

采用 fMRI 技术观察性唤起时大脑神经关联性的常见问题之一，是如何选择理想模块频率。通常，最佳“块长度”应该在 14~20s (Zarahn, 1997)。这种最佳“块长度”由血流动力学反应函数 (HRF) 内在特性决定，体现了大脑内相关神经元组件激活后局部血流变化的时间进程。因此，fMRI 记录前，神经活动信号须经由血流动力学滤波器以达到修饰和延迟信号的作用。模块持续时间为 14~20s 时，既允许刺激强度一定程度变化（时间足够长），亦可避免低频率下噪声出现（时间足够短）。因此，“块长度”调整为 14~20s 时可将敏感度与噪声之间权重达到最佳状态。而“块长度”过长时，由于噪声升高而导致假阴性结果 (falsely negative findings) 出现。

Canli 和 Amin (2002) 指出，所谓大脑某一部位的激活，指这一区域某种条件下（如观察悲伤脸谱）的激活明显高于同一区域对照条件下（如观察中性脸谱）的激活。某种程度上，显著激活状态只是旁观者的角度。从定量分析角度，激活与否的判断常依据统计学分析：当超过某一具体统计学阈值时，这一条件下激活具有显著意义。因此，阈值降低时更多区域将达到统计学意义上的激活；升高阈值则又减少激活区域的数量。当然，阈值的选择更大程度上取决于研究者所选择的研究方法，并不是一项绝对标准。所以，学者报道的大脑激活状态，基本上是一项非常复杂数据集的统计学分析结果，表明不同研究者选择的解释方式不同而已。

视觉性刺激时人体表现出的大脑神经区域反应，并不意味它们一定是性欲望或性唤起的结果。同样，也不能肯定性欲望或性唤起是这些反应的原因。目前，仅能肯定的是，这些大脑反应与视觉性刺激诱导的性欲望或性唤起相关或具有某种关联性。为更好地说明这一点，至少可在理论层面上这样解释：激活的大脑神经区域，由于部位太小而难以通过现代技术方式得以显示。这也正是借助 PET 和 fMRI 方法更好显示性欲望和性唤起，以及其

他大脑反应的真正原因。

在临床工作中需要牢记，尽管大脑功能影像学技术（至少目前）对于理解神经和精神障碍的病理生理非常重要，但它并不适用于这些疾病的诊断。而且，有关性功能障碍的病理生理结果主要基于群体患者，而其诊断决定却往往与个体患者相关。因此，当前这些技术尚不能用于性功能障碍个案的诊断。

## 参 考 文 献

- Adolphs, R. (2002). Neural systems for recognizing emotion. *Current Opinion in Neurobiology*, 12, 169-177.
- Aharon, I., Etcoff, N., Ariely, D., et al (2001). Beautiful faces have variable reward value: fMRI and behavioral evidence. *Neuron*, 32, 537-551.
- Arnow, B. A., Desmond, J. E., Banner, L. L., et al (2002). Brain activation and sexual arousal in healthy, heterosexual males. *Brain*, 125, 1014-1023.
- Bancroft, J. (1989). *Human sexuality and its problems*. London: Churchill Livingstone.
- Bancroft, J. (1999). Central inhibition of sexual response in the male: A theoretical perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 23, 763-784.
- Bancroft, J., & Janssen, E. (2000). The dual control model of male sexual response: A theoretical approach to centrally mediated erectile dysfunction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 24, 571-579.
- Baum, M. J., Everitt, B. J., Herbert, J., et al (1977). Hormonal basis of proceptivity and receptivity in female primates. *Archives of Sexual Behavior*, 6, 173-192.
- Beauregard, M., Levesque, J., & Bourgouin, P. (2001). Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. *Journal of Neuroscience*, 21, RC165.
- Benkelfat, C., Bradwejn, J., Meyer, E., et al (1995). Functional neuroanatomy of CCK4-induced anxiety in normal healthy volunteers. *American Journal of Psychiatry*, 152, 1180-1184.
- Bielert, C. (1982). Experimental examinations of baboon (*Papio ursinus*) sex stimuli. In C. T. Snowdon, C. H. Brown, & M. R. Petersen (Eds.), *Primate communication* (pp. 373-395). London: Cambridge University Press.
- Bocher, M., Chisin, R., Parag, Y., et al (2001). Cerebral activation associated with sexual arousal in response to apornographic clip: A 15 O-H 2 O PET study in heterosexual men. *NeuroImage*, 14, 105-117.
- Burns, J. M., & Swerdlow, R. H. (2003). Right orbitofrontal tumor with pedophilia symptom and constructional apraxia sign. *Archives of Neurology*, 60, 437-440.
- Bush, G., Luu, P., & Posner M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Science*, 4, 215-222.
- Buss, D. M. (1989). Sex differences in human mate preferences: Evolutionary hypotheses tested in 37 cultures. *Behavioral and Brain Sciences*, 12, 1-14.
- Butter, C. (1969). Perseveration in extinction and in discrimination reversal tasks following selective frontal ablations in *Macaca mulatta*. *Physiology and Behavior*, 4, 163-171.
- Canli, T., & Amin, Z. (2002). Neuroimaging of emotion and personality: Scientific evidence and ethical considerations. *Brain and Cognition*, 50, 414-431.
- Cohen, L. J., Nikiforov, K., Gans, S., et al (2002). Heterosexual male perpetrators of childhood sexual abuse: A preliminary neuropsychiatric model. *Psychiatric Quarterly*, 73, 313-336.
- Corbetta, M., Miezin, F. M., Shulman, G. L., et al (1993). A PET study of visuospatial attention. *Journal of Neuroscience*, 13, 1202-1226.



- Damasio, A. R., Grabowski, T. J., Bechara, A., et al (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self generated emotions. *Nature Neuroscience*, 3, 1049-1056.
- Decety, J., & Grèzes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 172-178.
- Decety, J., Perani, D., Jeannerod, M., et al (1994). Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature*, 371, 600-602.
- Dougherty, D. D., Shin, L. M., Alpert, N. M., et al (1999). Anger in healthy men: A PET study using script-driven imagery. *Biological Psychiatry*, 46, 466-472. *Brain Functional Imaging Studies* 131.
- Dressing, H., Obergriesser, T., Tost, H., et al (2001). Homo-sexual pedophilia and functional networks-An fMRI case report and literature review. *Fortschritte der Neurologie Psychiatrie*, 69, 539-544.
- Dum, R. P. (1993). Cingulate motor areas. In B. A. Vogt & M. Gabriel (Eds.), *Neurobiology of the cingulate cortex and limbic thalamus* (pp. 415-441). Boston: Birkhäuser.
- Everitt, B. J. (1990). Sexual motivation: A neural and behavioural analysis of the mechanisms underlying appetitive and copulatory responses of male rats. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 14, 217-232.
- Everitt, B. J., Morris, K. A., O'Brien, A., et al (1991). The basolateral amygdala-ventral striatal system and conditioned place preference: Further evidence of limbic-striatal interactions underlying reward-related processes. *Neuroscience*, 42, 1-18.
- Gerendai, I., Tóth, E., Boldogkoi, Z., et al (2000). Central nervous system structures labeled from the testis using the transsynaptic viral tracing method. *Journal of Neuroendocrinology*, 12, 1087-1095.
- Hagemann, J. H., Berding, G., Bergh, S., et al (2003). Effects of visual sexual stimuli and apomorphine SL on cerebral activity in men with erectile dysfunction. *European Urology*, 43, 412-420.
- Hendricks, S. E., Fitzpatrick, D. F., Hartmann, K., et al (1988). Brain structure and function in sexual molesters of children and adolescents. *Journal of Clinical Psychiatry*, 49, 108-112.
- Holstege, G., Georgiadis, J. R., Paans, A. M., Meiners, L. C., van der Graaf, F. H., & Karama, S., Lecours, A. R., Leroux, J. M., et al (2002). Areas of brain activation in males and females during viewing of erotic film excerpts. *Human Brain Mapping*, 16, 1-13.
- Klüver, H., & Bucy, P. C. (1939). Preliminary analysis of functions of the temporal lobes in monkeys. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 42, 979-1000.
- Lee, S., Miselis, R., & Rivier, C. (2002). Anatomical and functional evidence for a neural hypothalamic-testicular pathway that is independent of the pituitary. *Endocrinology*, 143, 4447-4454.
- Meisel, R. L., & Sachs, B. D. (1994). The physiology of male sexual behavior. In E. Knobil & J. D. Neill (Eds.), *The physiology of reproduction* (Vol. 2, pp. 3-105). New York: Raven Press.
- Montorsi, F., Perani, D., Anchisi, D., et al (2003a). Brain activation patterns during video sexual stimulation following the administration of apomorphine: Results of a placebo-controlled study. *European Urology*, 43, 405-411.
- Montorsi, F., Perani, D., Anchisi, D., et al (2003b). Apomorphine-induced brain modulation during sexual stimulation: A new look at central phenomena related to erectile dysfunction. *International Journal of Impotence Research*, 15, 203-209.
- Mouras, H., Stoléru, S., Bittoun, J., et al (2003). Brain processing of visual sexual stimuli in healthy men: A functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage*, 20, 855-869.
- O'Doherty, J., Winston, J., Critchley, H., et al R. J. (2003). Beauty in a smile: The role of medial orbitofrontal cortex in facial attractiveness. *Neuropsychologia*, 41, 147-155.
- Pardo, J. V., Pardo, P. J., Janer, K. W., et al (1990). The anterior cingulate cortex mediates processing selection in

- the Stroop attentional conflict paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 87, 256-259.
- Park, K., Seo, J. J., Kang, H. K., et al (2001). A new potential of blood oxygenation level dependent (BOLD) functional MRI for evaluating cerebral centers of penile erection. *International Journal of Impotence Research*, 13, 73-81.
- Parry, A., & Matthews, P. M. (2002). Functional magnetic resonance imaging: A window into the brain. Retrieved June 2003 from <http://www.psy.vanderbilt.edu/faculty/blake/214F2002/fMRI/fmriintro.html>.
- Peterson, B. S., Skudlarski, P., Anderson, A. W., et al (1998). A functional magnetic resonance imaging study of tic suppression in Tourette syndrome. *Archives of General Psychiatry*, 55, 326-333.
- Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., et al (2002). Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *NeuroImage*, 16, 331-348.
- Phillips, M. L., Young, A. W., Senior, C., et al (1997). A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, 389, 495-498.
- Pizzagalli, D. A., Lehmann, D., Hendrick, A. M., et al (2002). Affective judgments of faces modulate early activity (approximately 160 ms) within the fusiform gyri. *NeuroImage*, 16, 663-677.
- Quirk, G. J., Russo, G. K., Barron, J. L., et al (2000). The role of ventromedial prefrontal cortex in the recovery of extinguished fear. *Journal of Neuroscience*, 20, 6225-6231.
- Rauch, S. L., Shin, L. M., Dougherty, D. D., et al (1999). Neural activation during sexual and competitive arousal in healthy men. *Psychiatry Research*, 91, 1-10.
- Redouté, J., Stoléru, S., Grégoire, M. C., et al (2000). Brain processing of visual sexual stimuli in human males. *Human Brain Mapping*, 11, 162-177.
- Redouté, J., Stoléru, S., Pugeat, M., et al (2005). Brain processing of visual sexual stimuli in treated and untreated hypogonadal patients. *Psychoneuroendocrinology*, 30, 461-482.
- Reiman, E. M., Lane, R. D., Ahern, G. L., et al (1997). Neuroanatomical correlates of externally and internally generated human emotion. *American Journal of Psychiatry*, 154, 918-925.
- Richfield, E. K., Twyman, R., & Berent, S. (1987). Neurological syndrome following bilateral damage to the head of the caudate nuclei. *Annals of Neurology*, 22, 768-771.
- Robinson, B. W., & Mishkin, M. (1968). Penile erection evoked from forebrain structures in *Macaca mulatta*. *Archives of Neurology*, 19, 184-198.
- Rolls, E. T. (1999). *The brain and emotion*. New York: Oxford University Press.
- Rosen, R. C., & Beck, J. G. (1988). Patterns of sexual response. In R. C. Rosen & Brain Functional Imaging Studies I 33 J. G. Beck (Eds.), *Patterns of sexual arousal: Psychophysiological processes and clinical applications* (pp. 23-52). New York: Guilford.
- Rosenkilde, C. E., Bauer, R. H., & Fuster, J. M. (1981). Single cell activity in ventral prefrontal cortex of behaving monkeys. *Brain Research*, 209, 375-394.
- Schultz, W., Apicella, P., Scarnati, E., et al (1992). Neuronal activity in monkey ventral striatum related to the expectation of reward. *Journal of Neuroscience*, 12, 4595-4610.
- Segraves, K., & Segraves, R. (1991). Hypoactive sexual desire disorder: Prevalence and comorbidity in 906 subjects. *Journal of Sex and Marital Therapy*, 17, 55-58.
- Spiering, M., Everaerd, W., & Elzinga, B. (2002). Conscious processing of sexual information: Interference caused by sexual primes. *Archives of Sexual Behavior*, 31, 159-164.
- Stephan, K. M., Fink, G. R., Passingham, R. E., et al (1995). Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology*, 73, 373-386.
- Stoléru, S., Grégoire, M. C., Gérard, D., et al (1999). Neuroanatomical correlates of visually evoked sexual



- arousal in human males. *Archives of Sexual Behavior*, 28, 1-21.
- Stoléru, S., Redouté, J., Costes, N., et al (2003). Brain processing of visual sexual stimuli in men with hypoactive sexual desire disorder. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 124, 67-86.
- Sumich, A. L., Kumari, V., & Sharma, T. (2003). Neuroimaging of sexual arousal: Research and clinical utility. *Hospital Medicine*, 64, 28-33.
- Swanson, L. W., & Petrovich, G. D. (1998). What is the amygdala? *Trends in Neurosciences*, 21, 323-331.
- Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. Stuttgart: Thieme.
- Tiihonen, J., Kuikka, J., Kupila, J., et al (1994). Increase in cerebral blood flow of right prefrontal cortex in man during orgasm. *Neuroscience Letters*, 170, 241-243.
- Zarahn, E., Aguirre, G., & D'Esposito, M. (1997). A trial-based experimental design for fMRI. *NeuroImage*, 6, 122-138.